

ИНФОРМАЦИОННО-КИБЕРНЕТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ИССЛЕДОВАНИЮ ДИДАКТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Р.В. Майер

Обсуждены системный, синергетический и информационно-кибернетический подходы к анализу процесса обучения. Рассмотрено функционирование дидактической системы с позиций теории управления, проанализировано влияние прямых и обратных связей на различных этапах ее функционирования. На основе учета закономерностей обучения и забывания предложена компьютерная модель системы «учитель — ученик», показано, что она самонастраивающаяся и способна успешно функционировать при различных параметрах ученика и учебного процесса.

Ключевые слова: дидактика, кибернетический подход, компьютерное моделирование, обучение, теория управления, ученик, учитель.

ВВЕДЕНИЕ

Педагогическая кибернетика изучает структурно-функциональную организацию учебного процесса, особенности управления дидактическими системами (ДС), взаимодействие учителя, ученика и технических средств обучения, включая компьютер и Интернет [1, 2]. Ее цель состоит в анализе функционирования ДС с учетом взаимодействия учителя, ученика и обучающей системы, а также создании конкретных методик управления учебной деятельностью ученика. Актуальность *информационно-кибернетического подхода* обусловлена необходимостью эффективного управления учебным процессом [3, 4]. Он основан на применении принципов теории управления и предполагает выявление информационных потоков, прямых и обратных связей, анализ способов управления, представление различных компонентов системы в виде серых и черных ящиков [5]. Практическая задача педагогической кибернетики заключается в оптимизации учебного процесса, поиске такой технологии обучения, при которой результаты функционирования ДС были бы наилучшими при наименьших (или заданных) затратах времени и усилий учителя и ученика.

Цель настоящего исследования состоит в развитии методологии моделирования процесса обучения, увеличении разнообразия применяемых подходов, создании более совершенных имитационных моделей ДС. Его актуальность обусловлена необходимостью изучения закономерностей орга-

низации и функционирования дидактических систем, поиска оптимального пути управления учебным процессом.

Развитием кибернетической педагогики, математической теории обучения и другими аспектами изучения ДС занимались такие известные ученые, как Р. Аткинсон, Г. Бауэр, Р. Буш [6], В.Ф. Венда [7], О.Г. Гохман [8], Л.Б. Ительсон, А.Н. Колмогоров, З. Кротерс, Л.П. Леонтьев [8], Ф. Мостеллер [6], Д.А. Новиков [9, 10], Ф.С. Робертс, О.П. Свиридов [11], А.В. Соловов [12], В.Е. Фирстов [13] и др. Их идеи служат методологической основой настоящей работы. Автор применял элементы системного анализа [14], синергетический подход (И. Пригожин, С.П. Капица [15], Г. Хакен [16]), методы качественного, математического и компьютерного моделирования сложных систем [17], информационно-кибернетический подход [18], а также учитывал методологию мягких систем.

1. РАЗЛИЧНЫЕ ПОДХОДЫ К АНАЛИЗУ ДИДАКТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

К основным методам изучения ДС относятся методы качественного, математического и компьютерного (или имитационного) моделирования в рамках системного, синергетического и кибернетического подходов (рис. 1). С позиций *системного подхода* ДС обладают следующими основными свойствами систем [14]: целостностью, наличием системообразующих и системо сохраняющих факторов; неаддитивностью свойств; структурнос-

