

МОДЕЛЬ АГЕНТА И МУЛЬТИАГЕНТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В СОЦИОЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

В. М. Картвелишвили, Э. А. Лебедюк

Российский экономический университет имени Г. В. Плеханова,
Москва, Россия

В статье описана новая модель агентного моделирования как инструмента исследования сложных гетерогенных децентрализованных социоэкономических систем с учетом психосоциальных и психоэмоциональных аспектов поведения акторов. Показано, что агентное моделирование позволяет решать задачи высокого уровня сложности. Разработана новая методика применения построенных моделей для имитационного моделирования динамических социально-экономических процессов. На основе предложенной авторами методики создана инновационная, эффективная информационная система для исследования организационных структур с учетом психосоциальных аспектов для типовых акторов, их потребностей и типовых действий. Даны примеры анализа влияния структуры организаций на их функционирование и жизнеспособность. Наглядно продемонстрировано, что созданный открытый прикладной инструментальный может использоваться для анализа эффективности работы широкого спектра организационных социально-экономических структур, их жизнедеятельности и жизнеспособности, обеспечивая конкурентоспособность системы. Приведен пример использования созданного инструментального применительно к исследованию эффективности процесса реорганизации элементов структуры системы «Университет» как модели высшего учебного заведения. Предложен ряд рекомендаций по организации элементов структуры системы «Университет».

Ключевые слова: имитационное моделирование, агентное моделирование, экономические модели, университет, реорганизация.

THE MODEL OF AGENT AND MULTI-AGENT INTERACTION IN SOCIO-ECONOMIC SYSTEMS

Vasilii M. Kartvelishvili, Eduard A. Lebedyuk

Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, Russia

The article describes a new model of agent modeling as a tool of researching complicated heterogenic decentralized socio-economic systems. It was shown that agent modeling provides an opportunity to solve problems of high complexity, in particular researching complex heterogenic decentralized socio-economic systems with regard to psycho-social and psycho-emotional aspects of actors' behavior, like those systems studied in examples of the present research. A new methodology of using models for imitation modeling of dynamic social-economic processes was designed. On the basis of methodology proposed by the authors an innovation, effective informational system to research organizational structures with regard to psycho-social aspects for typical actors, their customers and typical actions was developed. The article provides examples of the impact of organization structures on their functioning and viability. It was shown that open applied tools can be used to analyze the efficiency of organizational social-economic systems, their viability and functioning providing competitiveness of the system. An example of using the designed tools in connection with the research of efficiency of reorganizing the elements of the structure 'University' as a model of the higher education institution. The authors put forward a number of recommendations aimed at organization of elements of the system 'University'.

Keywords: imitation modeling, agent modeling, economic models, university, re-organization.

Агентное моделирование [11–14] – новое значение в качестве инструмента исследования сложноструктурированных систем [1]. Вне зависимости от сферы при-

менения конкретной модели и ее особенностей есть ряд общих черт, свойственных большинству агентно-ориентированных моделей. Так, если рассматривается агент-человек, то вне зависимости от сферы применения агентной модели можно говорить о ряде характеристик агента (например, психоэмоциональных [3; 5-7; 10]), которые влияют на его социально-экономическое взаимодействие с другими агентами. Тем не менее не существует общепризнанных в агентном моделировании обобщенных теорий, описывающих агента с данной стороны. Поэтому задача расширения теории и практики агентного моделирования применительно к моделированию социально-экономических процессов представляется первостепенной для развития указанной сферы знаний.

Созданная авторами статьи модель агентного моделирования позволяет моделировать процессы и, в частности, механизмы управления, характерные широкому спектру социально-экономических систем с учетом психоэмоциональных реакций акторов.

Управление – это планирование, организация и контроль ресурсов системы, направленные на достижение целей системы. Управление как процесс воздействия субъекта на объект управления немыслимо без системы управления, под которой, как правило, понимается механизм, обеспечивающий процесс управления, т. е. множество действий и взаимосвязанных элементов, функционирующих согласованно и целенаправленно. Участвующие в процессе управления элементы объединяются в систему управления с помощью информационных связей. Система – совокупность элементов, находящихся в определенных отношениях друг с другом и со средой. Управление в системе – внутренняя функция системы, осуществляемая независимо от того, каким образом и какими элементами системы указанная функция должна выполняться. Управление системой – выполнение внешних функций управления,

обеспечивающих необходимые условия функционирования системы.

Пусть в момент времени t заданы $x = x(t)$ – элементы универсального множества состояний системы X : $x \in X$; и $u = u(t)$ – управляющие действия из множества управлений U : $u \in U$, которые вызывают в течение последующего промежутка времени τ соответствующие реакции $w = w(t)$: $w \in U$, где U – множество возможных откликов системы X на множество управлений U . В результате управление $u \in U$ в момент времени $t + \tau$ переводит состояние $x \in X$ в состояние $y \in Y$, т. е.

$$u: x \rightarrow y \in Y \subseteq X.$$

Структура системы может быть очень сложной, но если рассматривать ее с позиции управления, то вполне можно представить характерную структуру в виде иерархии, к примеру, представленной на рис. 1, свойственной, в частности, элементам структуры системы «Университет».

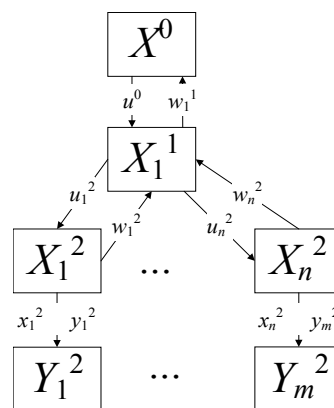


Рис. 1. Взаимодействие управляющей и управляемых систем

На рис. 1 введены следующие обозначения: $X^0 \subseteq X$ – управляющая подсистема (субъект управления); $X_j^1 \subseteq X$ ($j = 1, \dots, J$) – промежуточная управляющая система (промежуточный субъект управления, $J = 1$); $X_n^2 \subseteq X$ ($n = 1, \dots, N$) – управляемая система (объект управления); $Y_m^2 \subseteq X$ ($m = 1, \dots, M$) – состояние управляемой подсистемы после текущего k -го цикла «управление – реакция». В обозначении X_j^i

верхний индекс i указывает на уровень отдаления элементов $x \in X$ от управляющей подсистемы системы X : нулевой уровень соответствует стратегическому управлению нижележащими уровнями; 1-й уровень – непосредственному тактическому управлению в рамках заданной нулевым уровнем стратегии; 2-й уровень – первому управляемому уровню системы. Нижний индекс j обозначает порядковый номер подсистемы на текущем уровне управления i . Так, в системе «Университет» нулевой уровень отвечает полномочиям ректората, 1-й уровень – положению управлений и отделов, 2-й уровень – обязанностям научно-преподавательских работников.

Согласно модели жизнеспособной системы [2; 4] уровень управления X^0 на любом уровне рекурсии организационных систем суть система 5, отвечающая за политико-стратегические решения в рамках организации в целом с целью сбалансирования стратегических потребностей и запросов различных частей организации и управления организацией в целом. Промежуточные управляемо-управляющие подсистемы X_j^1 всех остальных уровней, кроме последнего X_j^2 , суть системы 4-2, представляющие согласно [2] структуры управления, которые организованы с целью установления правил развития будущей деятельности системы, а также аудита, управления, оптимизации и координации текущей деятельности системы. Управляемые подсистемы нижнего уровня X_j^2 соответствуют жизнеспособной системе 1, которая обеспечивает набор основных видов деятельности, непосредственно производящей продукцию системы в целом.

Принимая во внимание, что управление – совокупность управленческого сигнала и реакции на него, и тот факт, что рассматривать управление нужно именно в непосредственном контексте управляющей и управляемой систем, упростим структуру, представленную на рис. 1, считая, что:

– промежуточные управляющие системы X_j^1 (в данном случае X_1^1) существуют для абстрагирования управляющих систем

X^0 от осуществления непосредственного управления над всеми управляемыми системами X_n^2 ($n = 1, \dots, N$);

– управление как процесс происходит между двумя системами – объектом и субъектом управления, при этом у одной управляющей системы может быть несколько управляемых подсистем;

– структура системы во время каждого k -го промежутка взаимодействия $T_k = [t_k, t_k + \tau]$ ($k = 1, \dots, K$) не изменяется.

Таким образом, убирая далее для простоты индексы, структуру управления можно представить следующим образом:

$$\dots \rightarrow x(t) \in X \rightarrow u \in U \leftrightarrow w \in U \leftarrow y(t + \tau) \in Y \rightarrow \dots$$

Перечислим основные сущности, которые будут использоваться в создании предлагаемой агентно-ориентированной системы: *симуляция, сообщение, агент, канал связи, ресурс*. Разберем каждую из этих сущностей подробнее.

