

пятой. Оптимизация перепада для короткозамкнутых линий проводится по электрической длине линии, а для разомкнутых – дополнительно по положению первого нуля функции входного сопротивления. Однако для короткозамкнутых линий с целью оптимизации можно использовать положение нулей функции входного сопротивления.

Результаты синтеза и оптимизации некоторых короткозамкнутых и разомкнутых линий представлены в таблицах 1 и 2 соответственно, где n – количество ступенек; $\theta = \theta_0 n$ – электрическая длина линии; θ_0 – электрическая длина одной ступеньки; P_r – перепад волновых сопротивлений; $P_r = W_{\max} / W_{\min}$, где W_{\max} и W_{\min} – максимальное и минимальное волновые сопротивления.

Представленный алгоритм синтеза и оптимизации ступенчатых линий позволяет получать с заданной точностью решение задачи, которая характеризуется величинами коэффициентов нулей и полюсов, и оценивать все конструктивные пара-

метры синтезируемых линий. Анализ полученных результатов показывает, что одни и те же электрические характеристики могут быть получены от линий с различным числом ступенек. Следует отметить, что выигрыш в длине ступенчатых резонаторов по сравнению с однородными получается значительным.

Литература

1. Бердышев В.П., Синицын А.В. Развитие методов синтеза и построения фильтрующих устройств СВЧ на неоднородных линиях. Тверь: ВУ ПВО, 2001. Ч. 1. 2002. Ч. 2.
2. Устройства СВЧ и антенны; [под ред. Д.И. Воскресенского]. М.: Радиотехника, 2008.
3. Козловский В.В., Сошников В.И. Устройства на неоднородных линиях. К.: Техніка, 1987. 191 с.
4. Оружие и технологии России. Энциклопедия. Т. 9. XXI век. ПВО и ПРО; [под ред. С.Б. Иванова]. М.: Оружие и технологии, 2004.
5. Козловский В.В. Расчет многоступенчатых резонаторов, состоящих из однородных отрезков линий передач по диапазону перестройки // Радиотехника, 1979. Т. 34. № 8. С. 30–34.

УДК 001.57+519.876.5

МУЛЬТИАГЕНТНОЕ ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА НАКОПЛЕНИЯ ЗНАНИЙ

Ю.А. Ивашкин, д.т.н.; Е.А. Назойкин

(Московский государственный университет прикладной биотехнологии,
ivashkin@msaab.ru, mirovind@mail.ru)

Статья посвящена разработке мультиагентной имитационной модели учебного процесса вуза, отражающей состояние и динамику передачи и накопления знаний с анализом и прогнозированием качества образования. Описываются методы, алгоритмы и программная реализация агентно-ориентированной имитации взаимодействия обучаемого и преподавателя с учетом психофизиологического, эмоционального и когнитивного состояний интеллектуальных агентов в универсальной имитационной системе Simplex3.

Ключевые слова: имитация, интеллектуальный агент, мультиагентная система, агентно-ориентированные технологии, социальное моделирование, накопление знаний.

Современный образовательный процесс представляет собой упорядоченное множество ситуаций, событий и действий, обеспечивающих передачу и усвоение учебной информации с накоплением профессиональных знаний и умений и формированием личностных качеств обучаемых.

Структурными составляющими такого процесса являются обучаемый субъект (учащийся, студент и т.п.), преподаватель (учитель), цели и содержание обучения, средства информационного и методического взаимодействия, результативный уровень профессиональной подготовки.

Идентификация и прогнозирование состояния и эффективности образовательного процесса связаны с использованием агентных технологий имитации взаимодействия интеллектуальных агентов классов «преподаватель» и «студент» в сложных ситуациях с нечеткой информацией и конфликт-

ными состояниями по аналогии с интеллектуальным поведением человека в подобных условиях.

Процесс обучения в вузе можно представить в виде трех основных взаимодействующих компонентов: обучаемый интеллектуальный агент **AgStud**, имитирующий процесс накопления знаний; интеллектуальный агент **AgTeacher**, передающий знания обучаемому агенту и оценивающий степень их накопления; объектный блок «среда обучения», отражающий условия обеспечения учебного процесса (расписание занятий, учебно-методические указания, оснащенность аудиторий и т.п.).