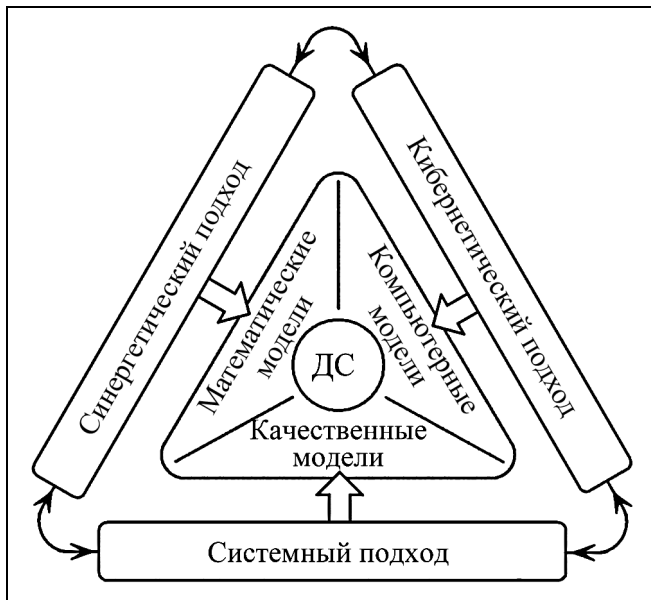


Рис. 1. Подходы и методы анализа дидактических систем

тью; иерархичностью; эмерджентностью; мульти-модельностью. Применение *синергетического подхода* позволяет утверждать, что ДС является самоорганизующейся и саморазвивающейся [15, 16]. Она эволюционирует в соответствии с принципами дополнительности моделей и методов описания; соответствия языка описания системы характеру имеющейся информации; спонтанного возникновения новых структур; управления неопределенностями; разнообразия путей развития; единства и взаимопереходов порядка и хаоса; несовместимости сложности системы и ее точного описания; колебательной или пульсирующей эволюции.

Психологи установили, что кратковременная память (КВП) способна удерживать 5–9 информационных блоков [19, 20]. Обучение осуществляется благодаря свертыванию информации и ее сохранению в долговременной памяти (ДВП). Ученику сообщают новый элемент учебного материала (ЭУМ) — определение понятия П1, состоящее из 5–9 значимых слов, которые он может удержать в КВП. Он многократно повторяет это определение, решает задачи, выполняет упражнения. В результате определение понятия П1 помещается в ДВП. Аналогичным образом он изучает понятия П2, П3, П4 и т. д. После этого учитель объясняет сложный ЭУМ — определение понятия П1', включающее в себя понятия П1, П2, П3, П4. Ученик несколько раз повторяет этот ЭУМ, выполняя учебные задания; в результате он усваивает понятие П1'. Затем он усваивает понятия П2', П3' и т. д. настолько хорошо, что может свободно оперировать ими и применять при изучении новых поня-

тий. Происходит свертывание информации; используя усвоенное понятие, ученик не произносит каждый раз его определение, но при необходимости может объяснить, что это такое. То же самое происходит при изучении других ЭУМ: законов, теорем, формул, правил и т. д. Знания, накапливаясь, самоорганизуются в новые структуры (свертываются), ученик переходит на другой уровень понимания изучаемого материала. Усвоенные понятия, теории и законы становятся точками роста новых знаний. Это приводит к накоплению, отбору и структурированию информации в соответствии с целями обучения и сопровождается переходом знаний ученика на новый уровень организации.

Из *семантической теории информации* Ю.А. Шрейдера [14] следует, что способность ученика воспринимать и усваивать новые знания зависит от его тезауруса — системы уже усвоенных учеником понятий и связей между ними. Усваиваемая учеником информация не просто суммируется с имеющимися у ученика знаниями, а интегрируется с ними, превращаясь в «усовершенствованную» систему знаний, включающую в себя новые понятия и связи между ними. При этом изменяется объем и структура тезауруса ученика.

Согласно *теории биосемиотики*, предложенной Я. Иксюлем, ученик в процессе взаимодействия и познания окружающего мира создает индивидуальную модель вселенной (умвельт), которой потом пользуется для достижения своих целей. Умвельт — это субъективный мир обучаемого, поведенческое пространство жизни, значимая среда, образованная знаками, которые ученик способен воспринять и интерпретировать. Умвельт объединяет знаковый мир восприятия и активный мир действий. Понятия и символы, кодирующие явления окружающей действительности, применяются тогда, когда они полезны, т. е. помогают ученику адаптироваться к условиям жизни в обществе и решить стоящие перед ним задачи. Это включает в себя саморегуляцию поведения, адаптацию к требованиям учителя, получение профессии и социализацию. «Бесполезные знания», которые не помогают ученику в достижении своих целей, не используются и поэтому быстро забываются. Каждый человек использует свой умвельт, зависящий от окружающей действительности, решаемых задач и выполняемых функций.

