

КОМПЬЮТЕРНАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ ДИДАКТИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ: ИНФОРМАЦИОННО-КИБЕРНЕТИЧЕСКИЙ ПОДХОД

Р.В. Майер

Предложена компьютерная модель кибернетической системы «учитель — ученик», позволяющая учитывать особенности процесса обучения. Модель основана на численном решении системы дифференциальных уравнений и учитывает влияние ученика на учителя, т. е. обратную связь. Проанализированы различные методы управления деятельностью ученика.

Ключевые слова: дидактика, дидактическая система, имитационное моделирование, кибернетика, теория обучения, управление, усвоение знаний, учебная деятельность.

ВВЕДЕНИЕ

С позиций кибернетической педагогики процессы обучения и воспитания могут быть сведены к управлению развитием различных качеств личности учащегося с помощью целенаправленных и согласованных воздействий со стороны учителя и родителей. Различным аспектам управления обучением и математическому моделированию дидактических систем посвящены многочисленные исследования [1—7]. Например, в книге [2] рассматривается ряд проблем оптимального управления учебным процессом в вузе: разработка оптимального учебного плана, измерение учебной информации, модель связи объема изложенного и усвоенного материала, квантование учебного материала, принцип обратной связи и др. В книге [6] проанализированы математические, кибернетические, теоретико-информационные модели итеративного научения.

Цель настоящей работы состоит в создании компьютерной модели кибернетической системы «учитель — ученик», учитывающей ее структуру, основные информационные потоки и цепи управления. Можно предположить, что подобная модель позволит более строго обосновать основные закономерности процесса обучения. Кроме того, она может быть положена в основу компьютерной обучающей системы или использована для определения индивидуальной траектории обучения ученика. Методологической основой исследования

служат идеи Н. Винера, К. Шеннона, Ф. Розенблатта, В.М. Глушкова, Д.А. Поспелова (кибернетика, теория информации), Р. Аткинсона, Г. Бауэра, О.Г. Гохмана, Л.Б. Ительсона, Л.П. Леонтьева, Д.А. Новикова, Ф.С. Робертса (математическое моделирование обучения), Б. Скиннера, Н. Краудера, Л.Б. Ительсона, С.И. Архангельского, В.П. Беспалько, Е.И. Машбица, В.Е. Фирстова, В.С. Аванесова, И.В. Роберт (кибернетический подход в педагогике, программированное обучение и автоматизированные обучающие системы). Некоторые из них нашли отражение в работах по психологии и дидактике [8, 9], кибернетике [10—12], математической теории обучения [1, 6, 7] кибернетической педагогике [2—4, 8], математическому моделированию поведения человека и общества [10, 13, 14].

1. КИБЕРНЕТИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ДИДАКТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Цель обучения состоит в передаче учащимся совокупности знаний, в формировании умений и навыков, развитии у них способностей наблюдать, размышлять и эффективно взаимодействовать с окружающим миром. Обычно дидактическая система состоит из ученика и учителя; роль учителя выполняет компьютерная обучающая система или человек, который сообщает полезную информацию, находит и исправляет ошибки, стимулирует работу ученика, управляя его деятельностью.



К дидактическим системам применимы основные принципы кибернетики [6, 11, 12].

Принцип разнообразия: управляющая система (учитель), должна иметь большее разнообразие (сложность), чем разнообразие управляемой системы (ученик). Увеличение сложности или разнообразия знаний учащегося требует повышения сложности знаний учителя и методов обучения. Если разнообразие методов учителя меньше некоторого минимума, то он не сможет эффективно управлять деятельностью ученика.

Принцип целостности (или эмерджентности): свойства дидактической системы не сводятся к сумме свойств ее отдельных элементов, а зависят от ее структуры, поэтому при ее изучении следует учитывать взаимосвязи между элементами.

Принцип внешнего дополнения: управление процессом обучения требует корректировки управляющих сигналов, которые следуют из теоретической модели.

Принцип обратной связи: в процессе обучения обратная связь реализуется при общении учителя с учащимися, наблюдении за их деятельностью на уроке, анализе результатов устного или письменного опроса, тестирования, самостоятельных, контрольных работ и др.; все это позволяет учителю адаптироваться к изменениям состояния ученика.

Принцип декомпозиции и иерархии управления: система образования состоит из относительно независимых друг от друга подсистем, между которыми существует определенная субординация; ученик выполняет указания учителя, который подчиняется завучу, тот подчиняется директору и т. д.