Параметрическое описание модели

Интеллектуальный агент **AgStud** описывается переменными и параметрами когнитивного **Co**,

психофизиологического **Ps**, эмоционального **Em** и социального **So** состояний в виде множества векторов: **AgStud**={**Co**, **Ps**, **Em**, **So**}.

Векторы когнитивного и психофизиологического состояний *i*-го агента включают исходные неизменяющиеся параметры агента **c_s**, влияющие на накопление знаний (**c_{s1}** – уровень интеллекта, **c_{s2}** – внимание, **c_{s3}** – зрительная память, **c_{s4}** – вербальная память, **c_{s5}** – ассоциативная память, **c_{s6}** – общие математические способности, **c_{s7}** – арифметический счет, **c_{s8}** – установление закономерностей), и переменные **c_a**, изменяющиеся в процессе обучения (**c_{a1}** – уровень априорных знаний **J₀**, **c_{a2}** – текущий уровень знаний **J**, **c_{a3}** – уровень остаточной информации и знаний **J_{ост}**, **c_{a4}** – коэффициент эффективности переработки информации **R**, **c_{a5}** – скорость восприятия информации **λ**).

Вектор эмоционального состояния *i*-го агента **Em_i**={**e_{i1}**, **e_{i2}**, **e_{i3}**, **e_{i4}**} отражает параметры состояния (**e_{i1}** – психологическая напряженность, **e_{i2}** – психотип) и переменные состояния (**e_{i3}** – степень удовлетворенности обучением, **e_{i4}** – эмоциональная реакция).

Вектор социального состояния агента **So_i**={**s_{i1}**, **s_{i2}**, **s_{i3}**} содержит параметры **s_{i1}** – индекс социометрического статуса, **s_{i2}** – коэффициент взаимодействия и переменную **s_{i3}** – удовлетворенность социальным положением.

Описание агента может быть дополнено вектором личностных характеристик **Pc_i**={**p_{i1}**, ..., **p_{i4}**}, включающим параметры состояния (**p_{i1}** – сознательность, **p_{i2}** – трудолюбие) и переменные (**p_{i3}** – мотивация обучения, **p_{i4}** – быстрота интеллектуальной утомляемости студента).

Параметры состояния определяются в результате проведения психологических тестов в группе студентов по заданным характеристикам и рассчитываются в относительных единицах с выделением четырех качественных уровней общего исходного состояния агента **AgStud** с предполагаемым результатом обучения (отлично, хорошо, удовлетворительно, плохо).

Процесс усвоения изучаемого материала и накопления информации во времени можно описать уравнением

$$\mathbf{J}(t) = \mathbf{R} \cdot \frac{d\mathbf{I}(t)}{dt} \cdot t + \mathbf{J}_0, \quad (1)$$

где **J(t)** – количество информации, накопленное студентом, Кб; **I(t)** – количество представляемой информации, Кб; **R** = $\frac{\mathbf{J}_t(t)}{\mathbf{I}(t)}$ – коэффициент эффективности переработки информации; **J_t(t)** – количество воспринятой текущей информации, Кб; **J₀** – количественная оценка априорных знаний; **t** – текущее время, ед.вр.

Важнейшей характеристикой интеллектуального состояния агента **AgStud** является психофизиологическая скорость восприятия студентом те-

кущей информации или его пропускная способность **λ_t** в текущий момент, Кб/ед.вр., выражаемая производной $\frac{d\mathbf{J}_t(t)}{dt} = \lambda_t$. (2)

Пропускная способность является функцией интеллектуального состояния студента и его априорных знаний, эмоционального состояния и эмоциональной реакции и изменяется в процессе обучения в зависимости от объема представленной **I(t)** и воспринятой **J_t(t)** информации, способа представления **I(t)**, степени тренированности и других факторов [1].

