УДК 37.02

Р. В. Майер

О ПРИМЕНЕНИИ МЕТОДОВ МАТЕМАТИЧЕСКОГО И ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИДАКТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Дидактические системы относятся к слабоструктурированным и плохоформализуемым объектам, функционирующим в условиях неопределенности и недостатка информации о состоянии ученика, используемой методике обучения и т. д. Рассмотрены особенности применения методов математического и компьютерного моделирования для исследования дидактических систем, различные подходы к построению математической и компьютерной модели ученика. Обсуждаются линейная и нелинейная модели обучения; многокомпонентная модель; модели усвоения и забывания логически связанной и несвязанной информации; модель, учитывающая зависимость степени понимания от быстроты поступления учебной информации. Проанализированы графики изменения количества знаний ученика с течением времени.

Didactic systems relate to poorly structured and poorly formalizable objects that function under conditions of uncertainty and lack of information about the state of the student, the teaching methods used, etc. The article considers the application of mathematical and computer modeling methods for the study of didactic systems and various approaches to the construction of mathematical and computer models of the student. The following models are discussed: linear and nonlinear learning models; multicomponent model; models of assimilation and forgetting logically related and unrelated information; models that take into account the dependence of the degree of understanding on the speed of receipt of educational information. The resulting graphs of changes in the amount of the student's knowledge over time are analyzed.

Ключевые слова: дидактика, забывание, знания, имитационная модель, обучение, усвоение, ученик, учитель.

Keywords: didactics, forgetting, knowledge, imitation model, teaching, learning, student, teacher.

Введение

Для всестороннего анализа учебного процесса необходимо разумное сочетание содержательно-гуманитарного подхода, состоящего в изучении дидактических систем (ДС) на качественном уровне, и формально-логического подхода, заключающегося в построении и развитии математической теории обучения (МТО). МТО возникла в середине XX в.; в ее основе лежит система аксиом, опирающихся на результаты психологических исследований. Ядро МТО включает в себя различные математические модели процесса обучения [4; 12], из которых вытекают

Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Сер.: Филология, педагогика, психология. 2019. № 2. С. 102 – 111.

следствия, проверяемые педагогической практикой. МТО использует метод математического моделирования, предполагающий аналитическое решение алгебраических и дифференциальных уравнений, применение теории вероятностей и теории автоматов.

Развитие информационных технологий привело к появлению метода имитационного моделирования (ИМ), который использовался в том числе и для исследования социальных и психических процессов [17]. В результате возникла новая область знаний, находящаяся на стыке дидактики, математики и информатики, позволяющая изучать различные математические модели дидактических систем (ДС) с помощью компьютера, исследовать их поведение при различных параметрах ученика и распределениях учебного материала с целью установления закономерностей функционирования и оценки эффективности различных стратегий управления обучением. Метод ИМ состоит в написании компьютерной программы, имитирующей поведение системы «учитель — ученик», и проведении с ней серии вычислительных экспериментов [15].

Комплексное использование МТО и метода ИМ позволяет: 1) математически описать учебный процесс, создать абстрактную модель ученика, учителя и ДС в целом; 2) создать компьютерную модель ученика или ДС; 3) для выбранной модели ученика, исходя из ее параметров и начального уровня знаний, определить состояние ученика во время обучения при различных условиях (распределении учебного материала, длительности и частоты занятий и т.д.); 4) решить оптимизационную задачу обучения, то есть найти наиболее эффективный путь развития ДС при заданных ее параметрах и наложенных ограничениях.

Цель работы состоит в: 1) анализе особенностей использования метода ИМ для исследования математических моделей ДС и развития МТО; 2) изучении различных подходов к построению математических и компьютерных моделей процесса обучения, позволяющих исследовать усвоение и забывание несвязанных или логически связанных элементов учебного материала (ЭУМ), учесть зависимость быстроты усвоения от скорости сообщения нового материала и т.д.