Симуляция – это реализация виртуального мира, в котором действуют агенты. Рассматриваться может как полностью нейтральная среда с небольшим или нулевым воздействием на агентов, так и объединяющая агентов в системы среда, которая тщательно детализирована, как и сами агенты. Объединяют агентов также параметры внешней среды. Агенты действуют в рамках симуляции. Считаем, что симуляция дискретна по времени и состоит из периодов $T_k = [t_k, t_k + \tau]$, в рамках которых агенты обрабатывают сообщения.

Сообщение – управляющий сигнал и сигнал обратной связи.

Агент A – элемент системы, который связан с другими агентами (в роли управляющего агента $A^\downarrow$ или управляемого агента $A^\uparrow$) и умеет обрабатывать сообщения S – управляющие сигналы $S^\downarrow$ и формировать сигнал-отклик $S^\uparrow$. Для экономических моделей основным элементом служит некое число взаимодействующих между собой агентов, которые применительно к исследованию социально-экономических систем представляют собой отдельных социально-экономических акторов или их группу, дифференцированную от других акторов,

но взаимодействующих с ними и окружающей средой. Одно из наиболее полных определений агентов приводится в работе [13], согласно которой агент должен обладать следующими характеристиками:

- агент независим, действует автономно и принимает решения по взаимодействию с другими агентами и влиянию на окружающую среду самостоятельно;
- агент может взаимодействовать с другими агентами в рамках симулируемой системы;
- агент имеет определенную цель (цели), определяющую его поведение;
- агент изменчив и обладает способностью самообучения с течением времени на основе накопленного опыта;
- правила поведения агента могут изменяться на основе полученного опыта.

Кроме указанных свойств в предлагаемой модели положим, что агентам A^i или A_j как элементам системы отвечают следующие факторы и характеристики: каналы связи, потребности, ресурсы, очередь работ, степень удовлетворения, склонность к риску, где:

- каналы связи с другими агентами – это описание связи агента с другими агентами симуляции;
- потребности – это нужда агента в том, что составляет необходимое условие его существования;
- ресурсы – материальные и нематериальные возможности агента реализовать свои потребности;
- очередь работ – набор сообщений, которые агент с некоторой случайной вероятностью обрабатывает;
- степень удовлетворения зависит от полноты реализации потребностей;
- склонность к риску – коэффициент, показывающий, насколько агент готов к учету влияния неопределенности на ожидаемый результат реализации своих действий.

При этом агент в рамках симуляции в течение каждого текущего k -го периода симуляции T_k обрабатывает все активные сообщения (текущий период находится

между моментом отправки t_k и моментом получения результата воздействия сообщения $t_k + \tau$). При этом *обработка сообщения* для агента означает принятие решения, надо ли выполнять сообщение, и если да, то далее осуществляется построение плана выполнения, создание управляющих сообщений S^i либо выполнение непосредственной работы, по завершении которых происходит отправка отчета S_j по каналам обратной связи.

Так как активных сообщений может быть несколько, актор определяет очередность их исполнения (приоритет) путем проведения экспертной оценки, к примеру, как в предлагаемой здесь агентно-ориентированной модели с использованием исследуемых в [8; 9] схем метода анализа иерархий (МАИ).

Согласно методу анализа иерархий для решения задачи оценки вектора приоритетности сообщений S^i ($i = 1, \dots, I$), оцениваемых по J критериям K_j ($j = 1, \dots, J$), агент A выполняет следующие итерации:

1) формирует матрицу парных сравнений Ψ значимости выбранных критериев K_j для A . Построение Ψ осуществляется либо на основе схем МАИ, использующих четкие сравнения [8], либо на базе подходов нечеткого МАИ [9] с использованием треугольных нечетких чисел для попарного нечеткого сравнения критериев K_j между собой;

2) вычисляет коэффициент согласованности σ для матрицы с целью проверки на непротиворечивость оценки сравнительных приоритетов актора;

3) находит собственный вектор $\psi = \{\psi_j\}$ матрицы Ψ для максимального собственного числа матрицы с целью вычисления вектора приоритета критериев K_j ;

4) аналогично алгоритму, описанному в пунктах 1–3, вычисляет векторы приоритетов $\omega^i = \{\omega_j^i\}$ для сообщений S^i по каждому из критериев K_j ;

5) находит интегральную оценку приоритетности каждого сообщения S^i :

$$\lambda_i = \alpha_i^1 \psi_1 + \dots + \alpha_i^J \psi_J.$$

Каналы связи с другими агентами (каналы прямой и обратной связи) существуют в разрабатываемой системе, так как агенты связаны в сложную иерархию по каналам взаимодействия. Канал связи позволяет акторам пересылать сообщения друг другу и связывает двух агентов: управляющего агента $A^{\downarrow}$ – агента, отсылающего сообщения-приказы, и управляемого агента $A^{\uparrow}$ – агента, отсылающего сообщения-отчеты.

Управляющий агент $A^{\downarrow}$ и управляемый агент $A^{\uparrow}$ имеют соответственно $I^{\downarrow}$ и $I^{\uparrow}$ связей $u_i \in V^{\downarrow}$ и $w_i \in V^{\uparrow}$, важность которых для $A^{\downarrow}$ и $A^{\uparrow}$ определяется значениями в диапазонах $u_i \in [0; 1]$ и $w_i \in [0; 1]$ при выполнении условий

$$\sum_{i=1}^{I^{\downarrow}} u_i = 1, \quad \sum_{i=1}^{I^{\uparrow}} w_i = 1.$$

Каналу присваиваются относительные коэффициенты формальности $F \in [0; 1]$ и неформальности $f \in [0; 1]$ в силу того, что формальные отношения между акторами всегда обусловлены наличием некоего фактора, определяющего суть этих отношений, а неформальные отношения формируются на основе личных привязанностей, а также способов действий, отличных от формально признанных способов или процедур.

Формальных отношений придерживаются в силу существующих правил, законов, обычаев, традиций и порядков. Выраженность формальных отношений определяет коэффициент формальности канала F . Степень неформальных отношений – тех, где присутствует личный момент, определяет коэффициент неформальности канала f .

Ресурс – количественно измеряемая возможность выполнения какой-либо деятельности актора; условия, позволяющие с помощью определенных преобразований получить желаемый результат. Агент стремится к максимизации своих ресурсов для удовлетворения своих потребностей.

У агента есть $i = (1, \dots, I)$ ресурсов R_i , которые обладают следующими характеристиками:

- важностью $P_i \in [0; 1]$ – относительным приоритетом ресурса R_i для агента A , где $\sum_{i=1}^I P_i = 1$;
- текущим значением r_i уровня ресурса R_i в текущем периоде симуляции T_k ;
- приемлемым уровнем ресурса R_0 – субъективным мнением агента о текущем и предыдущих уровнях ресурса, а также динамике изменения уровня ресурса;
- минимальным уровнем ресурса R_{min} – значением ресурса, достижение меньшего уровня которого не позволит A реализовать свои потребности и вызовет отрицательную реакцию;
- максимальным уровнем ресурса R_{max} – значением ресурса, превышение которого считается чрезмерным и бесполезным для удовлетворения потребностей агента.

Отметим, что потребности Π неразрывно связаны с мотивацией M агента A , так как то, насколько потребности агента удовлетворены, а также каковы будут перспективы удовлетворения потребностей в будущем, влияет на поведение A .

Моделирование психосоциальных аспектов возникновения и удовлетворения потребностей – актуальный вопрос как для зарубежных [12; 13], так и отечественных ученых [3; 5–7; 10]. Так, в [3] рассматриваются модели для двух типов потребностей.

Первый тип – растущие базовые потребности $\Pi^{\uparrow}$, характер которых определяется необходимостью сохранения целостности и жизнеспособности актора. В отсутствие удовлетворения такой потребности недовольство актора неограниченно возрастает. Интенсивный характер возбуждения требует для его поддержания энергии. Но возбуждение возникает в ответ на уже имеющийся дефицит ресурса для реализации потребности, и, следовательно, пока потребность не удовлетворена, потребностное возбуждение $\pi^{\uparrow}$ дополнительно усиливает этот дефицит. Для находящегося в таком состоянии субъекта потребностное возбуждение $\pi^{\uparrow}$ рано или поздно принимает негативный, а потом и мучительный оттенок. Если потребность не удовлетворяет-

- названием;

ся, то напряжение начинает доминировать. Характер динамики протекания потребностного возбуждения $\pi^{\uparrow}$ при дефиците ресурсов R для удовлетворения потребностей $\Pi^{\uparrow}$ физиологического характера представлен на рис. 2.