Исходное значение **λ_{0i}** *i*-го студента можно выразить уравнениями регрессии от исходных параметров когнитивного и эмоционального состояний *i*-го агента на основе корреляционного и регрессионного анализа экспериментальных данных в виде

$$\lambda_{0i} = p_{i0} + \sum_{j=1}^n p_{ij} c_{ij} + \sum_{k=1}^m p_{ik} e_{ik}, \quad i=1, \dots, N, \quad (3)$$

где **p_{ij}** – коэффициенты линейной множественной регрессии; **c_{ij}** – *j*-й параметр когнитивного состояния *i*-го студента; **e_{ik}** – *k*-й параметр эмоционального состояния *i*-го студента.

Допуская, что **λ_t** не изменяется в процессе восприятия текущей информации и зависит главным образом от уровня априорных знаний и степени тренированности, можно оценить **эффективность процесса накопления** знаний *i*-м студентом коэффициентом **R_i** как отношение воспринятой им информации **J_{it}(t)=λ_t·t** к представленной **I(t)** в виде

$$\mathbf{R}_i = \frac{\lambda_i \cdot t}{\mathbf{I}(t)} = \frac{1}{\mathbf{I}(t)} (p_{i0} + \sum_{j=1}^n p_{ij} c_{ij} + \sum_{k=1}^m p_{ik} e_{ik}) \cdot t, \quad i=1, \dots, N. \quad (4)$$

В соответствии с уравнением (1) и опытными данными [2] некоторый нормированный процесс накопления знаний аппроксимируется в первом приближении функцией вида

$$\mathbf{J}_t = \mathbf{I}_t \cdot (1 - e^{-\lambda \cdot t}), \quad (5)$$

где **I_t** – объем информации, предъявляемый преподавателем в момент **t**; **λ** – пропускная способность обучаемого в заданных условиях.

Эмоциональная реакция Q_i студента на процесс обучения (удовольствие, ожидание, обучение, стремление, безразличие, отрицание и т.п.) зависит от его эмоционального состояния в точке эмоционального гиперпространства с координатами **q_j**, **j=1, ..., 15** (счастье, грусть, злость, скука, сомнение, надежда, страх, интерес, презрение, отвращение, разочарование, удивление, гордость, стыд, чувство вины), и может быть определена множественной регрессией [3] ее конкретного вида от значений координат:

$$\mathbf{Q}_i = w_{i0} + \sum_{j=1}^{m_i} w_{ij} q_j, \quad i=1, \dots, 6, \quad (6)$$

где q_j – субъективная оценка уровня эмоции (j -й координаты) в баллах; m_i – число эмоций, имеющих сильную корреляционную связь с областью i -й эмоциональной реакции агента ($i=1, \dots, 6$).

При известных или задаваемых оценках координат вектора эмоционального состояния в 15-мерном эмоциональном пространстве после очередного события определяется область наиболее интенсивной эмоциональной реакции, обуславливающей дальнейшие действия агента [3, 4].

Коэффициент психологической напряженности агента определяется отношением абсолютно количества антагонистических связей к общему количеству взаимодействующих агентов.

Социальная составляющая агента определяется индексом социометрического статуса C_i , характеризующим степень общительности студента и его отношение к коллективу в целом, и рассчитывается с помощью экспертного опроса по формуле

$$C_i = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n (S_{ij} + S_{ji}), \quad i=1, \dots, N, \quad (7)$$

где S_{ij}, S_{ji} – количество прямых и обратных связей i -го агента с другими агентами $AgStud_j$ в группе с оценками сотрудничества (+1), антагонизма (-1) и безразличия (0) во взаимодействии; N – число студентов в группе.

Коэффициент взаимодействия i -го агента определяется также из матрицы взаимосвязей как отношение абсолютного количества неантагонистических отношений к количеству взаимодействующих агентов.