Материалы и методы исследования

Методологической основой исследования являются работы по теоретической педагогике и дидактике (Ю.К. Бабанский, В.П. Беспалько, Б.М. Величковский, В.И. Загвязинский [2; 3; 5; 8]), математической теории обучения (Р. Аткинсон, Г. Бауэр и Э. Кротерс, Р. Буш и Ф. Мостеллер [4], Л.П. Леонтьев и О.Г. Гохман [9], Ф.С. Робертс, В.В. Майер [11]), имитационному моделированию (Р. Шеннон [14]), методологии моделирования [6; 7] и нечеткой системологии гуманитарных областей [1; 13]. Решение поставленных задач осуществляется путем построения качественной, а затем и математической модели ДС, разработки алгоритма, написания компьютерной программы, проведения серии компьютерных имитаций и анализа результатов моделирования [10].

Результаты исследования и их обсуждение

ДС относятся к плохоформализуемым и слабоструктурированным системам; их изучение затруднено следующими особенностями: 1) отсутствие полной и точной информации о ДС; 2) субъективность оценок состояния ученика, сложности учебного материала и т. д., даваемых экспертами; 3) нечеткость и многокритериальность целей и задач ДС; 4) неопределенность множества характеристик ДС и информации о ее состоянии; 5) отсутствие формального описания закономерностей функционирования ДС; 6) низкая предсказуемость поведения ДС; 7) сложность формализации педагогического влияния учителя и других воздействий на ученика.

Комплексное исследование ДС предполагает построение качественной и количественной (математической) модели, в которой реальные учитель и ученик заменяются абстрактными объектами, функционирующими в соответствии с некоторой системой математических и логических высказываний [16]. При этом используется блочный принцип, или метод «черного ящика», когда ДС расчленяют на отдельные блоки (учитель, ученик), называемые черными ящиками (ЧЯ). Внутреннее строение, структура и «механизм функционирования» ЧЯ не обсуждаются; анализируются лишь реакции ЧЯ на внешние воздействия. Осуществляется формализация деятельности ученика, учебного материала, дидактического воздействия учителя и т. д. Метод имитационного моделирования заключается в исследовании поведения математической модели ДС с помощью компьютера при различных ее параметрах и условиях протекания учебного процесса. В некоторых случаях ученик заменяется вероятностным автоматом, у которого во время обучения изменяются вероятности переходов из одного состояния в другое; иногда обучение рассматривается как передача информации по каналу связи с помехами [10].

Применение метода компьютерных симуляций для изучения дидактических процессов имеет несомненные преимущества: 1) позволяет промоделировать сложную систему, описываемую несколькими уравнениями и логическими условиями; 2) обладает гибкостью, то есть с помощью компьютерной имитации можно быстро перерешать задачу с другими параметрами ученика, временем обучения и т. д.; 3) облегчает построение графиков и диаграмм, характеризующих состояние ДС. Поэтому сочетание методов математического и имитационного моделирования существенно облегчает изучение особенностей функционирования дидактических систем.

Кроме закономерностей восприятия, усвоения и забывания информации на результат обучения влияют: 1) параметры ученика: коэффициенты усвоения и забывания; 2) характеристики учебного материала: объем, сложность, важность отдельных вопросов или ЭУМ; 3) параметры учебного процесса: длительность занятий, скорость сообщения учебной информации и т. д. Перечисленные факторы могут варьироваться в широких пределах, но обычно выбирают разумные значения величин, характеризующих ДС (коэффициент усвоения ученика, длительность занятий, сложность материала и т. д.), соответствующие ситуациям, возникающим в педагогической практике. При этом ИМ дидактического процесса должна удовлетворять *принципу соответствия*: при заданном воздействии «учителя» на «ученика» уровень знаний $Z(t)$, предсказываемый моделью, должен соответствовать реальному количеству знаний $Z'(t)$ достаточно успешного ученика.

Рассмотрим изучение последовательности элементов учебного материала (ЭУМ). В рамках линейной модели при усвоении одного ЭУМ количество знаний Z растет от 0 до 1 с постоянной скоростью:

$$\frac{dZ}{dt} = \upsilon, \qquad Z(t) = Z_0 + \upsilon \cdot t, \qquad \upsilon = \begin{cases} \alpha / s, & \textit{если } Z < 1, \\ 0, & \textit{если } Z = 1, \end{cases} \qquad 0 \le Z \le 1,$$

где α — коэффициент усвоения, s — сложность ЭУМ, а время t измеряется в условных единицах (УЕВ).