Принцип активного самодвижения: при обучении уменьшается неопределенность знаний учащихся, т. е. система в целом переходит в более упорядоченное состояние с меньшей энтропией за счет энергии внешней среды.

Принцип целеполагания и целеосуществления: в процессе обучения учитель стремится увеличить количество знаний учащихся при фиксированной продолжительности занятий так, чтобы оно соответствовало предъявляемым требованиям.

2. КИБЕРНЕТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА

Как отмечал У.Р. Эшби, кибернетика — «наука о том, как надо управлять очень сложной системой, чтобы в итоге она вела себя желательным для нас образом». Основная задача кибернетической педагогики состоит в выявлении принципов и способов эффективного управления учебным про-

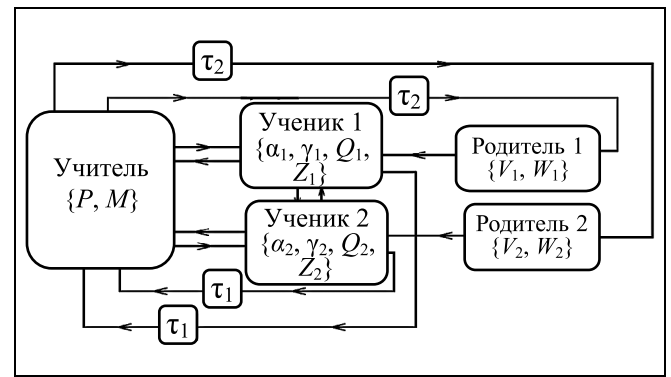


Рис. 1. Учебный процесс как кибернетическая система

цессом, при котором минимальные затраты времени (усилий, денег) позволяют достичь требуемого уровня знаний учащихся. Решение этой проблемы требует построения абстрактной кибернетической системы учебного процесса, выявления информационных потоков, связей и цепей управления. Создание такой качественной модели позволяет осуществить математическое моделирование, а затем перейти к имитации на ЭВМ.

Построим кибернетическую систему учебного процесса (рис. 1). Эта самоадаптирующаяся система включает в себя абстрактные модели учителя, учеников и их родителей, способных воспринимать, запоминать, перерабатывать и обмениваться информацией. Абстрагируемся от стохастического характера поведения перечисленных объектов и будем считать их детерминированными автоматами с большим числом внутренних состояний. В простейшем случае учитель моделируется автоматом, задаваемым двойкой $\langle P, M \rangle$, где P — программа курса, M — совокупность методов обучения. Модель ученика задается четверкой $\langle \alpha, \gamma, Q, Z \rangle$, где α — коэффициент научения, γ — коэффициент забывания ученика, Q — уровень его притязаний из интервала $[0; 1]$, пропорциональный оценке, на которую учащийся претендует, Z — знания ученика.

В процессе обучения учитель воздействует на учеников, передавая им учебную информацию и осуществляя текущий контроль (вопросы, тестирование). Учащиеся также воздействуют на учителя, сообщая, что им понятно или непонятно, задавая вопросы и выполняя задания текущего теста. Так возникает *первый замкнутый контур управления*. Учитель, видя реакцию учеников, может очень быстро (в течение 2—5 мин) на нее реагировать: отвечать на вопросы, обращать внимание учащихся на их ошибки, помогать им их исправлять.

В конце изучения темы учитель проводит контрольную работу, результаты которой также позволяют оценить уровень знаний учащихся и выбрать дальнейшую стратегию обучения: либо приступить к изучению новой темы, либо повторить изучение тех вопросов, которые были усвоены недостаточно хорошо. Это *второй замкнутый контур управления*. Он содержит элемент задержки, поэтому сигнал от учащегося приходит с запаздыванием на время τ_1 (несколько дней).

Если учитель видит, что учащийся плохо работает, он сообщает об этом родителю, который характеризуется уровнем притязаний W и возможностями V . Если успехи ученика ниже W , и родитель имеет возможность V воздействовать на ребенка, то родитель повышает мотивацию ученика, увеличивая параметр Q . Это *третий замкнутый контур управления*. Он также содержит элемент задержки на время τ_2 (1–2 недели). Можно усложнить систему, введя в нее новые элементы, например, директора школы, который контролирует работу учителя и результаты обучения, сопоставляя их с требуемым уровнем. Понятно, что в роли учителя может выступать компьютер, подключенный через Интернет к тому или иному образовательному ресурсу. Роль родителей, повышающих мотивацию учащегося, может играть учитель, который проводит с ними воспитательную беседу, убеждает в необходимости ответственного отношения к учебе и т. п. Существует и *внутренний контур управления*, благодаря которому ученик самостоятельно анализирует и корректирует свои действия.

3. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОБУЧЕНИЯ

Упрощенная информационно-кибернетическая модель дидактической системы (рис. 2), состоит из источника информации (учителя), прием-

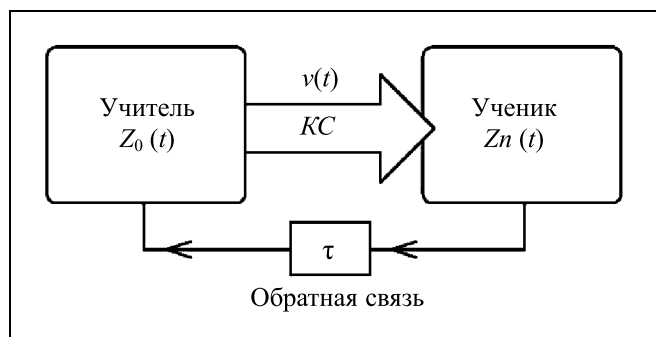
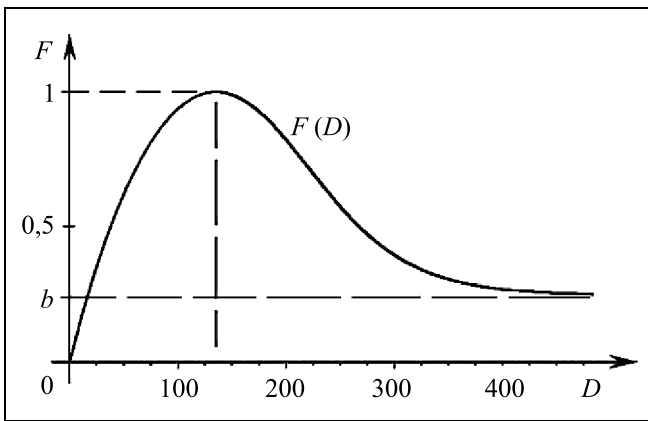


Рис. 2. Модель дидактической системы

ника информации (ученика), которые соединены прямым каналом связи KC (от учителя к ученику) и обратным каналом связи (от ученика к учителю) [4]. Пусть изучаемая тема состоит из N логически связанных между собой элементов учебного материала (ЭУМ), которые следуют друг за другом. Если учитель требует запоминания всего материала, то уровень требований Tr равен количеству сообщенных им знаний Z_0 . Сложность S ЭУМ пропорциональна затратам времени и усилий, требующихся для усвоения данного ЭУМ. У самого простого ЭУМ $S = 1$, у более сложных $S > 1$. Уровень требований, предъявляемых учителем, будем рассчитывать по формуле $Tr = S_1 + S_2 + \dots + S_N$. Если все N ЭУМ имеют сложность 1, то $Tr = N$. Скорость передачи информации равна количеству знаний, сообщаемых учителем в единицу времени ($v = dZ_0/dt = dTr/dt$), и зависит от уровня требований Tr , т. е. от числа N ЭУМ и их сложности S_i , $i = 1, 2, \dots, N$.

Результат обучения зависит от степени понимания изучаемого материала. Человек понимает сообщаемую ему информацию, если он в состоянии соотнести ее с собственной категориальной системой понятий [9, с. 97–100]. В его сознании происходит перекодирование поступающей речевой или текстовой информации, ее «укладывание» в собственную понятийную систему с последующим запоминанием. Чем сложнее утверждение учителя или записанная им формула (т. е. скорость v), тем больше мыслительных действий должен совершить ученик, чтобы ее понять. Если учитель излагает сложный материал, перескакивая через элементарные рассуждения, представляющие трудность для ученика, то ученик не сможет или не успеет связать сообщаемую ему новую информацию с собственной системой понятий, не поймет до конца всех проводимых рассуждений.