Агент «преподаватель» **AgTeach** характеризуется набором векторов состояния: $AgTeach = \{Co, Em\}$, где $Co = \{c_{1i}, c_{2i}, c_{3i}\}$ – вектор когнитивного состояния (c_1 – уровень знаний, c_2 – уровень умений, c_3 – степень владения предметной областью); $Em_i = \{e_{1i}, e_{2i}\}$ – вектор эмоционального состояния (e_1 – нервно-психологическая устойчивость, e_2 – темперамент личности, e_3 – степень удовлетворенности результатами обучения студентов).

Агент **AgTeacher** в учебном процессе имеет две фазы деятельности – преподавание требуемого материала с передачей знаний и контроль знаний агента **AgStud** с идентификацией его индивидуального состояния и рейтинговой оценкой в целом.

Математические модели (1)–(7) и производные правила поведения агентов позволяют составить описание состояния и поведения агентов в зависимости от ситуации взаимодействия с другими агентами и средой.

Мультиагентная модель образовательного процесса Learning

Данная модель в универсальной имитационной системе *Simplex3* [5] включает пять базисных компонентов (рис. 1), а именно: агенты класса **AgStud**, агент **AgTeach**, компонент **Area** «среда обучения», компонент **Statistic** «текущая успеваемость и оценка эффективности», компонент **Connexion** для адресного обмена сообщениями между агентами **AgStud** и **AgTeach**.