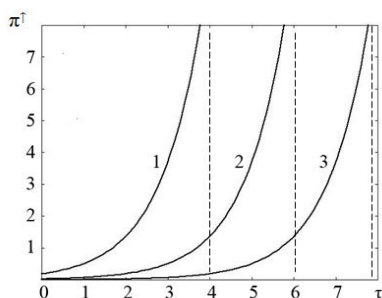


Рис. 2. Зависимость $\pi^{\uparrow}$ от времени τ появления критической величины дефицита ресурса: кривые 1, 2, 3 отвечают $\tau = 4$; $\tau = 6$; $\tau = 8$ соответственно

Укажем психосоциальные ситуации, при моделировании которых используется модель типа $\pi^{\uparrow}$.

Во-первых, в силу того что психологическая реакция $\pi^{\uparrow}$ отвечает физиологическим потребностям – группе потребностей, обеспечивающих существование актора как биологического организма, т. е. в основном затрагивающих условия проживания и здоровье, то модель $\pi^{\uparrow}$ по существу требуется включать в агентные системы, удовлетворяющие указанные потребности в социальных сферах жилищно-коммунального хозяйства и здравоохранения с помощью финансово-материальной поддержки акторов. Во-вторых, психологическая реакция $\pi^{\uparrow}$ отвечает потребности в безопасности, т. е. таким феноменам потребности, как непосредственная защита от физической опасности, снижение психологической фрустрации, поддержание стабильности социально-экономических систем, в которых участвует актор. Таким образом, модель $\pi^{\uparrow}$ можно эффективно использовать в схемах оптимального поддержания стабильного удовлетворения насущных потребностей актора в условиях кризиса одной или нескольких социально-экономических систем.

По-другому обстоит дело со вторым типом потребностей – потребностями в по-

знаниях, умениях, развитии и совершенствовании личности $\Pi^{\leftrightarrow}$. Как и в первом типе потребностей, нарастание потребностного возбуждения $\pi^{\leftrightarrow}$ связано с недостатком ресурсов. Но данный дефицит отличается от дефицита ресурсов для базисных потребностей. Здесь можно говорить о недостатке информационных ресурсов, поскольку формирование составляющих дефицита происходит при непосредственном участии когнитивных процессов агента, что и порождает непосредственную связь потребности с информацией.

При отсутствии реализации рассматриваемых потребностей у субъекта появляется неудовлетворенность существующим положением. Актор понимает расхождение между желаемым результатом и фактическим состоянием дела. В его сознании накапливается информация негативного характера, приводящая к появлению потребностного напряжения $\pi^{\leftrightarrow}$. Но $\pi^{\leftrightarrow}$ имеет иной характер, чем $\pi^{\uparrow}$. При наличии $\pi^{\leftrightarrow}$ субъект может продолжать свое существование, ощущая потребностное напряжение $\pi^{\leftrightarrow}$ иногда до конца своей жизни, осознавая свою нереализованность или даже ущербность. Однако от отсутствия знаний или низкого развития своей личности никто не умирает. Характер динамики вычисляемого в относительной шкале эмоционального напряжения $\pi^{\leftrightarrow}$ для потребностей познавательного характера и потребностей в самосовершенствовании представлен на рис. 3.

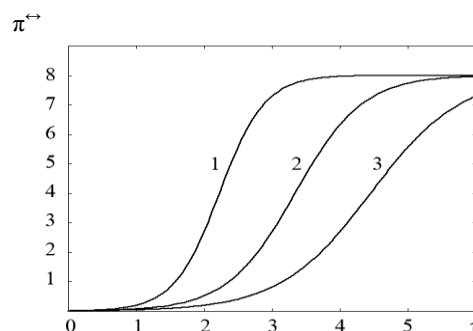


Рис. 3. Зависимость степени потребностного возбуждения $\pi^{\leftrightarrow}$ от времени τ для различных значений стимулятора скорости роста дефицита информационных ресурсов r : кривые 1, 2, 3 для $r = 3$, $r = 2$, $r = 1,5$

соответственно

Другой подход предлагают авторы [6] посредством введения в модель ОК-функций. Качественный вид ОК-функции, который получается путем опроса социально-экономических агентов с последующим применением алгоритмов численной интерполяции кривых $\varphi = \varphi_c(\chi)$, графически отражающих отношение актора с заданным психотипом личности к потребности, представлен на рис. 4. Как показано на графике, потребность нели-

нейным образом зависит от относительной величины мотивационно-стимулирующего фактора $\chi \in M$. Откладываемые по оси абсцисс относительные значения фактора χ получены путем соотношения предполагаемой реальной потребности опрашиваемого актора к среднерыночному (среднеотраслевому, среднестатистическому) значению в рассматриваемой сфере интеллектуальной деятельности.

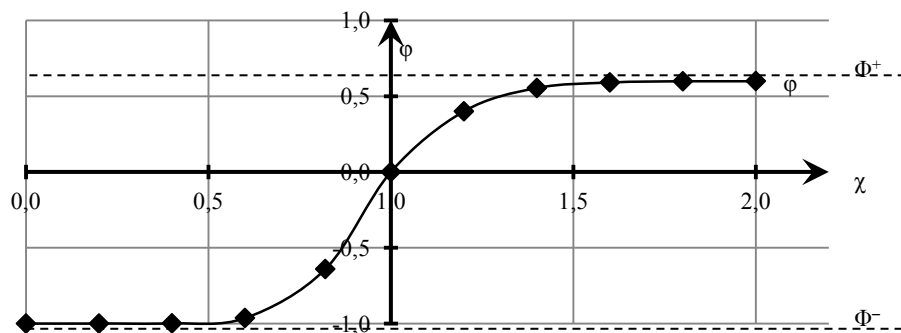


Рис. 4. График типичной ОК-функции $\varphi = \varphi_c(\chi)$, полученной путем опроса сотрудников

Тщательное исследование включает в себя опрос акторов, определяющий достаточно большое число точек интерполяции. Так, на рис. 4 путем численной интерполяции построен график типичной ОК-функции $\varphi = \varphi_c(\chi)$ на базе 11 экспериментальных точек.

В дополнение к предложенным моделям выделим еще один тип протекания потребности – убывающий $\pi^\downarrow$. Потребность может убывать со временем. Как правило, это связано с тем, что актор испытывает одновременно не одну потребность, а несколько. Неудовлетворение потребностей с большим приоритетом для человека приводит к постепенному снижению прочих потребностей, так как объем психоэмоционального возбуждения актора конечен. Протекание такого потребностного возбуждения $\pi^\downarrow$ происходит аналогично потребностным возбуждениям второго типа $\pi^\rightarrow$ или φ , но при условии снижения потребности, при этом возбуждение не уменьшается до нуля, но асимптотически стремится

к минимально допустимому значению. Приведем аналитический вид данной зависимости:

$$\pi^\downarrow(\tau) = \frac{\pi_0 \cdot \pi_k \cdot e^{\tau \cdot \tau_1}}{\pi_k + \pi_0 \cdot (e^{\tau \cdot \tau_1} - 1)}.$$

График протекания величины $\pi^\downarrow$ для потребностей познавательного характера и потребностей в самосовершенствовании при $\pi_0 = 10$, $\pi_k = 0,01$, $\tau_1 = 0,001$ показан на рис. 5.

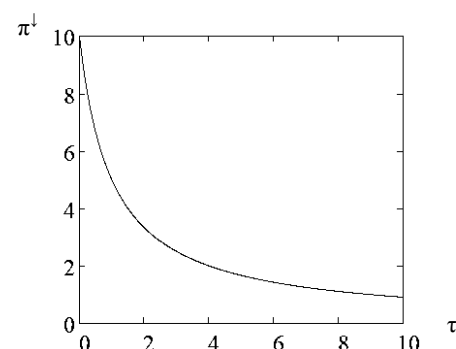


Рис. 5. Зависимость степени эмоционального возбуждения $\pi^\downarrow$

от времени τ

Опишем используемую в предлагаемых агентно-ориентированных схемах математическую модель эмоционального состояния субъекта – KL-модель, разработанную в работе [10]. В рамках данной модели была осуществлена компьютерная симуляция поведения субъектов и смоделированы реакции акторов при воздействии на них различных стимулов в предположении, что каждый индивид стремится к наиболее полному удовлетворению всех своих потребностей в максимально долгосрочном периоде, а продолжительность периодов разнится в зависимости от рациональности субъекта. В предлагаемой KL-модели используются следующие понятия: *актор* – субъект, действующий на другие субъекты единолично либо во взаимодействии с другими субъектами; *эмоция* $E = E(\tau, k, \theta)$ – психологическая реакция актора на раздражитель (событие); *эмоциональный пик* E^* – нормированное на единицу значение максимального эмоционального напряжения актора. Для моделирования отдельной эмоции E используется гамма-распределение, определенное на неотрицательном отрезке числовой прямой:

$$E(\tau, k, \theta) = \tau^{k-1} \frac{e^{-\frac{\tau}{\theta}}}{\theta^k \Gamma(k)}, \quad \Gamma(k) = \int_0^\infty x^{k-1} e^{-x} dx,$$

где $\Gamma(k)$ – гамма-функция Эйлера.