Закончив изучение одного ЭУМ, ученик переходит к следующему. Если за время занятия T ученик усваивает N ЭУМ, то скорость усвоения равна $\upsilon = N/T$; с другой стороны: $\upsilon = \alpha/s$. Так как $N/T = \alpha/s$, то $\alpha T / N s = 1$. Увеличение коэффициента усвоения α эквивалентно увеличению T или уменьшению $N \cdot s$. При фиксированном T с ростом N увеличивается υ и уменьшается время изучения одного ЭУМ $t_1 = T/N$, что равносильно уменьшению коэффициента α. Все многообразие ситуаций, встречающихся на практике, можно охарактеризовать величиной $K = \alpha T / N$; время и количество знаний следует измерять в условных единицах.

Более реалистичной является нелинейная модель, в которой скорость увеличения знаний Z ученика пропорциональна их отставанию от требований учителя $L = 1$:

$$\frac{dZ}{dt} = \frac{\alpha}{s} Z^b (L - Z) - \gamma Z \quad \text{или} \quad \frac{dZ}{dt} = \frac{\alpha}{s}(L - Z) - \gamma Z \quad \text{при } b = 0,$$

где γ — коэффициент забывания.

Если изменить масштаб по времени и переменную t заменить на $t' = Ct$, то $dt' = Cdt$, и из последнего уравнения получим

$$dZ/dt' = C\alpha(L - Z)/s - C\gamma Z.$$

Таким образом, увеличение скорости течения времени в C раз равносильно увеличению коэффициентов усвоения и забывания (или уменьшению сложности s) в C раз. Чтобы учесть различие индивидуальных скоростей усвоения учеников, говорят о переменной скорости обучения, используют шкалу относительного времени и т. д.

Дидактический процесс является системой взаимосвязанных действий учителя и ученика. Из принципа многомодельности следует, что он может быть структурирован и промоделирован несколькими способами. Рассмотрим некоторые подходы к моделированию процесса обучения.

1. Многокомпонентная модель ДС. Разделим знания ученика в зависимости от прочности их усвоения на N категорий. Учтем, что во время учебной деятельности непрочные знания превращаются в более прочные, а во время забывания — наоборот. Математическая модель состоит из N дифференциальных уравнений:

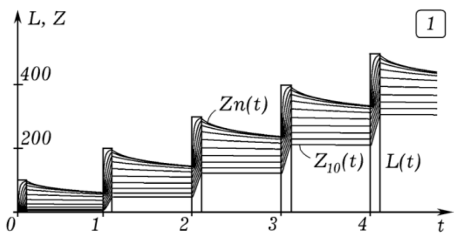
$$\frac{dZ_1}{dt} = k(\alpha(L - Zn) - \beta \cdot Z_1) - \gamma_1 Z_1 + \gamma_2 Z_2, \quad \frac{dZ_N}{dt} = k\beta \cdot Z_{N-1} - \gamma_N Z_N,$$

$$\frac{dZ_i}{dt} = k\beta(Z_{i-1} - Z_i) - \gamma_i Z_i + \gamma_{i+1} Z_{i+1}, \quad i = 2,\ 3,\ ...,\ (N-1),$$

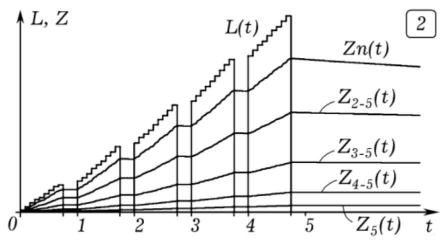
$$Zn = Z_1 + Z_2 + ... + Z_N, \quad \gamma_i = \gamma_{i-1} / 2{,}72; \quad i = 2,\ 3,\ ...,\ N.$$

Здесь L — уровень требований учителя, Z_1 — количество самых непрочных знаний ученика, которые забываются очень быстро; Z_N — количество самых прочных знаний, забывающихся очень медленно; $\beta \cdot Z_i$ — скорость превращения знаний *i*-й категории в знания $(i+1)$-й категории; γ_i — коэффициенты забывания ($\gamma_1 > \gamma_2 > ... > \gamma_N$).