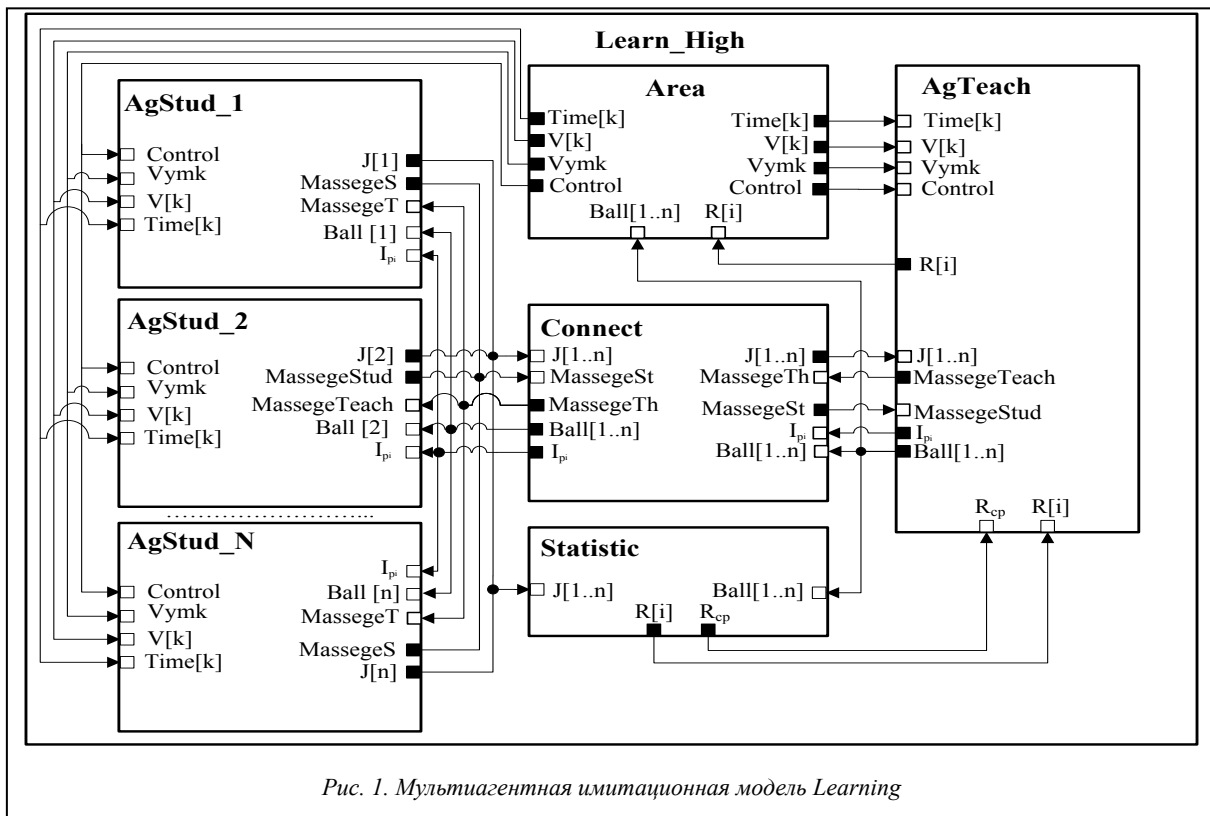


Рис. 1. Мультиагентная имитационная модель Learning

Time[k] – время начала **k**-го цикла аудиторных занятий, **k=1, ..., 3**; **V[k]** – характеристики среды обучения (оснащенность компьютерами, мультимедийными средствами, Интернетом и т.п.); **V_{ymk}** – учебные планы и графики лекционных, практических и лабораторных занятий на семестр; **Control** – информация о времени проведения и виде контроля; **J[i]** – информация о накопленных знаниях **i**-го агента; **I_{pi}** – поток информации от преподавателя; **MassegeStud** – мобильный компонент с сообщениями от агентов **AgStud**; **MassegeTeach** – мобильный компонент сообщений от агента **AgTeach**; **Ball[i]** – оценка **i**-го студента.

Каждый агент описывается на объектно-ориентированном языке описания моделей *Simplex-MDL (Model Description Language)* базисным *MDL*-компонентом с декларированием переменных состояния, сенсорных связей и описанием динамики поведения в виде алгебраических и дифференциальных уравнений или последовательности событий [5]. Базисные компоненты объединяются в общую мультиагентную модель системы с помощью сенсорных связей и мобильных компонентов для адресной передачи сообщений между агентами.

Из блока **Area** (среда обучения) агентам **AgStud** (студент) и **AgTeach** (преподаватель) по каналам сенсорных связей передаются: организационная информация о времени начала лекционных, практических и лабораторных занятий **Time[k]**, **k=1, ..., 3**; характеристики среды обучения **V[k]** (оснащенность компьютерами, мультимедийными средствами, Интернетом и т.п.); план лекционных, практических и лабораторных занятий на семестр **V_{ymk}**; информация о времени проведения и типе контроля **Control** накопленных знаний **J_i**.

От агента **AgTeach** каждому агенту **AgStud** через компонент **Connect** поступают поток учебной информации **I**, программа контроля **ActControl** и оценка, выставляемая преподавателем **i**-му студенту, **Ball_i**.

В свою очередь, агент **AgTeach** через компонент **Connect** получает от агентов **AgStud_i** как информацию о накопленных знаниях **J_i** **i**-го агента, о социальной потребности его в работе с преподавателем, о целях обучения, об эмоциональной реакции, так и оценку качества преподавания и др.

Обмен сообщениями между агентами обеспечивается, с одной стороны, *мобильным компонентом MessageStud*, передающим информацию от агентов **AgStud_i** агенту **AgTeach** об эмоциональной реакции, социальной потребности, запрос о помощи, и, с другой стороны, *мобильным компонентом MessageTeach* с персональной информацией **i**-му студенту (оценка успеваемости, дополнительный контроль, поощрение или порицание, дополнительные занятия и т.п.).

Общий алгоритм образовательного цикла показан на рисунке 2.