Пусть $\theta \in [0; 5]$ – субъективная важность стимула, вызвавшего данную эмоцию; $k \in [1; 10]$ – стабильность – реактивность психики актора; $\tau \geq 0$ – локальное время, прошедшее с момента возникновения данной эмоции; $t \in [0; \infty)$ – абсолютное время симуляции переживаний актора. Тогда при возникновении в момент времени $t_i \in [0; \infty)$ отдельной эмоции E_i ($i = 1, 2, \dots$) ее локальное время протекания $\tau_i = t - t_i$ и $\tau_i \in [t_i; \infty)$. Рассматривая далее отдельную эмоцию, индекс i для краткости опускаем. Примеры протекания потребностей в KL-модели представлены на рис. 6.

Укажем психосоциальные ситуации, при моделировании которых используются модели типа $\pi^{\leftrightarrow}$, ϕ , $\pi^{\downarrow}$, E . Одна из важных

и постоянных психосоциальных потребностей агента – потребность в принадлежности к социальной группе: актор стремится занять определенное стабильное место в рамках любых социально-экономических систем.

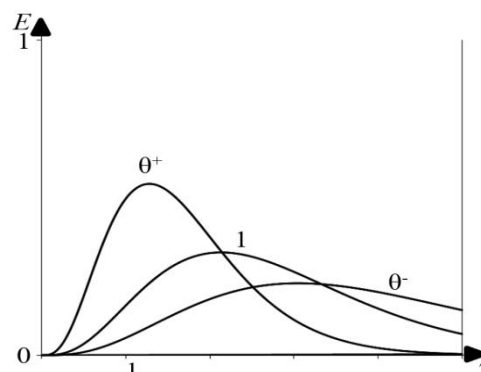


Рис. 6. Моделирование протекания эмоций: кривые θ^0 , θ^+ , θ^- при $(k = 4,2; \theta = 1,5)$, $(k = 4,2; \theta = 2,5)$, $(k = 4,2; \theta = 1,05)$ соответственно

В свою очередь, социально-экономические системы для удовлетворения данной потребности организуют формальные и неформальные мероприятия для агентов, позволяющие объединить и сплотить акторов системы. При моделировании поведения агента в указанных ситуациях модели типа $\pi^{\leftrightarrow}$, ϕ , $\pi^{\downarrow}$, E органично включаются в формируемые связи каждого агента с другими агентами.

При симуляции процессов в развитых социэкономических системах важен учет постоянной потребности агента в оценке и уважении. Эта потребность в самоуважении, в демонстрации различных достижений, а также в получении признания и одобрения требует формирования каналов неформальных связей в целом со стороны других акторов. Удовлетворению этой группы потребностей может служить моделирование сложившейся в организации системы оплаты труда, системы оценки рабочих результатов (ревью), симуляция должностного и профессионального роста и планирования карьеры на основе включения элементов моделей $\pi^{\leftrightarrow}$, ϕ , $\pi^{\downarrow}$, E при формировании связей агентов друг с другом.

При любых обстоятельствах у акторов, участвующих в процессах, которые требуют развития и актуализации личного и профессионального потенциала, развивается постоянная потребность в самоактуализации. Акторы с высокой потребностью в самоактуализации стремятся работать на максимуме своих возможностей, успевая обработать разноплановые управляющие сигналы. При симуляции данная потребность удовлетворяется путем включения моделей π^+ , ϕ , E в имитацию процессов выполнения актором рабочих заданий и реализации поставленных планов.

Аналогично предыдущему случаю постоянная потребность в достижении, проявляемая в стремлении получить значимые результаты деятельности, желании опередить конкурентов, имеет ключевое значение для понимания поведения социально-экономического актора. Действительно, именно конкурирующие акторы стремятся к выполнению и перевыполнению рабочих заданий, риску, необходимому для выживания социально-экономической системы в целом. Симуляция потребности достижения реализуется путем включения моделей π^+ , ϕ , E в процедуры реализации акторами стоящих перед ними задач.

Симуляция потребности во власти и оказании влияния имеет ряд особенностей. В условиях социально-экономической системы этот мотив проявляется не только в виде стремления актора к власти, руководству, влиянию на других акторов, но и в стремлении к независимости при выполнении управляющих сигналов. Как уже отмечалось ранее, в связи с ростом сложности социально-экономических систем последнее находит отражение в виде децентрализации управления, приводящего к тому что акторы на большинстве уровней иерархии системы имеют (в разной степени) возможности по принятию решений. Симуляция потребности власти реализуется, как правило, путем включения модели π^1 (реже – моделей π^+ , ϕ , E ; в исключительных случаях (при делегировании задач) – модели π^1) в процедуры реа-

лизации каналов связи с другими агентами.

Таким образом, каждый актор в процессе своей жизнедеятельности испытывает несколько потребностей одновременно. Однако в различные периоды времени приоритет потребностей может меняться. Допустимо считать, что каждый актор в каждый момент симуляции испытывает все потребности, однако некоторые из них столь малозначимы, что на общий психо-эмоциональный фон не оказывают никакого практического воздействия.

Потребности вызывают у актора эмоциональный отклик, который побуждает актора к действию – созданию или выполнению управленческих сигналов. Следует отметить, что актор может получить управленческих сигналов больше, чем он может выполнить. По этой причине он постоянно ранжирует управленческие сигналы с помощью методов экспертных оценок, в частности, как указывалось выше, с помощью метода нечеткого анализа иерархий. В свою очередь действия актора, являющиеся реакцией как на потребность, так и на управленческий сигнал, а также на ощущение протекающего времени, приводят к эмоциональной реакции и изменению уровня потребности (в желательном либо нежелательном для актора направлении), что замыкает цикл, представленный на рис. 7. Отметим, что в рамках данной статьи рекурсивные обратные связи между потребностями и эмоциями не рассматриваются.

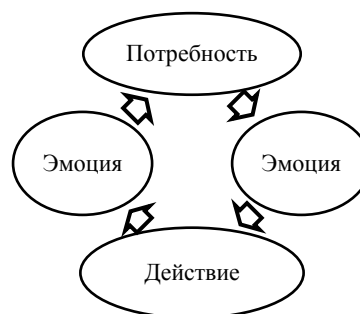


Рис. 7. Взаимосвязь потребностей, эмоций и действий

Управленческий сигнал – кодированное сообщение на языке взаимодействия подсистем X_j^i о необходимом результирующем состоянии $y \in Y$, требуемых значениях управляющих воздействий для осуществления перехода $x \rightarrow y$ и т. д. Это сообщение, которое характеризует аспекты взаимоотношений двух агентов, исходит от одного агента и приходит к другому. Отметим, что это абстракция физической концепции сообщения, однако в рамках данной симуляции нас интересуют именно восприятие и реакция агентов на сообщения друг от друга. В этом смысле сообщение представляет собой именно взаимодействие двух агентов. К примеру, совещание трех подчиненных и их начальника, на котором начальник делает выговор одному из подчиненных, представляется в симуляции в виде трех сообщений, исходящих от агента-начальника к агентам-подчиненным.

Сигнал управления может содержать в себе следующую информацию:

1. *Управляющий сигнал* $u \in U^1$ и результирующий сигнал $w \in U_1$ о выполнении перехода $x \rightarrow y$, которые характеризуются следующими параметрами:

- *типом*, включая *прямой* – непосредственное взаимодействие между управляющей и управляемой системами, и *косвенный* – получение информации в отсутствие непосредственного взаимодействия между управляющей и управляемой системами;

- *способом передачи*, включая *письменный*, *вербальный* и *тактильный*.

2. *Дату действия* – период, на который агент, от которого исходит сообщение, ожидает ответного сообщения.

3. *Дату посылки* – период, во время которого создано сообщение.

Дополнительно *сообщение-приказ* может иметь:

- *штрафы* – ресурсы, которые управляемый агент потеряет в случае невыполнения требований сообщения;

- *награды* – ресурсы, которые управляемый агент получит в случае выполнения требований сообщения;

- *трудоемкость* – ресурсы, которые управляемый агент, по мнению управляющего агента, может затратить на выполнение требований сообщения.

Дополнительно *сообщение-отчет* содержит информацию о статусе выполнения приказа.

Сообщение-приказ проходит несколько стадий и состояний в рамках своего жизненного пути:

- *создание* – управляющий агент создает сообщение;

- *принятие к исполнению* – управляемый агент проинформирован о сообщении, оно было передано по каналу связи между управляющим и управляемым агентом;

- *исполнение* – управляемый агент приступил к исполнению инструкций сообщения;

- *выполнение* – управляемый агент выполнил инструкции сообщения;

- *делегирование* – управляемый агент делегировал исполнение инструкций сообщений путем создания одного или нескольких сообщений для управляемых им агентов;

- *игнорирование* – управляемый агент проигнорировал сообщение.