2. ИНФОРМАЦИОННО-КИБЕРНЕТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К АНАЛИЗУ ДС

Согласно *педагогической кибернетике* обучение сводится к управлению учителем («управляющим устройством») познавательной деятельностью ученика («объекта управления») с целью формирова-

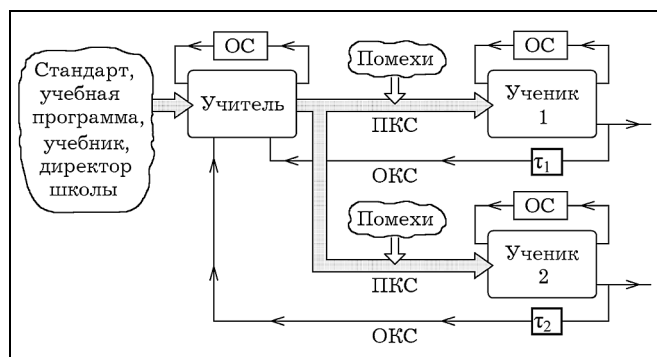


Рис. 2. Кибернетическая модель дидактической системы «учитель — ученики»

ния у него определенных качеств личности. Учитель владеет ресурсами R (техническими средствами и методами обучения) и получает информацию о состоянии ученика Y и его среды S . Задача учителя состоит в нахождении алгоритма обучения A , позволяющего изменить состояние ученика Y в соответствии с целями обучения C [12]. Учебный процесс можно описать пятеркой компонентов $U = \langle Y, S, R, C, A \rangle$.

Дидактические системы относятся к системам управления, поэтому закономерности педагогической кибернетики перекликаются с основными идеями теории управления [10, 21]. Дидактические системы функционируют в соответствии с принципами обратной связи; внешнего завершения; неопределенности; необходимого разнообразия; целенаправленности; оптимальности; гомеостаза; взаимной адаптации учителя и ученика; декомпозиции и иерархии управления; адаптируемости; управляемости [10, с. 34–36]. Под управлением деятельностью ученика (или учебным процессом) понимается выработка и осуществление целенаправленных воздействий на ученика (или учебный процесс). Это предусматривает сбор и анализ информации о состоянии управляемого объекта (или процесса) и принятие соответствующих решений, выбор алгоритма обучения и др. Цель управления состоит в обеспечении максимальной эффективности обучения при минимальных (или фиксированных) временных и иных затратах.

В ДС реализуется прямой канал связи ПКС от учителя к ученикам и обратные каналы связи ОКС от учеников к учителю (рис. 2). Учитель воздействует на ученика по прямому каналу связи ПКС, сообщая знания и отдавая управляющие команды. Информация о состоянии ученика приходит по обратному каналу связи ОКС с некоторой задержкой τ ; исходя из нее, учитель принимает решение о выборе соответствующей технологии обучения. Обратная связь (ОС) может быть как положитель-

ной, так и отрицательной. Положительная ОС (ученик демонстрирует понимание изучаемых вопросов) приводит к «самовозбуждению» ДС: учитель начинает перескакивать через простые вопросы, повышает уровень требований, свертывает информацию, решает более сложные задачи. Отрицательная ОС (учитель видит, что ученик плохо усваивает материал, не успевает решить задачу) снижает скорость передачи информации и уровень требований так, чтобы обучение протекало успешно. Это приводит к гомеостазу — поддержанию динамического равновесия системы, сохранению положительной мотивации ученика и интереса к предмету.