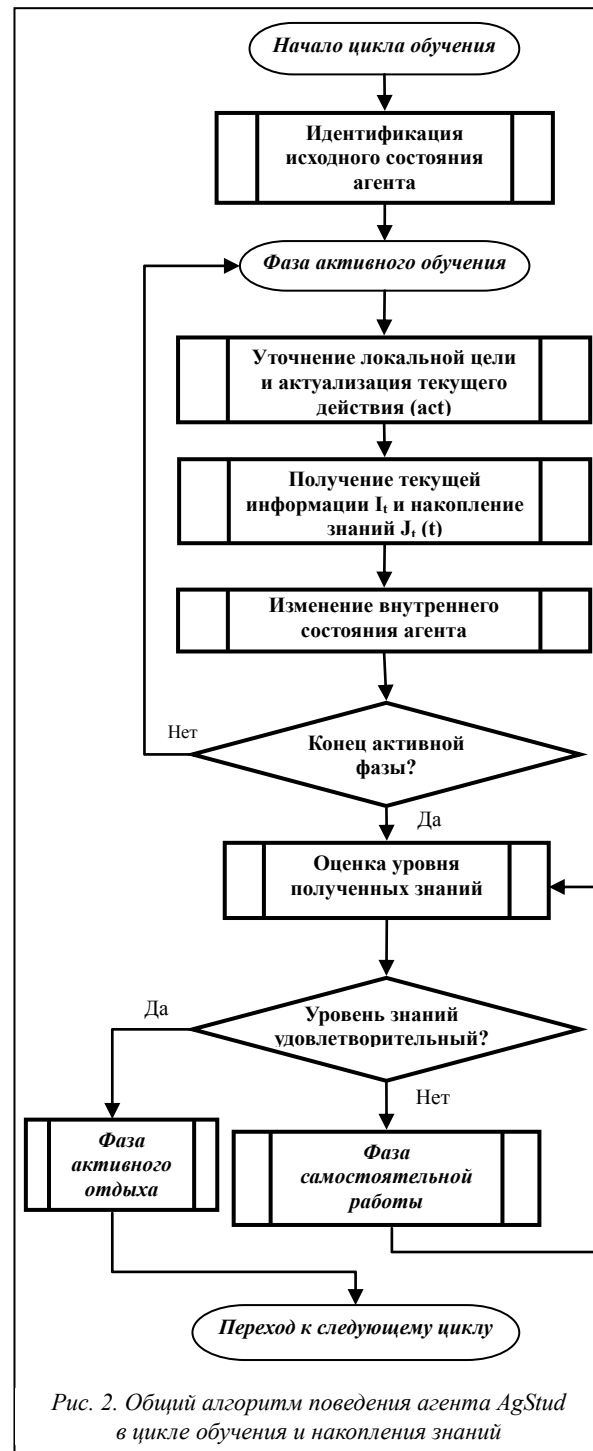


Рис. 2. Общий алгоритм поведения агента **AgStud** в цикле обучения и накопления знаний

В начале цикла моделирования задаются характеристики агента **AgStud** и рассчитываются исходные значения параметров и переменных векторов эмоционального, когнитивного, социального и личностного состояний.

Далее агенту сообщаются расписание лекционных, практических, лабораторных занятий и свободное время, в которое он может заниматься самостоятельно или с другими агентами **AgStud**, консультациями с **AgTeacher** или просто отдыхать [4].

В зависимости от уровня эмоциональной напряженности, когнитивного состояния и других факторов происходит процесс накопления знаний в соответствии с математическим описанием (1)–(7). На лекционных занятиях агент **AgStud** повышает уровень теоретических знаний, а на практических и лабораторных – степень тренированности с $\lambda_{\text{мп}}$.

После проведения занятий агент **AgStud** оценивает уровень полученных знаний. При неудовлетворительной оценке следует переход в фазу самостоятельного пополнения базы знаний с индивидуальной или коллективной стратегией. Оценка уровня полученных знаний в большинстве случаев связана с переговорным процессом и достижением согласия путем интерактивного обмена информацией в форме вопросов и ответов, на основе которого выставляется рейтинговая оценка **Ball**.

Результаты имитационного моделирования процесса накопления знаний

В результате имитационного моделирования на основе исходных данных и параметрических описаний получены кривые изменения уровня знаний студента в процессе активной и самостоятельной фаз обучения (рис. 3 и 4).

На графике рисунка 3 на отрезке от 0 до 4,5 ч. наблюдается рост знаний агентов в активной фазе обучения, где наиболее успешное накопление знаний показывает агент **AgStud1** за счет высоких когнитивных, эмоциональных, социальных и личностных характеристик и уровня априорных знаний. Агент **AgStud2** по сравнению с **AgStud1** имеет более низкие когнитивные характеристики и отстает в усвоении представляемой информации. Однако за счет высоких личностных характеристик (стремления к обучению) он приближается к уровню знаний агента **AgStud1**.