Замечание: не существует абсолютно лучшего/наиболее эффективного типа и способа передачи управленческого сигнала, он выбирается в зависимости от конкретной ситуации.

Пример: две управляемые системы одного уровня X_2^2 и X_2^2 работают над выполнением приказов от их управляющей системы X_1^1 . В случае если управляемой системе X_2^2 необходимо передать управленческий сигнал управляемой системе X_2^2 , у нее есть, как минимум, два разных пути: неформально, напрямую к управляемой системе X_2^2 либо формально через управляющую ими обеими систему X_1^1 .

Таким образом, перед агентом в каждый период симуляции стоит ряд сообщений S_l^i ($i = 1, \dots, I$), которые он должен обработать.

Агент ранжирует актуальные сообщения с помощью метода анализа иерархий по следующим критериям K_j ($j = 1, \dots, J$):

- потребности типа ресурсов-наград, ресурсов-штрафов и потребностей агента, задаваемых в определенной шкале;
- трудоемкость;
- время выполнения;
- канал связи с актором, создавшим задачу.

Опишем механизм формирования управленческих решений. Дополнительно к сказанному выше промежуточная управляющая подсистема $X_j^1 \subseteq X$ ($j = 1, \dots, J$) при получении сигнала управления производит его декомпозицию:

- на действия в рамках системы X , которые выполняются непосредственно подсистемой X_j^1 ;

- действия, выполнимые в рамках управляемых систем $X_j^2 \subseteq X$, для реализации которых подсистемой X_j^1 создаются и передаются сигналы управления для управляемых систем нижнего уровня X_j^2 .

Выше отмечалось, что для осуществления управления потребляются различные ресурсы $R = \{r_k\}$. Для каждого ресурса система стремится либо к минимизации его использования для осуществления известного управления, либо приведения его к определенному значению и максимизации эффекта Π от использования R . Таким образом, при реализации декомпозиции управляющей системой ставятся и решаются прямые и двойственные оптимизационные задачи с ограничениями вида

$$R \rightarrow \min, \Pi = \Pi_0 \text{ либо } \Pi \rightarrow \max, R = R_0.$$

Поясним это утверждение примером.

Пример. У управляющей системы X_1^1 (менеджера) есть две управляемые системы X_1^2 и X_2^2 (сотрудники). С первым сотрудником X_1^2 его связывают неформальные отношения, со вторым X_2^2 – нет. Менеджеру приходит управленческий сигнал S^{01} , для реакции на который необходимо выполнить большой объем рутинной, но простой работы. Все трое одинаково способны квалифицированно выполнить работу. Менеджер решает передать одному

из своих подчиненных эту работу, так как для ее выполнения на своем уровне X_1^1 он понесет большие мотивационные затраты (считаем временные затраты одинаковыми для менеджера и сотрудника, например, в формировании отчета). При создании управляющего сигнала S_i^{11} ($i = 1$ либо 2) менеджер будет вынужден использовать свой репутационный ресурс R в отношении одного из сотрудников и, если сотрудник недоволен порученной работой, тратить ресурс, так как репутация менеджера для этого сотрудника упадет. Поставив формальную оптимизационную задачу

$$\begin{aligned} v_1 s_1 + v_2 s_2 + v_3 s_3 &\rightarrow \min, \\ s_1 &\geq s_2 + s_3, \quad s_2 \geq s_3, \quad s_1 + s_2 + s_3 \geq 1, \\ s_1 &\geq 0, \quad s_2 \geq 0, \quad s_3 \geq 0, \end{aligned}$$

где v_i ($i = 1, 2, 3$) – важность соответствующей компоненты; s_1 – мотивационные затраты менеджера; s_2 – репутационные затраты менеджера при передаче управляющего сигнала первому сотруднику; s_3 – репутационные затраты менеджера при передаче управляющего сигнала второму сотруднику, менеджер при прочих равных условиях выберет второго сотрудника, если важность репутационного ресурса для первого сотрудника (r_1) больше, чем важность репутационного ресурса для второго сотрудника (r_2). Таким образом, поручение выполнения задания второму сотруднику X_2^2 представляется менеджеру более дешевым управленческим сигналом, чем для первого сотрудника X_1^2 , и, как указывалось ранее, дешевле, чем затраты на выполнение задания на текущем уровне системы X_1^1 самим менеджером.

В общем случае формирование управленческих решений часто сводится к задаче линейного программирования по минимизации затрат на решение проблемы, вызвавшей необходимость появления управленческого решения, либо для двойственной к ней задаче по максимизации результатов управления. На практике управляющая система перебирает варианты управления и/или действий, проводит

субъективный подсчет их стоимости и выбор варианта.

Отметим, что управляемый агент X_i^2 также влияет на посылаемые ему управляющие сигналы, так как управляющий агент X_j^1 учитывает при формировании управляющих сигналов такие факторы, как *история взаимоотношений* X_j^1 и X_i^2 , *текущая загрузка* X_i^2 , *склонность к риску*.

Агент, как сказано выше, имеет удельную загрузку. При этом в зависимости от склонности к риску он может создавать большее число управляющих сигналов и делать их более трудоемкими, соответственно повышая загрузку свою и управляе-

мых агентов в обмен на дополнительное увеличение ресурсов в случае успешного выполнения работ.

На основе изложенных предпосылок была создана информационная система, реализующая эффективную агентно-ориентированную модель. Система состоит из двух частей: генерации структуры и архитектуры симуляции и исполнения симуляции, которое заключается в последовательном исполнении всех периодов симуляции. В рамках исполнения одного периода симуляции обрабатываются последовательно действия всех агентов. Схематически этот процесс представлен на рис. 8.



Рис. 8. Схема работы симуляции

Рассмотрим примеры работы информационной системы. Для начала создадим симуляцию из 15 акторов, продемонстрировав влияние производительности труда агентов на работу структуры. Акторы объединены каналами связи в многоуровневую структуру, отражающую срез фирмы, условно состоящей из следующих агентов: «Директор» X_1^0 – «Начальник по направлению» X_1^1 – «Заведующий отделом» X_1^2 –

«Бригадир» X_i^3 ($i = 1-4$) – «Рабочий» X_j^4 ($j = 1-8$). Считается, что заданы параметры внешней среды, влияющие на работу фирмы. Акторы верхних уровней обозревают внешнюю среду и генерируют сообщения-приказы с целью изменения состояния системы для адаптации к внешней среде. Структура акторов симуляции представлена на рис. 9.



Рис. 9. Структура акторов симуляции

Сравним результаты двух симуляций – с низким и высоким потоком сообщений из внешней среды. Как следует из графиков рис. 10, в нейтральной среде при низком уровне внешних сообщений все созданные внутренние сообщения в последующих периодах переходят в другие со-

стояния. Характер графиков рис. 11 показывает, что в агрессивной внешней среде при высоком уровне требуемой интенсивности работ по обработке информации и реализации заданий сообщения не исполняются, приводя к неэффективной работе структуры.