Директор (стандарт, учебная программа, учебник) задают определенные параметры учебного процесса: количество и расписание занятий, совокупность изучаемых вопросов и решаемых задач, формируемые умения, навыки и др. При этом налагаются определенные ограничения на учебный процесс; задается цель обучения: количества знаний ученика Zn_i на выходе по каждой i -й теме должны соответствовать заданным уровням требований L_i : $Zn_i \approx L_i$, $i = 1, 2, \dots, N$. Каждый ученик по отдельности также являются кибернетической системой, охваченной цепью ОС. Если ученик, выполняя учебные задания, систематически получает положительный результат, то это может привести к его «самовозбуждению» — у него повышается интерес к задачам данного типа, растет мотивация и коэффициент усвоения. Отрицательный результат вызывает снижение интереса к данному виду деятельности и скорости усвоения соответствующей информации.

Учитель также охвачен цепью ОС: он контролирует свою деятельность, анализирует ее результаты, выбирает такую технологию обучения, чтобы с минимальными затратами добиться поставленной цели: $Zn_i \approx L_i$. После успешного изучения очередного j -го ЭУМ система «учитель—ученик» находится вблизи состояния равновесия, так как знания ученика примерно соответствуют требованиям учителя: $Zn_i \approx L_i$, $i = 1, 2, \dots, j$. Когда учитель излагает новый $(j + 1)$ -й ЭУМ, он повышает уровень требований и нарушает равновесие ($Zn_{j+1} = 0$, $L_{j+1} = 1$), создавая предпосылки для развития обучаемого. Ученик, изучая материал, приобретает соответствующие знания, умения, навыки и как бы адаптируется к требованиям учителя, уменьшая отставание $D_{j+1} = L_{j+1} - Zn_{j+1}$; в результате этого происходит его развитие. Учитель, протестировав ученика, адаптируется к его знаниям Zn_i , формируя требования, выбирая содержание и методы

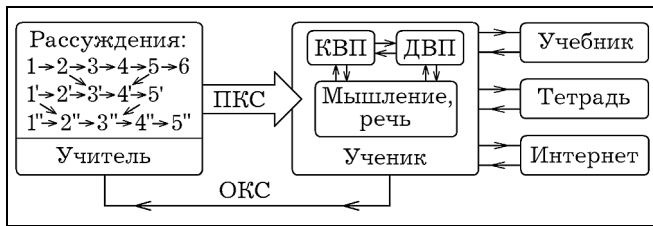


Рис. 3. Детализированная модель системы «учитель — ученик»

обучения, при которых обучение происходит наиболее эффективно.

Учитель излагает последовательность ЭУМ, а ученик следит за ходом его рассуждений, мысленно, устно или письменно повторяя их. При обучении ученик активно использует мышление, кратковременную и долговременную память, устную и письменную речь, читает учебник, работает в Интернете и ведет записи в тетради. С учетом этого система «учитель—ученик» может быть представлена иначе (рис. 3). Учитель высказывает суждение 1, затем суждение 2, ..., суждение 5, выстраивая одну логическую цепочку за другой, устанавливая различные связи между понятиями, идеями, теориями. Ученик пытается понять ход рассуждений. Часть сообщаемой информации поступает в КВП и используется при выполнении мыслительных операций, в письменных и устных ответах на вопросы. Наиболее важные ЭУМ повторяются вслух, записываются в тетрадь, многократно используются при выполнении учебных заданий; в результате этого знания сохраняются в долговременной памяти. Учитель, излагая материал, рассматривает примеры, дает необходимые объяснения. При выполнении учебных заданий ученик извлекает информацию из ДВП, а также читает записи в тетради, работает с учебником и в Интернете.

Интерес представляет подход В.Ф. Венды, согласно которому обучение — это процесс взаимной адаптации ученика с природой, обществом и техникой, в ходе которого достигается полное понимание учеником учебного материала [7]. Обучение бывает двух типов: трансформационное — формирование у ученика стратегии для выполнения принципиально новых заданий; эволюционное — повышение эффективности решения известных заданий. Прекращать обучение следует только на эволюционном плато очередной стратегии и методики [7, с. 269]. Сформулированный В.Ф. Вендой принцип взаимной адаптации сложных систем [7, с. 25] применительно к учебному процессу можно перефразировать так: необходимое и достаточное условие развития ДС состоит во взаимной адаптации компонентов системы между собой и

ДС в целом с внешней средой, т. е. учитель, ученики и технические средства обучения должны адаптироваться между собой, а также соответствовать требованиям общества, уровню развития техники, технологии и законам природы.