На рисунке 1, *а* представлены результаты моделирования обучения в течение пяти занятий при $N = 10$. Видно, что во время обучения увеличивается количество знаний всех категорий (Z_1, Z_2, ..., Z_N) так, что Zn стремится к L. После окончания занятия непрочные знания (Z_1, Z_2, Z_3) быстро забываются, а прочные знания (Z_8, Z_9, Z_{10}) сохраняются. На рисунке 1, *б* приведены результаты моделирования обучения ученика в 1—5 классах. Учтено, что девять месяцев в году ученик учится, а три месяца отдыхает. Компьютерная модель состоит из программы и текстового файла, в котором указаны уровни требований L учителя и сложность учебного материала в разные месяцы обучения (во время каникул $L = 0$).



а



б

Рис. 1. Результаты использования многокомпонентной модели:
а — $N = 10$; *б* — $N = 5$

2. Модель усвоения и забывания логически связанной информации. Пусть ученик изучает N идей (информационных блоков), каждая из которых содержит M ЭУМ, связанных между собой логическими связями. Знание данного (*i*, *j*)-ЭУМ характеризуется вероятностью $p_{i,j}$ правильного ответа на соответствующий элементарный вопрос ($i = 1,\dots, N$, $j = 1,\dots, M$). Средний уровень знаний всех ЭУМ находится как среднее арифметическое всех $p_{i,j}$: $Z = p_{cp}$. По закону умножения вероятностей уровень знаний учеником *i*-й идеи равен произведению вероятностей $p_{i,j}$ воспроизведения всех ЭУМ, составляющих эту идею: $Zn_i = p_{i,1} \cdot p_{i,2} \cdot \dots p_{i,M}$. Количество знаний $Zn(t)$ учащегося равно сумме знаний отдельных идей: $Zn(t) = Zn_1 + Zn_2 + \dots + Zn_N$. При изучении логически связанного материала знание одного ЭУМ приводит к более легкому усвоению и / или припоминанию другого связанного с ним ЭУМ. При изучении *j*-го ЭУМ из *i*-й идеи в течение времени Δt вероятность правильного ответа ученика на соответствующий элементарный вопрос растет по закону:

$$p_{i,j}^{k+1} = p_{i,j}^{k} + a \cdot (1 - p_{i,j}^{k})\Delta t + c_{i,j}(p_{i-1,j}^{k} + p_{i+1,j}^{k} + p_{i,j-1}^{k} + p_{i,j+1}^{k})\Delta t,$$

где Δt — шаг по времени; $c_{i,j}$ — коэффициент связи, позволяющий учесть влияние других ЭУМ на усвоение (*i*, *j*)-го ЭУМ.

С ростом $p_{i,j}$ уменьшается время работы t_p ученика с (*i*, *j*)-м ЭУМ: $t_p = \Delta t \cdot (1 + 3\exp(-3 p_{i,j}))$. Если в данный момент ученик не оперирует с (*i*, *j*)-ЭУМ, то из-за забывания вероятность $p_{i,j}$ за время Δt снижается по экспоненциальному закону. Чем больше количество обращений $s_{i,j}$ ученика к (*i*, *j*)-ЭУМ, тем меньше коэффициент забывания $\gamma_{i,j} = 5 \cdot 10^{-5} + 0{,}005\exp(-s_{i,j} / 100))$, поэтому с ростом числа обращений данный ЭУМ запоминается прочнее.

На рисунке 2 представлены результаты моделирования изучения учащимся $N = 50$ информационных блоков длиной $M = 5$ ЭУМ в течение четырех актуализаций (обращений), начинающихся в моменты 0, t_1, t_2 и t_3.