Состояние агента **AgStud3** соответствует удовлетворительному уровню, но при хорошей самостоятельной проработке материала и активном взаимодействии имеет более высокий уровень знаний, чем агент **AgStud4**, состояние которого на неудовлетворительном уровне.

На рисунке 4 показано изменение общей эффективности обучения агентов с учетом изменения их когнитивного Co , эмоционального Q_i и социального So состояний в цикле учебного процесса с активной (0–4,5 ч.) и самостоятельной (4,5–7,5 ч.) фазами работы.

Исходя из результатов моделирования можно сделать выводы о том, что учащимся следует ориентироваться на получение знаний, даваемых преподавателями, при этом необходимо уделять достаточно времени самоподготовке. В качестве управляющего воздействия можно выделить контроль полученных знаний как наиболее эффективный.

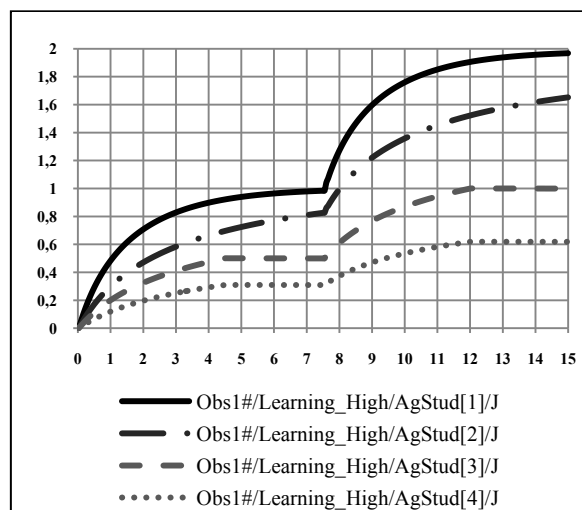


Рис. 3. Графики накопления знаний агентами **AgStud** в цикле учебного процесса

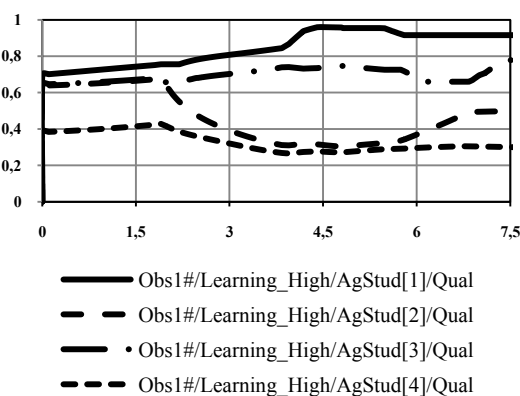


Рис. 4. Изменения эффективности процесса накопления знаний агентами

Предложенные модель и алгоритмы дают возможность получать статистику накопления знаний агентов, прогнозировать и оценивать образовательный процесс в зависимости от психофизиологических свойств агентов и их целей, легко выявлять факторы, оказывающие влияние на накопление знаний, устанавливать их значимость и вводить корректировку.

Литература

1. Ломов Б.Ф. Основы инженерной психологии: учебник для техн. вузов. М.: Высш. шк., 1986.
2. Маклаков А.Г. Профессиональный психологический отбор персонала. Теория и практика: учеб. для вузов. СПб: Питер, 2008.
3. Ивашкин Ю.А. Мультиагентное имитационное моделирование больших систем: учеб. пособие. М.: МГУПБ, 2008.
4. Ivashkin Y.A., Nazoikin E.A. Agent-Based Simulation Model of Educational Process in the Student Group // International Conference on Computational Intelligence, Modelling and Simulation. Brno, Czech Republic, 2009, pp. 132–137.
5. Шмидт Б. Искусство моделирования и имитации. Введение в универсальную имитационную систему Simplex3; [пер. с немец. под ред. Ю.А. Ивашкина и В.Л. Конюха]. Ghent, Belgium, 2003. 550 с.