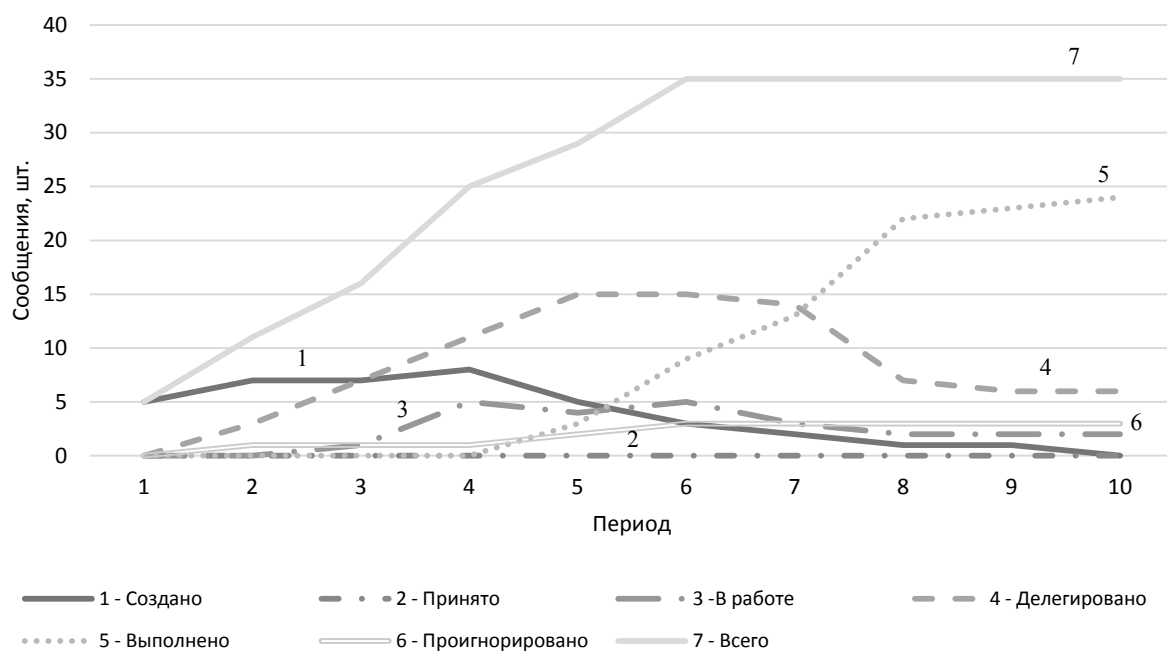


Рис. 10. Работа системы в нейтральной среде

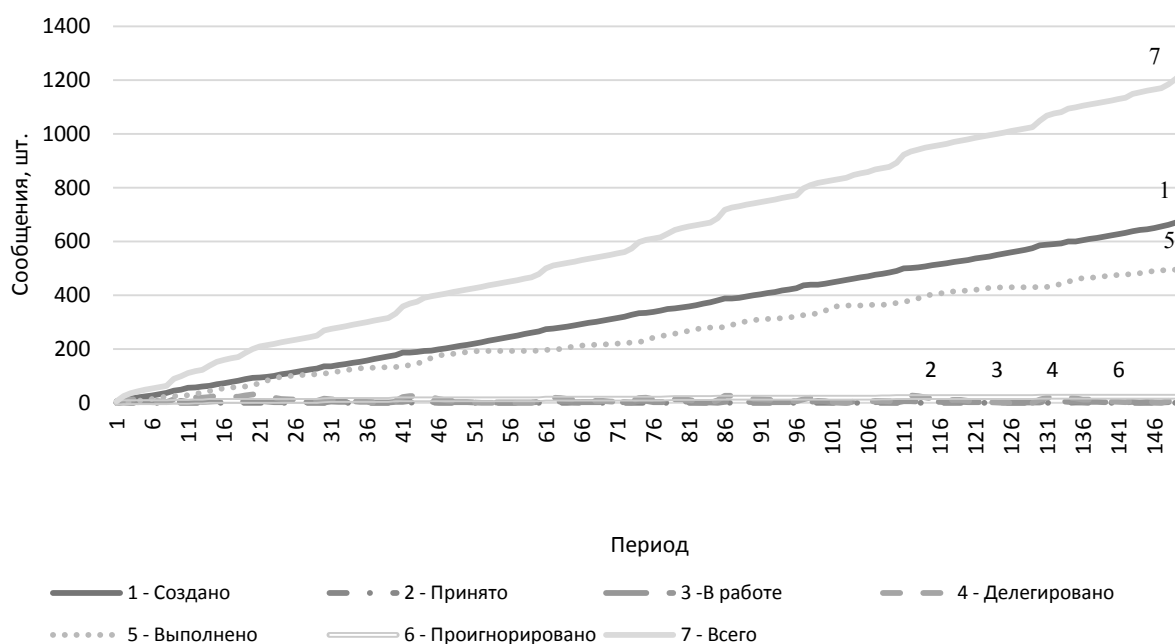


Рис. 11. Работа системы в агрессивной среде

Рассмотрим пример анализа влияния структуры организации на ее функционирование. Для начала создадим в ней условную жизнеспособную социально-эконо-

мическую систему «Университет» со структурой изначального типа, вид которой представлен на рис. 12.

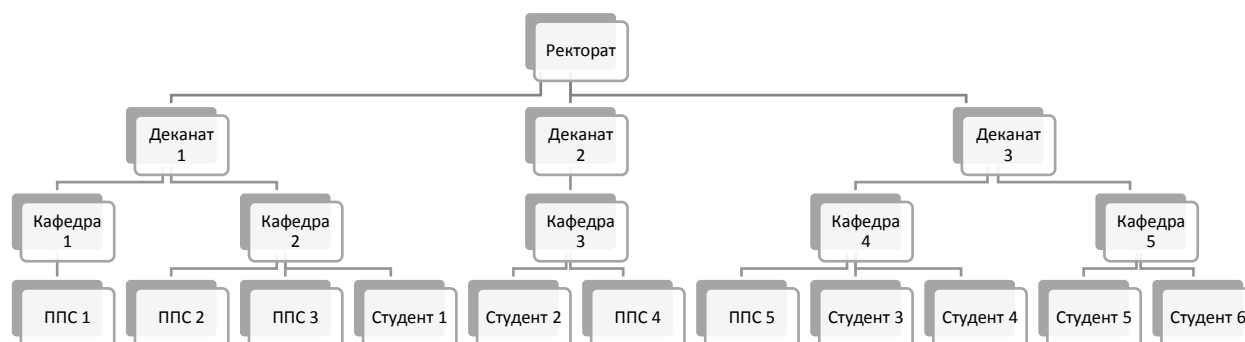


Рис. 12. Изначальная структура университета

Аналогично предыдущему примеру для перехода к моделированию зададим параметры внешней среды. Акторы верхних уровней обозревают внешнюю среду и генерируют сообщения-приказы с целью изменения состояния системы для адаптации к внешней среде.

В данной симуляции «Ректорат» получает приказ из внешней среды (представленной Минобрнауки), который состоит из ряда целевых показателей, которые университет как социально-экономическая система должен достичь для продолжения стабильного функционирования и развития. «Ректорат» производит декомпозицию полученного приказа, в результате которой часть задач может быть решена непосредственно агентом данного уровня, в данном случае «Ректоратом», самостоятельно, а часть делегирована управляемым агентам для исполнения. В данной симуляции «Ректорат» получает приказ из внешней среды (представленной с помощью сообщений-приказов) и направляет его в «Деканаты». Агенты следующих уровней проводят дальнейшую декомпозицию аналогичным образом, за исключением аген-

тов «ППС» и «Студент», которые ввиду невозможности делегировать приказ выполняют его полностью самостоятельно.

Проведем две симуляции с низким и высоким потоком сообщений, вызванными различными количественными характеристиками исходного приказа, а именно значениями целевых показателей и времени исполнения первоначального приказа. Результаты работы симуляции представлены на рис. 13 и 14.

Реорганизуем структуру системы «Университет» (рис. 15). Заметим ключевое отличие новой структуры университета: ранее единая иерархия теперь имеет разветвление на уровне «Проректора», при этом отсутствуют прямые формальные связи между различными частями иерархии, к примеру, была формально разрушена связь между «Деканатом» и «Кафедрой», существовавшая в изначальной структуре университета. При этом ряд целевых показателей в приказе, поступившем в «Ректорат», требует активного взаимодействия между агентами типа «Деканат» и «Кафедра», что в новой структуре возможно только через «Ректорат».