Построим компьютерную модель обучения [4, 5]. Принято считать, что скорость увеличения знаний ученика пропорциональна усилиям F , затрачиваемым в единицу времени: $dZ_n/dt = \alpha K(v)F(D)$, где K — коэффициент передачи прямого канала связи, который зависит от производительности источника $v = dTr/dt$, $D = Tr - Z_n$ — разность между уровнем требований учителя и знаниями ученика. При небольших v пропускная способность канала связи равна 1. При больших v ученик не успевает воспринять, понять и усвоить рассуждения учителя, поэтому K уменьшается до 0. Можно предположить, что $K(v) = 1/(1 + \exp((v - 12)/4))$. При $v = 12$ УЕВ⁻¹, где УЕВ — условная единица измерения времени,

Рис. 3. Зависимость $F = F(D)$

коэффициент $K = 0,5$. Мотивация к обучению и затрачиваемые учеником усилия F :

— при небольших $D = Tr - Zn$ (Tr незначительно превышает Zn) возрастает пропорционально величине D , стремясь к единице;

— при больших D ученик осознает, что не может усвоить требуемый материал и F уменьшается, стремясь к некоторому пределу $b = 0,1 - 0,3$; эту зависимость можно аппроксимировать функцией:

$$F(D) = 1,65(1 - \exp(-D/100)) \times \left(0,15 + \frac{0,85}{1 + \exp((D-200)/50)} \right).$$

При $D \rightarrow \infty$ усилия F стремятся к 0,25. Из графика зависимости $F(D)$ (рис. 3) видно, что существует оптимальная разность $D = Tr - Zn$, при которой усилия ученика F максимальны.

Учтем, что при обучении непрочные знания переходят в прочные (формируются интеллектуальные умения и навыки), которые забываются медленнее [4, 5]. Получаем трехкомпонентную модель:

$$dZ/dt = k\alpha_Z K(v)F(D) - k\alpha_U Z - \gamma_Z Z,$$

$$dU/dt = k\alpha_U Z - k\alpha_N U - \gamma_U U,$$

$$dN/dt = k\alpha_N U - \gamma_N N, \quad Zn = Z + U + N.$$

Здесь Z , U и N — количества непрочных знаний, знаний средней прочности и прочных знаний ученика соответственно, коэффициенты забывания которых $\gamma_Z = 2 \cdot 10^{-3}$ УЕВ $^{-1}$, $\gamma_U = 2 \cdot 10^{-4}$ УЕВ $^{-1}$, $\gamma_N = 2 \cdot 10^{-5}$ УЕВ $^{-1}$. Коэффициенты усвоения $\alpha_Z = 0,17$ УЕВ $^{-1}$, $\alpha_U = 5 \cdot 10^{-3}$ УЕВ $^{-1}$, $\alpha_N = 1,7 \times 10^{-3}$ УЕВ $^{-1}$ характеризуют быстроту усвоения

знаний учеником и перехода непрочных знаний в прочные. Пока происходит обучение, $k = 1$, а когда оно прекращается, $k = 0$. Результат обучения определяется суммарным уровнем приобретенных знаний $Zn = Z + U + N$.

В настоящей статье не рассматривается изучение конкретной учебной дисциплины определенной группой учеников, а анализируется ситуация в самом общем виде. Понятно, что у разных учеников коэффициенты усвоения и забывания сильно отличаются. В предлагаемой модели они подобраны так, чтобы результаты имитационного моделирования соответствовали педагогической практике и здравому смыслу.

Представленные выше рассуждения определяют модель ученика. Анализируемая система управления также включает в себя учителя, который может:

— излагать учебный материал с заданной скоростью, не обращая внимания на ученика (если обратная связь отсутствует);

— отслеживать состояние ученика, и когда его отставание D превысит критическое значение, изменить методику обучения: организовать повторение, понизить уровень требований, уменьшить скорость изложения материала и т. п. (если имеется обратная связь).

Компьютерная программа, имитирующая дидактическую систему, должна содержать модель учителя, которая в данном случае сводится к нескольким операторам.