В случае, когда учитель прогнозирует ход обучения, говорят об *опережающей адаптации* [7, с. 268]. Дидактическая система функционирует устойчиво, если взаимная адаптация удовлетворительная, то есть эффективность, надежность и безопасность ДС лежат в допустимых пределах [7, с. 27]. Из принципа гибкой иерархической структуры следует, что лидерство может переходить от одного элемента системы к другому. Применительно к ДС это означает, что в определенные моменты времени учитель может предоставить ученику возможность решить задачу у доски, выступить с докладом, написать сочинение или компьютерную программу, оставляя за собой право делать замечания и исправлять ошибки.

Из принципа гомеостаза следует, что определенный набор характеристик кибернетических систем должен оставаться неизменным или изменяться внутри достаточно узкого диапазона значений [22, 23]. Применительно к ДС это означает, что учитель должен так управлять деятельностью ученика, чтобы тот сохранял положительную мотивацию и самоуважение, не терял интереса к обучению, а его отставание $D_i = L_i - Z_{n_i}$ не превысило опорного значения. При этом изучаемые ЭУМ должны находиться в *зоне ближайшего развития* ученика [19, 20]. Когда учитель переходит к рассмотрению нового ЭУМ, уровень предъявляемых требований возрастает. В ответ на это ученик, тоже являясь кибернетической системой, может адаптироваться к новым требованиям учителя; перейти на уровень гомеостатического равновесия с более высокой результативностью, соответствующей новым требованиям учителя; опуститься на низкий уровень гомеостатического равновесия; выйти за пределы допустимости рабочего состояния, потерять равновесие (переутомление или нервный срыв) [16, 23]. Учебный материал должен быть настолько сложен, чтобы ученику было интересно учиться, и настолько прост, чтобы ученик мог его освоить.

3. ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КИБЕРНЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ОБУЧЕНИЯ

Сущность метода имитационного моделирования состоит в том, что изучаемая система заменяется компьютерной моделью, приблизительно описывающей ее поведение, после чего с ней проводятся вычислительные эксперименты при раз-

личных параметрах, начальных условиях и внешних воздействиях [24]. Этот метод применяется, когда реальный эксперимент связан с большими временными или материальными затратами, вреден или невозможен; трудно построить аналитическую модель, так как изучаемая система сложна, нелинейна и/или стохастична; требуется симитировать функционирование системы в конкретных условиях. Компьютерные симуляции ДС тесно связаны с математической теорией обучения, занимающейся построением абстрактных моделей учебного процесса и изучением их свойств и особенностей функционирования [6, 8, 13].

Создание имитационной (компьютерной) модели ДС требует применения *блочного принципа* или *метода черного ящика*, при котором систему разбивают на отдельные блоки (учитель, ученик) или черные ящики. Их внутреннее строение, структура и «механизм функционирования» неизвестны, а известны лишь реакции черного ящика, как целого, на внешние воздействия. Чтобы задать черный ящик (например, заменяющий ученика), достаточно математически описать связь выходных сигналов с входными. При этом содержание и принципы функционирования черного ящика не обсуждаются, важно, чтобы модель ученика вела себя аналогично реальному ученику. Иногда ученик заменяется вероятностным автоматом, у которого в процессе обучения изменяются вероятности переходов из одного состояния в другое [25]. В других случаях обучение рассматривается как передача информации по каналу связи с ограниченной пропускной способностью. Также применяется имитационное моделирование ДС, основанное на численном решении системы дифференциальных уравнений [24].