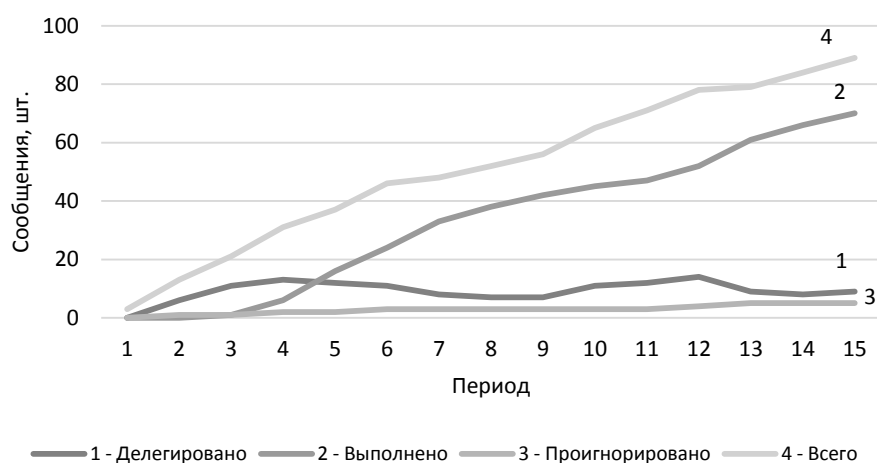


Рис. 13. Изначальная структура, нейтральная среда

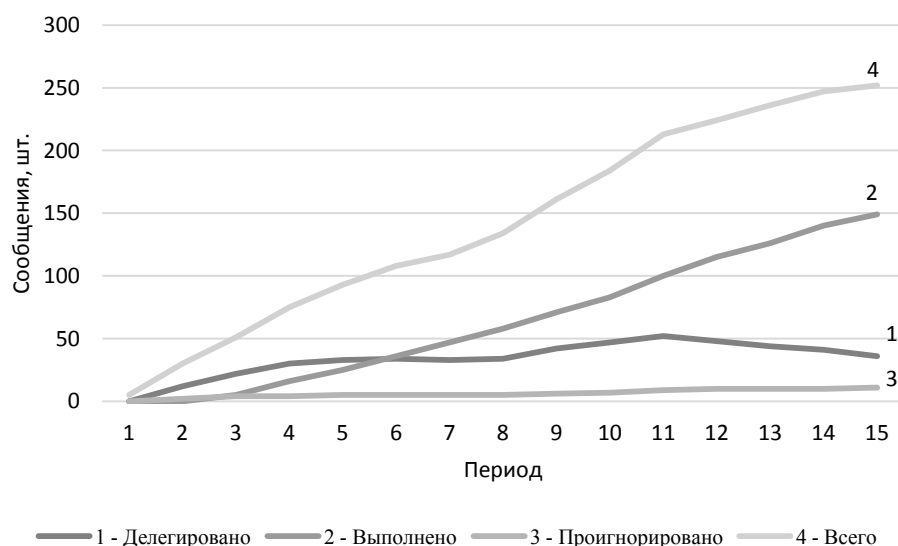


Рис. 14. Изначальная структура, агрессивная среда

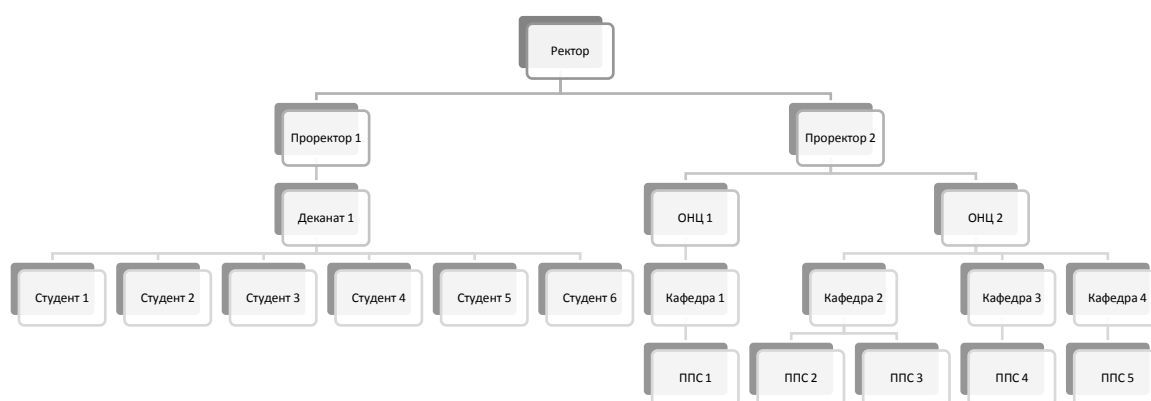


Рис. 15. Новая структура университета

Исследуем, как новая структура функционирует в нейтральной и агрессивной среде. Результаты симуляции представле-

ны в виде графиков на рис. 16 и 17 и сведены в таблицу.

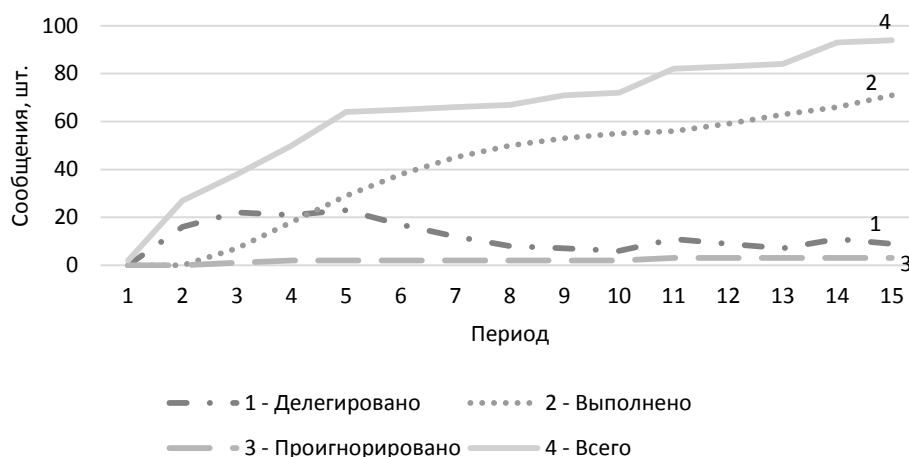


Рис. 16. Новая структура, нейтральная среда

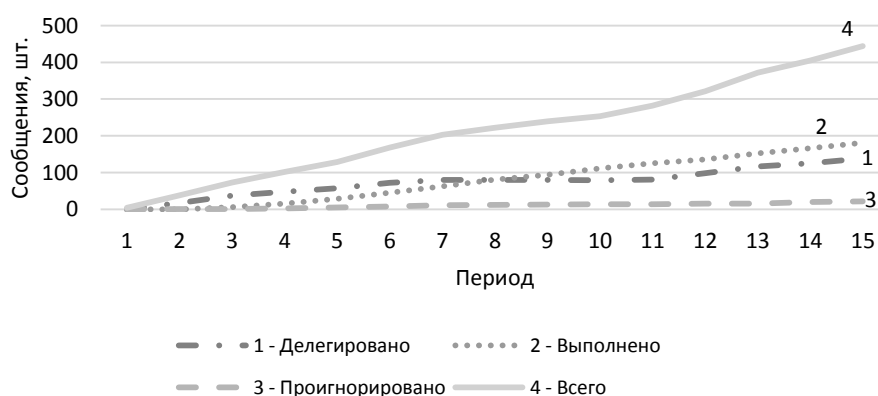


Рис. 17. Новая структура, агрессивная среда

Сравнение жизнеспособности старой и новой структур университета

	Изначальная структура, нейтральная среда	Новая структура, нейтральная среда	Изначальная структура, агрессивная среда	Новая структура, агрессивная среда
Всего сообщений, шт.	89	94	252	451
Выполненные сообщения, %	87,64	79,79	62,30	42,79
Выполненные в срок сообщения, %	75,28	51,06	45,24	26,83

Как видно из таблицы, изначальная структура университета в данных конкретных сравнимых условиях более жизнеспособна, реализуя не только больший процент выполненных сообщений, но и больший процент выполненных в срок со-

общений, нежели реорганизованная указанным образом структура университета. Представляется, что причина частичной потери эффективности работы системы связана с нарушением в реорганизованной структуре формальных каналов связи ме-

жду акторами X_1^2 – «Деканат» и X_i^2 ($i = 1, 2$) – «ОНЦ» (образовательно-научный центр), вынуждая при необходимости использовать передачу сообщений через более высокий уровень X_j^1 ($j = 1, 2$) либо напрямую, но неформально.

Таким образом, в настоящее время успешная деятельность практически во всех сферах экономики невозможна без моделирования поведения и динамики развития процессов, изучения особенностей развития экономических объектов, рассмотрения их функционирования в различных условиях, а программные и технические средства должны стать здесь первыми помощниками.

На основе проведенного в данном исследовании анализа сущности и содержания метода агентного моделирования и разработки компьютерных приложений можем сделать ряд выводов и резюмировать результаты работы:

1. Агентное моделирование позволяет решить задачи высокого уровня сложности, в частности, задачи исследования

сложных гетерогенных децентрализованных социально-экономических систем с учетом психосоциальных и психоэмоциональных аспектов поведения акторов.

2. Предложенное описание аппарата агентного моделирования указанного класса и уровня сложности может использоваться в области описания социально-экономических симуляций и функционирования агентов в различных сферах и ситуациях.

3. Прикладной компьютерный продукт информационной системы эффективно реализует предложенную модель имитации социально-экономических симуляций и функционирования агентов с учетом психосоциальных и психоэмоциональных аспектов поведения акторов.

4. Созданный открытый прикладной инструментарий может использоваться для анализа эффективности работы широкого спектра организационных социально-экономических структур, их жизнедеятельности и жизнеспособности, обеспечивая конкурентоспособность системы.