4. КОМПЬЮТЕРНАЯ МОДЕЛЬ ОБУЧЕНИЯ

На основе рассмотренной математической модели разработана компьютерная программа в среде Free Pascal, моделирующая поведение дидактической системы при различных режимах управления (см. Приложение). Она содержит цикл по времени, в котором задается уровень требований учителя и определяется количество знаний Z , U и N ученика на следующем временном шаге. Модель позволяет проанализировать поведение системы «учитель — ученик» в течение 400 УЕВ, изменяя ее параметры и закон регулирования. Если считать, что 1 УЕВ составляет полминуты, то продолжительность обучения около 3,5 ч. Предполагается, что учитель может:

— сообщать новую информацию со скоростью $v \neq 0$, при этом $Tr = Tr_0 + vt$;

— организовывать повторение изученного материала, при этом $Tr = \text{const}$, $v = 0$.

Рассмотрим несколько ситуаций.

Ситуация 1. Учитель излагает материал с некоторой постоянной скоростью $v = dZ_0/dt$, совершенно не учитывая состояние ученика. Обратная связь отсутствует, реализуется разомкнутая схема управления. При небольшой скорости v ученик усваивает всю сообщенную ему информацию. Если скорость передачи новых знаний велика, то ученик не успевает за учителем, его отставание увеличивается, и в какой-то момент он «отрывается» от учителя (рис. 4, а, $v = 9 \text{ УЕВ}^{-1}$), понимая лишь часть изучаемого материала. При еще большей

скорости v ученик «отрывается» от учителя еще раньше, усваивая еще меньше.

Ситуация 2. Учитель непрерывно отслеживает состояние ученика, и когда его отставание D превышает 150 ЭУМ, учитель мгновенно реагирует, переставая сообщать новую информацию и организуя повторение изученного материала в течение 20 УЕВ. Во время повторения уровень требований учителя остается постоянным, ученик выполняет практические задания, стараясь запомнить изученное ранее. После этого учитель снова приступает к изложению нового материала. Результаты моделирования представлены на рис. 4, б ($v = 12 \text{ УЕВ}^{-1}$),