Имитационная модель ДС позволяет на основе учета определенной совокупности факторов приблизительно предсказывать состояние ДС в последующие моменты времени; формально обосновать некоторые теоретические положения о поведении ДС и эффективности той или иной методики; решить оптимизационную задачу, т. е. найти оптимальный путь обучения (длительность и частоту занятий, распределение учебного материала, влияние учителя), при которой ДС функционирует максимально эффективно [24].

Промоделируем обучение гипотетического ученика в течение нескольких занятий длительностью $T_3 = 2$ ч, которые разделены равными промежутками $T_{\Pi} = 22$ ч. Учебный материал состоит из последовательности ЭУМ, характеризующихся дидактической сложностью S_i , $S_i \in [0; 1]$. Если i -й ЭУМ очень прост, то $S_i = 0$, а если очень сложен для данного ученика, то $S_i = 1$. Допустим, учитель при-

держивается такого алгоритма обучения: в течение времени $t_1 = 45$ мин он первый раз объясняет очередной ЭУМ, сообщая знания и формируя у ученика умения и навыки. После этого он проверяет уровень сформированности соответствующих знаний за время $t' = 5$ мин, спрашивает ученика изученный ЭУМ или дает ему учебное задание. Если ученик хорошо усвоил i -й ЭУМ ($Zn_i \geq L' = 0,96$), то учитель переходит к объяснению следующего $(i + 1)$ -го ЭУМ, а если нет — снова продолжает объяснять i -й ЭУМ (приводит примеры, решает задачи и т. п.). Продолжительность второго, третьего и следующих объяснений $t_2 = 20$ мин. После каждого объяснения следует повторная проверка знаний i -го ЭУМ длительностью $t' = 5$ мин. На ученика воздействует источник помех, который приводит к тому, что ученик в некоторые интервалы времени $[t; t + \Delta t]$ длительностью $\Delta t = 3$ —5 мин не способен усваивать материал, его коэффициент усвоения α равен нулю.

Модель учитывает, что при изучении i -го ЭУМ используются знания 1, 2, 3, ..., $(i - 1)$ -го ЭУМ. В начале программы с помощью генератора случайных чисел создается матрица коэффициентов использования при изучении i -го ЭУМ предыдущего j -го ЭУМ, $j < i$:

$$\varepsilon_{i,j} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0,7 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0,8 & 0 & 0,7 & \dots & 1 \end{pmatrix}.$$

Из $\varepsilon_{3,6} = 0,7$ следует, что, изучая шестой ЭУМ, ученик использует 70% знаний третьего ЭУМ. При обращении к изученному ранее j -му ЭУМ соответствующий уровень знаний Zn_j также повышается. В нашем случае считалось, что $\varepsilon_{i,j} = 1$, а коэффициенты повторения $\varepsilon_{i,j}$ задавались как числа, которые с вероятностью 0,66 равны 0, а в остальных случаях являются случайными величинами с равномерным распределением из интервала $[0; 1]$. Дидактическая сложность вопроса S_i также задавалась как случайная величина с равномерным распределением из интервала $[0; 1; 0,5]$. Коэффициент усвоения i -го ЭУМ вычисляется так: $\alpha_i = \alpha_0(1 - S_i)$, где $\alpha_0 = 0,3$. При моделировании изучения конкретной дисциплины параметры курса $\varepsilon_{i,j}$ и S_i могут быть оценены методом экспертных оценок.

Будем пользоваться двухкомпонентной моделью ученика, считая, что вся усвоенная информация состоит из непрочных Z_i и прочных N_i знаний: $Zn_i(t) = Z_i(t) + N_i(t)$. В начальный момент $Zn_i = 0$