Список литературы

1. Берталанди Л. фон. История и статус общей теории систем // Системные исследования. – М. : Наука, 1973.
2. Бир С. Мозг фирмы : пер. с англ. – 2-е изд., стереотипное. – М. : Едиториал УРСС, 2005.
3. Глазунов Ю. Т. Структура и динамика удовлетворения потребности: математическая модель // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Серия: Филология, педагогика, психология. – 2011. – № 11. – С. 43–51.
4. Зимин И. Н., Картвелишвили В. М. Университет: жизнеспособность и рекурсия // Россия: государство и общество в новой реальности : сборник статей Международной научно-практической конференции. – М. : Проспект, 2016. – С. 251–258.
5. Картвелишвили В. М., Крынецкий Д. С. Материальная оценка труда как личностно-стимулирующий фактор // Вестник Российского экономического университета имени Г. В. Плеханова. – 2015. – № 3 (81). – С. 89–98.
6. Картвелишвили В. М., Крынецкий Д. С. Эмоции, характер, стимул: математические модели // Вестник Российского государственного торгово-экономического университета. – 2014. – № 10 (86). – С. 81–95.
7. Картвелишвили В. М., Крынецкий Д. С., Лебедюк Э. А. Системно-динамическая модель иерархических отношений социально-экономических субъектов // Вестник Российского экономического университета имени Г. В. Плеханова. – 2017. – № 3 (93). – С. 127–141.
8. Картвелишвили В. М., Лебедюк Э. А. Метод анализа иерархий: критерии и практика // Вестник Российского экономического университета имени Г. В. Плеханова. – 2013. – № 6 (60). – С. 97–112.

9. *Картвелишвили В. М., Лебедюк Э. А.* Нечеткий метод анализа иерархий: критерии и практика // Вестник Российского государственного торгово-экономического университета. – 2013. – № 9-10 (79). – С. 146–158.

10. *Картвелишвили В. М., Лебедюк Э. А.* Стимулы и математическая модель взаимосвязи эмоций экономических субъектов // Вестник Российского экономического университета имени Г. В. Плеханова. – 2016. – № 4 (88). – С. 113–126.

11. *Макаров В. Л., Бахтизин А. Р., Сушко Е. Д., Васенин В. А., Борисов В. А., Роганов В. А.* Агент-ориентированные модели: мировой опыт и технические возможности реализации на суперкомпьютерах // Вестник РАН. – 2016. – Т. 86. – № 3. – С. 252–262.

12. *Gilbert N., Pyka A., Ahrweiler P.* Innovation Networks – A Simulation Approach // Journal of Artificial Societies and Social Simulation. – 2001. – Vol. 4. – N 3.

13. *Ovsich A.* Mathematical Models of Desire, Need, Attention, and Will Effort // Vallverdú J., Mazzara M., Talanov M., Distefano S., Lowe R. (eds). Advanced Research on Biologically Inspired Cognitive Architectures. – IGI Global, USA, 2017. – P. 177–213.

14. *Wilensky U., Rand W.* An Introduction to Agent-Based Modeling. – The MIT Press, 2015.

References

1. Bertalanfi L. fon. *Istoriya i status obshchey teorii sistem* [History and Status of the General Theory of Systems]. *Sistemnye issledovaniya* [System Research]. Moscow, Nauka, 1973. (In Russ.).

2. *Bir S.* *Mozg firmy* [The Brain of the Firm], translated from English, 2nd izd., stereotipnoe. Moscow, Editorial URSS, 2005. (In Russ.).

3. *Glazunov Yu. T.* *Struktura i dinamika udovletvoreniya potrebnosti: matematicheskaya model'* [Structure and Dynamics of Meeting the Need: Mathematic Model]. *Vestnik Baltiyskogo federal'nogo universiteta im. I. Kanta. Seriya: Filologiya, pedagogika, psikhologiya* [Bulletin of the Baltic Federal University Named after I. Kant. Series: Philology, Pedagogics, Psychology], 2011, No. 11, pp. 43–51. (In Russ.).

4. *Zimin I. N., Kartvelishvili V. M.* *Universitet: zhiznesposobnost' i rekursiya* [University: Viability and Recursion]. *Rossiya: gosudarstvo i obshchestvo v novoy real'nosti, sbornik statey Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Russia: State and Society in New Reality, collection of articles of the International Conference]. Moscow, Prospekt, 2016, pp. 251–258. (In Russ.).

5. *Kartvelishvili V. M., Krynetskiy D. S.* *Material'naya otsenka truda kak lichnostno-stimuliruyushchiy factor* [Mathematic Estimation of Labour as a Personality-Stimulating Factor]. *Vestnik Rossiyskogo ekonomicheskogo universiteta imeni G. V. Plekhanova* [Vestnik of the Plekhanov Russian University of Economics], 2015, No. 3 (81), pp. 89–98. (In Russ.).

6. *Kartvelishvili V. M., Krynetskiy D. S.* *Emotsii, kharakter, stimul: matematicheskie modeli* [Emotions, Character, Incentive: Mathematic Models]. *Vestnik Rossiyskogo gosudarstvennogo torгово-ekonomicheskogo universiteta* [Bulletin of the Russian State Trade-Economics University], 2014, No. 10 (86), pp. 81–95. (In Russ.).

7. *Kartvelishvili V. M., Krynetskiy D. S., Lebedyuk E. A.* *Sistemno-dinamicheskaya model' ierarkhicheskikh otnosheniy sotsial'no-ekonomicheskikh sub'ektov* [System-Dynamic Model of Hierarchical Relations of Social-Economic Entities]. *Vestnik Rossiyskogo ekonomicheskogo universiteta imeni G. V. Plekhanova* [Vestnik of the Plekhanov Russian University of Economics], 2017, No. 3 (93), pp. 127–141. (In Russ.).

8. *Kartvelishvili V. M., Lebedyuk E. A.* *Metod analiza ierarkhiy: kriterii i praktika* [Method of Analyzing Hierarchies: Criteria and Practice]. *Vestnik Rossiyskogo ekonomicheskogo universiteta*

imeni G. V. Plekhanova [Vestnik of the Plekhanov Russian University of Economics], 2013, No. 6 (60), pp. 97–112. (In Russ.).

9. Kartvelishvili V. M., Lebedyuk E. A. Nechetkiy metod analiza ierarkhiy: kriterii i praktika [Indistinct Method of Analyzing Hierarchies: Criteria and Practice]. *Vestnik Rossiyskogo gosudarstvennogo torgovo-ekonomicheskogo universiteta* [Bulletin of the Russian State Trade-Economics University], 2013, No. 9-10 (79), pp. 146–158. (In Russ.).

10. Kartvelishvili V. M., Lebedyuk E. A. Stimuly i matematicheskaya model' vzaimosvyazi emotsiy ekonomicheskikh sub'ektov [Incentives and Mathematic Model of Interconnection of Economic Entities' Emotions]. *Vestnik Rossiyskogo ekonomicheskogo universiteta imeni G. V. Plekhanova* [Vestnik of the Plekhanov Russian University of Economics], 2016, No. 4 (88), pp. 113–126. (In Russ.).

11. Makarov V. L., Bakhtizin A. R., Sushko E. D., Vasenin V. A., Borisov V. A., Roganov V. A. Agent-orientirovannye modeli: mirovoy opyt i tekhnicheskie vozmozhnosti realizatsii na superkomp'yuterakh [Agent-Oriented Models: World Experience and Technical Possibilities of Realization by Super-Computers]. *Vestnik RAN* [Bulletin of RAN], 2016, Vol. 86, No. 3, pp. 252–262. (In Russ.).

12. Gilbert N., Pyka A., Ahrweiler P. Innovation Networks – A Simulation Approach. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 2001, Vol. 4, No. 3.

13. Ovsich A. Mathematical Models of Desire, Need, Attention, and Will Effort. *Vallverdú J., Mazzara M., Talanov M., Distefano S., Lowe R. (eds.). Advanced Research on Biologically Inspired Cognitive Architectures*. IGI Global, USA, 2017, pp. 177–213.

14. Wilensky U., Rand W. An Introduction to Agent-Based Modeling. The MIT Press, 2015.

Сведения об авторах

Василий Михайлович Картвелишвили

доктор физико-математических наук,
профессор кафедры математических
методов в экономике РЭУ им. Г. В. Плеханова.

Адрес: ФГБОУ ВО «Российский
экономический университет имени
Г. В. Плеханова», 117997, Москва,
Стремянный пер., д. 36.
E-mail: VMK777@mail.ru

Эдуард Андреевич Лебедюк

аспирант кафедры математических
методов в экономике
РЭУ им. Г. В. Плеханова.

Адрес: ФГБОУ ВО «Российский
экономический университет имени
Г. В. Плеханова», 117997, Москва,
Стремянный пер., д. 36.
E-mail: lebeduk93@gmail.com

Information about the authors

Vasilii M. Kartvelishvili

Doctor of Physical and Mathematical Sciences,
Professor of the Department for Mathematical
Methods in Economics of the PRUE.

Address: Plekhanov Russian University
of Economics, 36 Stremyanny Lane,
Moscow, 117997,
Russian Federation.
E-mail: VMK777@mail.ru

Eduard A. Lebedyuk

Post-Graduate Student of the Department
for Mathematical Methods in Economics
of the PRUE.

Address: Plekhanov Russian University
of Economics, 36 Stremyanny Lane,
Moscow, 117997,
Russian Federation.
E-mail: lebeduk93@gmail.com