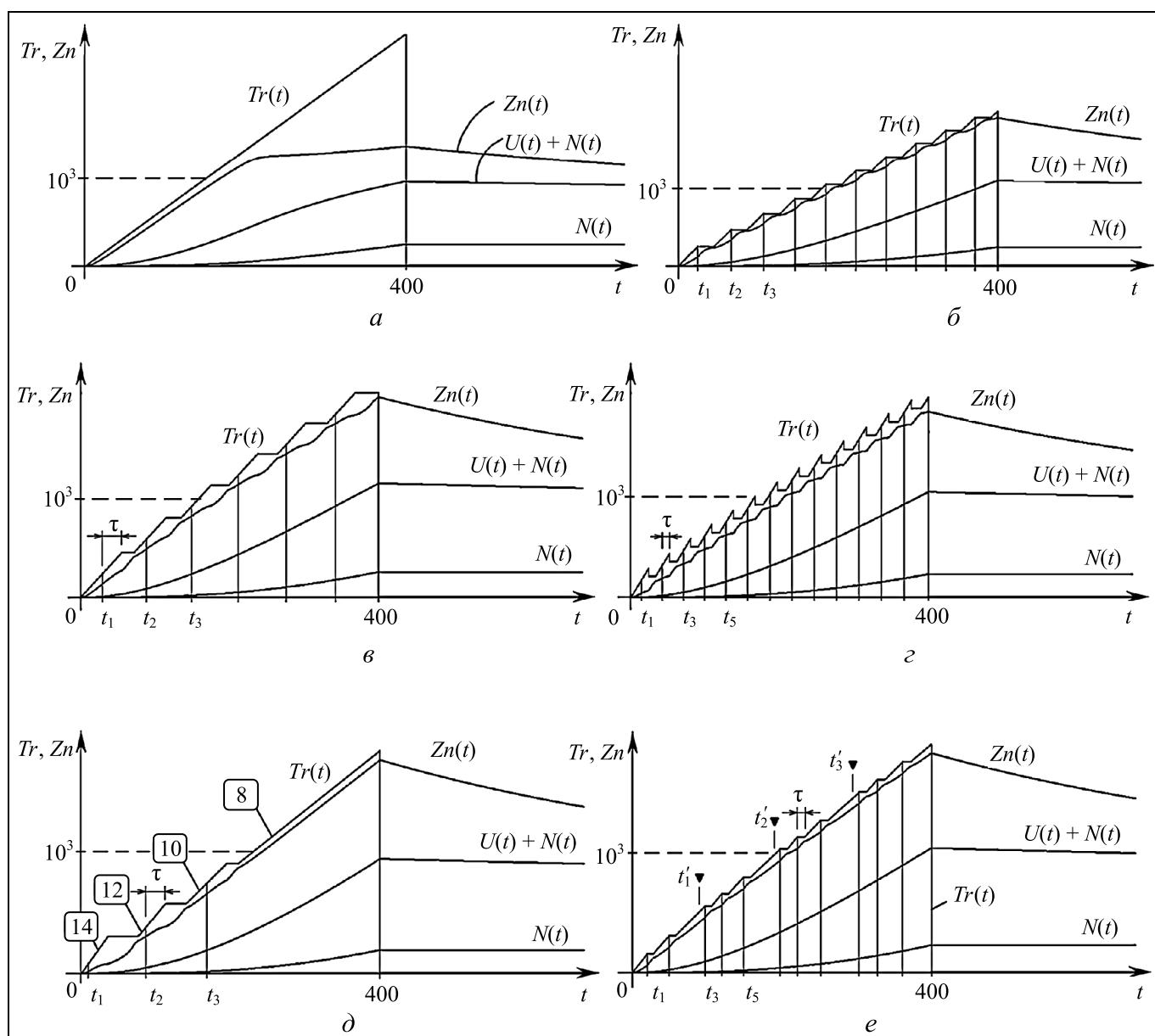


Рис. 4. Результаты моделирования: а – ситуация 1; б – ситуация 2; в – ситуация 3; г – ситуация 4; д – ситуация 5; е – ситуация 6



вертикальные линии соответствуют моментам t_1, t_2, t_3, \dots , когда $D = 150$ ЭУМ. При увеличении скорости изложения v система адаптируется, ученик чаще задает вопросы, демонстрируя свое непонимание, учитель вынужден чаще останавливать изложение нового материала и заниматься повторением. Средняя скорость передачи знаний не превышает некоторого предельного значения, зависящего от характеристик ученика. При малых v (меньше 8 УЕВ^{-1}) ученик успевает усвоить материал, и учитель не прерывается на повторение.

Ситуация 3. Учитель непрерывно отслеживает состояние ученика и когда ученик начинает отставать на 150 ЭУМ, учитель реагирует с задержкой $\tau = 10\text{--}20$ УЕВ, переставая сообщать новую информацию и организуя повторение изученного материала до тех пор, пока D не окажется меньше 50 . Как только ученик сократит отставание до 50 ЭУМ, учитель начинает снова излагать новый материал (рис. 4, в; $v = 11 \text{ УЕВ}^{-1}$). Вертикальные линии показывают моменты, когда D начинает превышать порог 150 ЭУМ. Горизонтальные участки графика $Tr(t)$ соответствуют повторениям изученного материала.

Ситуация 4. Учитель непрерывно отслеживает состояние ученика, и когда отставание D становится больше 150 ЭУМ (моменты t_1, t_2, t_3, \dots), реагирует с задержкой $\tau = 10\text{--}20$ УЕВ. Он снижает уровень требований на 100 ЭУМ и организует повторение изученного материала до тех пор, пока D не уменьшится до 50 (рис. 4, г; $v = 15 \text{ УЕВ}^{-1}$). После повторения учитель опять начинает излагать новый материал с той же скоростью v .

Ситуация 5. Учитель непрерывно отслеживает состояние ученика и когда тот начинает отставать на 150 ЭУМ, учитель реагирует с задержкой $\tau = 20$ УЕВ. Он перестает сообщать новую информацию и организует повторение изученного материала (горизонтальные участки на графике $Tr(t)$) до тех пор, пока D не окажется меньше 50 . Как только ученик сократит отставание D до 50 ЭУМ, учитель начинает снова излагать материал, но уже с меньшей скоростью (рис. 4, д). Каждый раз скорость изложения уменьшается на 2 УЕВ^{-1} , принимая значения $14, 12, 10, 8 \text{ УЕВ}^{-1}$. Данный способ управления позволяет учителю найти оптимальную скорость изложения v и адаптироваться к слабому ученику.