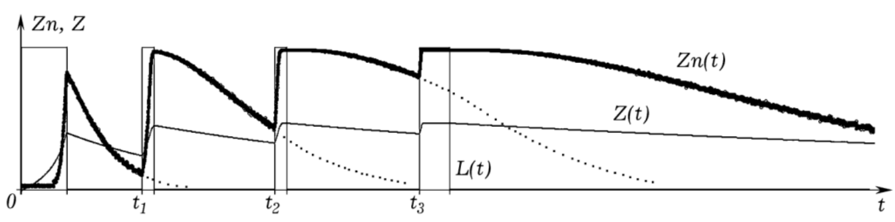


Рис. 2. Результаты моделирования изучения логически связанного материала

Видно, что во время первой актуализации ученик недостаточно повышает уровень знаний отдельных ЭУМ; знание идей (информационных блоков) $Zn(t)$ также не достигает максимального уровня. При этом во время обучения средний уровень знаний всех ЭУМ медленно возрастает, а знание информационных блоков повышается скачком: ученик как бы переходит в другое состояние и внезапно начинает хорошо понимать материал. Наличие связей между ЭУМ делает этот скачок понимания более резким. После первой актуализации уровень знаний информационных блоков $Zn(t)$ быстро убывает по экспоненте. Во время второй, третьей и четвертой актуализации учебного материала ученик полностью усваивает все ЭУМ и, используя их в своей деятельности, повышает прочность усвоенных знаний (при каждом обращении к ЭУМ соответствующий коэффициент забывания $\gamma_{i,j}$ снижается). В результате после четырех актуализаций знания забываются гораздо медленнее. Забывание логически связанного материала можно описать логистическим законом: $dZn/dt = -\gamma(100{,}5 - Zn)Zn$, $0 \le Zn \le 100$. Согласно нему сначала $Zn(t)$ остается постоянным, а затем начинает плавно снижаться. Чем дольше обучение, тем медленнее забываются усвоенные знания.

3. Модель обучения, учитывающая забывание логически связанной и несвязанной информации. Учебный материал состоит из отдельных фактов, законов, принципов и логических связей между ними. Некоторые дисциплины содержат большое количество фактического материала (история, литература) и имеют низкую связность, а другие имеют большое количество логических связей между отдельными понятиями и утверждениями (алгебра, геометрия). Для характеристики степени связности различных ЭУМ (например, параграфов или их частей) можно использовать коэффициент связности c, показывающий, какая часть изучаемого материала является логически связанной: $c = Z_{св}/Zn$, $c \in [0;1]$.

В основе модели лежат следующие предположения: 1) при каждом обращении к данному ЭУМ ученик понимает его полностью и какое-то время (хотя бы 1 мин) удерживает в памяти; 2) логически несвязанная информация забывается по экспоненциальному закону; 3) логически связанная информация забывается по логистическому закону; 4) с ростом числа s обращений ученика к данному ЭУМ происходит уменьшение времени работы t_p и скорости его забывания (или коэффициента забывания γ_s). Математическая модель выглядит так:

$$Z_{св}(0) = cZn(0), \quad B = Z_{св}(0)/100, \quad x(0) = 100, \quad dx/dt = -\gamma(100{,}5 - x)x,$$

$$Z_{св}(t) = B \cdot x(t), \; Z_н(0) = (1-c)Zn(0), \; dZ_н/dt = -\gamma Z_н, \; Zn(t) = Z_н + Z_{св},$$

$$t_p = 1{,}5\exp(-s/5), \quad \gamma_s = 0{,}002\exp(-s/1{,}5) + 10^{-5}.$$

Здесь $Z_н(0)$, $Z_{св}(0)$ — количество несвязанных и связанных знаний ученика в момент $t = 0$ сразу после окончания изучения ЭУМ.

На рисунке 3 представлены результаты моделирования ситуации, когда ученик в течение занятия несколько раз обращается к конкретному ЭУМ с коэффициентом связности 0,6. Видно, что после каждого нового обращения данный ЭУМ запоминается лучше, забывается медленнее; время работы с ЭУМ уменьшается, стремясь к некоторому пределу.