Ситуация 6. Учитель непрерывно отслеживает состояние ученика. Когда ученик начинает отставать на 150 ЭУМ (моменты времени t_1, t_2, t_3, \dots), учитель сразу организует повторение изученного

материала до тех пор, пока D не окажется меньше 50 . После этого учитель уменьшает скорость изложения на $1,5 \text{ УЕВ}^{-1}$. Если ученик все хорошо усваивает, и в течение 40 УЕВ отставание D не превышает 150 , то учитель увеличивает скорость изложения на 4 УЕВ^{-1} (рис. 4, е). Моменты времени t'_1, t'_2, t'_3 , соответствующие увеличению скорости v , отмечены треугольными метками. Видно, что после одного увеличения следуют 3 повторения, сопровождающиеся уменьшением скорости изложения. Подобный метод управления позволяет учителю адаптироваться как к слабому, так и к сильному ученику.

Во всех проанализированных ситуациях, за исключением первой, реализуется замкнутая система управления, учитель адаптируется к уровню знаний ученика и максимальной скорости восприятия новой информации. При этом независимо от скорости v передачи информации учителем скорость обучения ученика dZn/dt не превышает некоторого предельного значения, определяемого пропускной способностью прямого канала связи $КС$ (см. рис. 2). Это хорошо согласуется со второй теоремой Шеннона: если скорость передачи не превышает пропускной способности канала связи с шумом, то всегда найдется способ кодирования, при котором сообщение будет передаваться с требуемой достоверностью (т. е. ученик усвоит сообщаемую информацию). Можно сформулировать и обратное утверждение: если производительность источника превышает пропускную способность канала связи с шумом, то не существует никакого метода кодирования, позволяющего безошибочно передать сообщение. Под кодированием в данном случае следует понимать «укладывание» учеником сообщенной информации в собственную понятийную систему с последующим запоминанием. Роль шума играют случайные процессы, препятствующие пониманию.

Полученные графики и выводы следует рассматривать как результат исследования предложенной математической модели некоторой абстрактной дидактической системы, состоящей из учителя и одного или несколько учеников. Представленную компьютерную модель замкнутой дидактической системы не следует абсолютизировать: она справедлива в той степени, в какой результаты моделирования соответствуют педагогической практике. Использование условных единиц для измерения времени и количества знаний делает модель универсальной, повышает общность выводов. Результаты моделирования не позволяют выработать конкретные рекомендации повышения эффективности

ности учебного процесса, но они дополняют качественные рассуждения, делают их более объективными и обоснованными. Это особенно полезно тогда, когда проведение педагогического эксперимента неправомерно или приводит к отрицательным последствиям. Логичность и формализованность, воспроизводимость и конкретность получаемых выводов выгодно отличает метод имитационного моделирования от «метода качественных рассуждений».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Несмотря на то, что имитационные модели, как правило, не имеют строгого обоснования, метод имитационного моделирования широко применяется для изучения социальных процессов [1, 2, 10, 13]. Рассмотренные математическая и компьютерная модели процесса обучения, полученные на основе информационно-кибернетического подхода к анализу дидактических систем, позволяют учитывать, что:

— при обучении увеличивается количество непрочных знаний ученика, причем часть непрочных знаний переходят в прочные;

— непрочные знания забываются быстрее прочных;

— при увеличении отставания ученика от требований учителя усилия, прилагаемые учеником, сначала увеличиваются, достигают максимума, а затем уменьшаются;

— при увеличении сложности материала или скорости передачи информации коэффициент передачи канала связи сначала постоянен и равен 1, а затем уменьшается до 0;

— информация о состоянии ученика поступает к учителю с некоторой задержкой по обратному каналу связи;

— учитель может управлять процессом обучения, изменяя скорость сообщения новой информации или организуя повторение изученного материала.