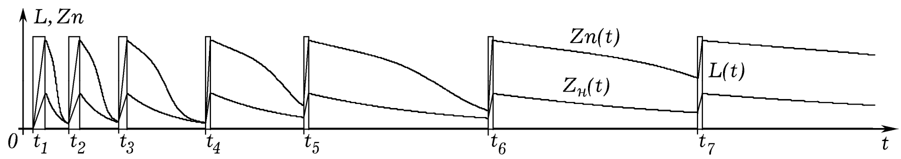


Рис. 3. Изменение знаний ученика
при многократных обращениях к конкретному ЭУМ

4. Модель, учитывающая зависимость степени понимания от быстроты поступления учебной информации. Учтем, что скорость увеличения знаний ученика пропорциональна его активности A (усилиям, затрачиваемым в единицу времени): $dZn/dt = \alpha \cdot K(\upsilon)A(D)$. Здесь $K(\upsilon) = 1/(1+\exp(0{,}25\upsilon - 3))$ — коэффициент передачи канала связи «учитель — ученик», который зависит от производительности источника (учителя) $\upsilon = dL/dt$, $D = L - Zn$ — разность между уровнем требований учителя и знаниями ученика. При небольших υ пропускная способность канала связи $K = 1$. Если υ велико, то K снижается до 0, то есть ученик не успевает понять и усвоить рассуждения учителя. Будем считать, что: 1) при небольших D активность ученика A возрастает от нуля до единицы; 2) при больших D ученик осознает, что не может усвоить требуемый материал, и его активность A уменьшается, стремясь к некоторому пределу $b = 0{,}1 - 0{,}3$. Из графика $A(D)$ (рис. 4, *а*) видно, что существует оптимальная разность $D = L - Zn$, при которой активность ученика A максимальна. Учтем, что при обучении непрочные знания переходят в прочные, которые забываются медленнее. Получаем трехкомпонентную модель:

$$dZ_1/dt = k\alpha \cdot K(\upsilon)A(D) - k\beta_1 Z_1 - \gamma_1 Z_1 + \gamma_2 Z_2,$$

$$dZ_2/dt = k\beta_1 Z_1 - k\beta_2 Z_2 - \gamma_2 Z_2 + \gamma_3 Z_3,$$

$$dZ_3/dt = k\beta_2 Z_2 - \gamma_3 Z_3, \; Zn = Z_1 + Z_2 + Z_3, \; D = L - Zn.$$

Здесь $\gamma_1 = 0{,}002$, $\gamma_2 = \gamma_1/2{,}72$, $\gamma_3 = \gamma_2/2{,}72$; во время обучения $k = 1$, иначе — $k = 0$.

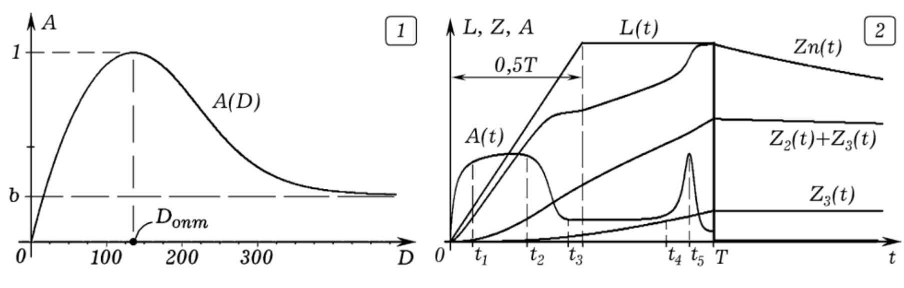


Рис. 4. Моделирование обучения:
а — зависимость $A(D)$; *б* — результаты моделирования дидактического процесса

Проанализируем типичные результаты моделирования. Пусть учитель половину длительности занятия T сообщает ученику информацию с некоторой постоянной скоростью (уровень требований $L(t)=\upsilon \cdot t$), а затем переходит к повторению ($L = const$) (рис. 4, *б*). Когда отставание D растет, ученик увеличивает свою активность A ($t \in [0;\ t_1]$), которая некоторое время остается высокой ($t \in [t_1;\ t_2]$), так как $D \approx D_{опт}$. В обсуждаемом случае скорость изложения материала высока, поэтому отставание ученика D возрастает настолько, что он «отрывается» от учителя ($t \in [t_2;\ t_3]$) и снижает свою активность A; Zn растет медленно ($t \in [t_3;\ t_4]$). Во время второй половины занятия ($t \in [T/2;\ T]$) организуется повторение ($L = const$, $\upsilon = 0$), ученик выполняет практические задания. В течение интервала $[t_4;\ t_5]$ отставание D снижается, ученик начинает прикладывать больше усилий, A растет. Очень быстро знания Zn увеличиваются и достигают уровня L. После окончания занятия ($t > T$) ученик прекращает обучение ($A = 0$) и начинает медленно забывать изученный материал.

Заключение

Основная сложность исследования учебного процесса состоит в том, что из-за наличия человека (ученика, учителя) ДС относится к плохоформализуемым системам, которые функционируют в условиях неопределенности и недостатка информации об их состоянии и закономерностях процессов усвоения и забывания. Поэтому для анализа ДС необходимо применять метод имитационного моделирования — сравнительно новый метод познания, возникший несколько десятилетий назад на стыке дидактики, математики и информатики. В статье рассмотрены особенности и сложности использования математических и компьютерных моделей для изучения дидактических систем, линейная и нелинейная модели ДС. Также проанализированы: 1) многокомпонентная модель усвоения логически несвязанной информации; 2) модель усвоения логически связанной информации; 3) модель усвоения и забывания частично связанного материала; 4) модель, учитывающая зависимость степени понимания от быстроты поступления учебной информации. Получены и проанализированы графики, характеризующие изменение количества знаний ученика во время обучения и забывания. Правильность предложенных моделей подтверждается тем, что они достаточно адекватно описывают исследуемую ДС, так как ее отклик на изменение параметров и входных величин соответствует характеру объективно существующих закономерностей учебного процесса.

Список литературы

1. *Ажмухамедов И. М., Проталинский О. М.* Методология моделирования плохоформализуемых слабо-структурированных социотехнических систем // Вестник АГТУ: Управление, вычислительная техника и информатика. 2013. №1. С. 144—154.

2. *Бабанский Ю.К.* Оптимизация процесса обучения (Общедидактический аспект). М., 1977.

3. *Беспалько В.П.* Образование и обучение с участием компьютеров (педагогика третьего тысячелетия). М., 2002.

4. *Буш Р., Мостеллер Ф.* Стохастические модели обучаемости. М., 1962.

5. *Величковский Б.М.* Когнитивная наука: Основы психологии познания : в 2 т. Т. 1. М., 2006.

6. *Горелова Г.В.* Когнитивный подход к имитационному моделированию сложных систем // Известия ЮФУ. Технические науки. 2013. №3. С. 239—250.

7. *Дахин А.Н.* Педагогическое моделирование: сущность, эффективность и… неопределенность // Стандарты и мониторинг. 2002. №4. С. 22—26.

8. *Загвязинский В.И.* Теория обучения: Современная интерпретация : учеб. пособие для студ. высш. пед. учеб. заведений. М., 2001.

9. *Леонтьев Л.П., Гохман О.Г.* Проблемы управления учебным процессом: математические модели. Рига, 1984.

10. *Майер Р.В.* Исследование математических моделей дидактических систем на компьютере. Глазов, 2018.

11. *Разумовский В.Г., Майер В.В.* Физика в школе: Научный метод познания и обучение. М., 2004.

12. *Свиридов А.П.* Статистическая теория обучения: монография. М., 2009.

13. *Флегонтов А.В., Дюк В.А., Фомина И.К.* Мягкие знания и нечеткая системология гуманитарных областей // Программные продукты и системы. 2008. №3. С. 97—102.

14. *Шеннон Р.* Имитационное моделирование систем: искусство и наука. М., 1978.

15. *Mayer R.V.* Computer-Assisted Simulation Methods of Learning Process // European Journal of Contemporary Education. 2015. Vol. 13, iss. 3. P. 198—212. doi: 10.13187/ejced.2015.13.198.

16. *Mayer R.V.* Imitating model of assimilation and forgetting of the logically connected information // International Journal of Advanced Studies. 2017. Vol. 7, №2. P. 64—73.

17. *The Oxford* Handbook of Computational and Mathematical Psychology / ed. by J.R. Busemeyer, Zh. Wang, J.T. Townsend, A. Eidels. Oxford, 2015.

Об авторе

Роберт Валерьевич Майер — д-р пед. наук, проф., Глазовский государственный педагогический институт им. В.Г. Короленко, Россия.

ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8166-9299

E-mail: robert_maier@mail.ru

The author

Dr Robert V. Mayer, Professor, Glazov Korolenko State Pedagogical Institute, Russia.

ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8166-9299

E-mail: robert_maier@mail.ru