Проанализированы различные ситуации, в которых учитель управляет учебным процессом, адаптируясь к ученику тем или иным способом. Показано, что результаты функционирования кибернетической системы «учитель — ученик» высоки, когда учитель адаптируется к возможностям ученика так, чтобы тот прикладывал наибольшие усилия. Однако существует максимальная скорость, с которой ученик может усваивать новую информацию, она определяется его параметрами и не зависит от скорости изложения нового материала.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Текст программы, моделирующей поведение системы «учитель — ученик»

```
{N+}Uses crt, graph; Const dt=0.005; Mt=1.5; Mz=0.12; B=0.15; gZ=0.002;
gU=0.0002; gN=2E-5; aZ=15; aU=0.005; aN=0.0017; Var DV,MV,ff,fi,f2,p;
integer: F,D,Z,U,N,v,vv,k,Tr,Tr1,Zn,t,tt,KK: single;
BEGIN DV:=Detect; InitGraph(DV,MV,'); v:=14;
Repeat t:=t+dt; k:=1; If (ff=0) then Tr:=Tr+v*dt;
If (D>150)and(ff=0) then begin ff:=1; tt:=10;inc(p); end; tt:=tt-dt;
If (tt<0)and(ff=1) then ff:=1; If (ff=1)and(f2=0) then begin Tr:=Tr-100;
f2:=1; end; If (ff=1)and(D<50) then begin ff:=0; f1:=0; f2:=0; end;
If t>400 then begin k:=0; Tr:=0; end; D:=(Tr-Zn); F:=0; If Tr>Zn then
F:=1.65*(1-exp(-D/100))*(B+(1-B)/(1+exp((D-200)/50))) else F:=0;
Zn:=Z+N+U; Z:=Z+k*(aZ*F/(1+exp((v-12)/4))-aU*Z)*dt-gZ*Z*dt; U:=U+
k*aU*Z*dt-k*aN*U*dt-gU*U*dt; N:=N+k*aN*U*dt-gN*N*dt; KK:=(Z+U+N)/(v*400);
vv:=(Tr-Tr1)/dt; Tr1:=Tr; circle(10+round(Mt*t),700,1); circle(10+round
(Mt*t),700-round(Mz*Tr),1); circle(10+round(Mt*t),700-round(Mz*(Z+U+N)),
1);circle(10+round(Mt*t),700-round(Mz*(N+U)),1); circle(10+round(Mt*t),
700-round(Mz*(N)),1); {If abs(t-400)<0.01 then writeln(t,' ',v*400,' ',
Z+U+N,' ',KK,' ',p);} until Keypressed; CloseGraph; END.
```

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ительсон Л.Б.* Математические и кибернетические методы в педагогике. — М.: Просвещение, 1964. — 248 с.
2. *Леонтьев Л.П., Гохман О.Г.* Проблемы управления учебным процессом: математические модели. — Рига, 1984. — 239 с.
3. *Магазинников Л.И.* Компьютерное управление обучением: пределы возможности. — URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=12831123> (дата обращения 22.03.2016).
4. *Майер Р.В.* Кибернетическая педагогика: Имитационное моделирование процесса обучения: монография. — Глазов: Глазовский гос. пед. ин-т, 2014. — 141 с. — URL: <http://maier-rv.glazov.net>. (дата обращения 22.03.2016).
5. *Майер Р.В.* Многокомпонентная модель обучения и ее использование для исследования дидактических систем // *Фундаментальные исследования: Педагогические науки.* — 2013. — № 10. — С. 2524—2528.
6. *Новиков Д.А.* Закономерности итеративного научения. — М.: Институт проблем управления РАН, 1998. — 77 с.
7. *Фирстов В.Е.* Математические модели управления дидактическими процессами при обучении математике в средней школе на основе кибернетического подхода: дисс. ... д-ра пед. наук. — СПб., 2011. — 460 с.
8. *Атанов Г.А., Пустынникова И.Н.* Обучение и искусственный интеллект, или Основы современной дидактики высшей школы. — Донецк: Изд-во ДОУ, 2002. — 504 с.
9. *Фридман Л.М., Кулагина И.Ю.* Психологический справочник учителя. — М.: Просвещение. — 1991. — 288 с.
10. *Гуц А.К.* Кибернетика: учебное пособие. — Омск: Изд-во Омского гос. ун-та, 2014. — 188 с.
11. *Розанова Л.В.* Основы кибернетики: конспект лекций. — Омск: Изд-во ОмГТУ, 2009. — 60 с.
12. *Украинцев Б.С.* Кибернетика и система новых научных принципов // *Кибернетика и современное научное познание.* — М.: Наука, 1976. — С. 7—20.
13. *Социальные системы.* Формализация и компьютерное моделирование: Учеб. пособие / А.К. Гуц и др. — Омск: Омск. гос. ун-т, 2000. — 160 с.
14. *Hunt E.* *The Mathematics of Behavior.* — Cambridge: Cambridge University Press, 2007. — 346 p.

Статья представлена к публикации членом редколлегии В.Н. Бурковым.

Майер Роберт Валерьевич — д-р пед. наук, профессор, Глазовский государственный педагогический институт им. В.Г. Короленко, г. Глазов, [✉ robert_maier@mail.ru](mailto:robert_maier@mail.ru).