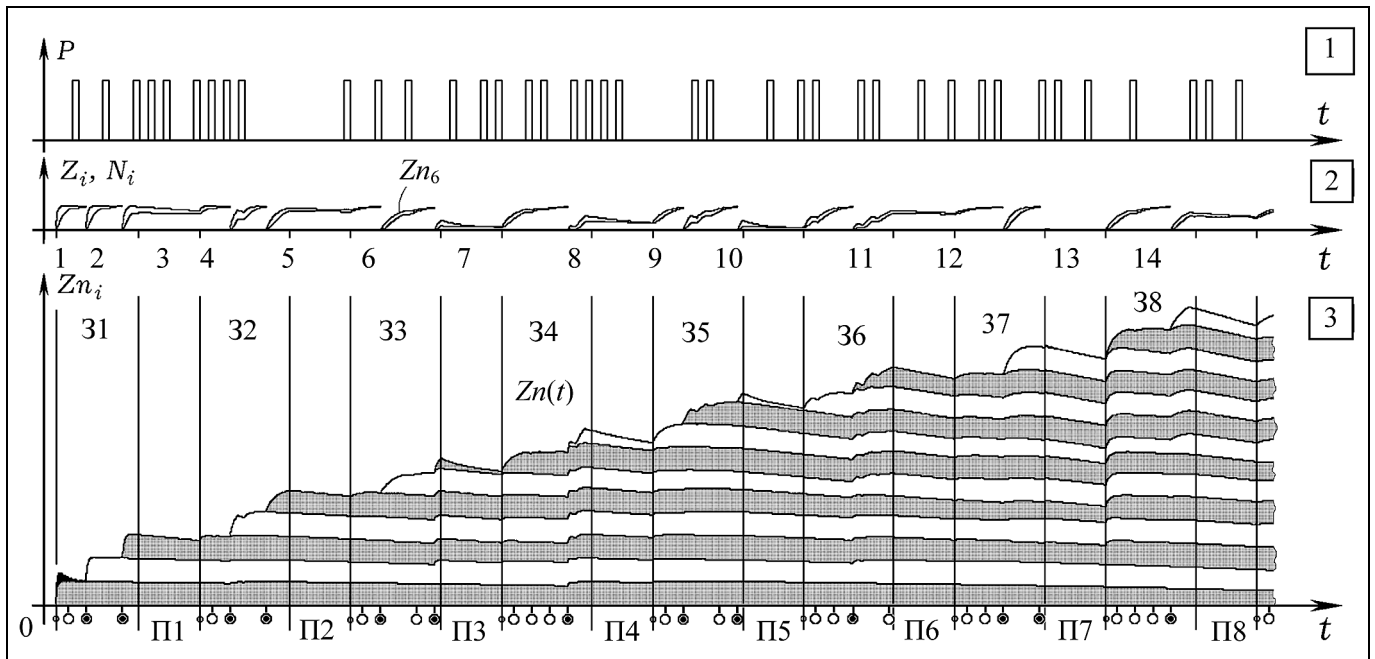


Рис. 4. Типичные графики, получающиеся в результате моделирования

для всех i . До изучения i -го ЭУМ $Zn_i(t) = 0$, а если ученик полностью им овладел, то $Zn_i(t) = L = 1$. Во время обучения ($k = 1$):

$$\frac{dZ_i}{dt} = k\epsilon_{i,j}(\alpha_i(1 - Z_i) - \beta Z_i), \quad \frac{dN_i}{dt} = k\epsilon_{i,j}\beta Z_i,$$

где β — скорость перехода непрочных знаний в прочные. Во время перерывов ($k = 0$) происходит забывание: $dZ_i/dt = -\gamma_Z Z_i$, $dN_i/dt = -\gamma_N N_i$. Скорость утрачивания знаний для i -го ЭУМ характеризуется коэффициентом забывания γ_i , который тем меньше, чем больше у ученика соответствующих прочных знаний $N_i(t)$. Будем считать, что $\gamma_Z = 0,012\exp(-3N_i)$, $\gamma_N = \gamma_Z/10$. Обучение прерывается помехами $P(t)$, следующими случайным образом; их доля по времени k_n в различных реализациях обучения варьировалась от 0 до 0,5. При $k_n = 0,5$ суммарная длительность помех в 2 раза меньше времени обучения. Во время помех ученик не усваивает информацию, $\alpha_i = 0$ для всех i ; это уменьшает среднюю скорость роста знаний $u = n/t$, где n — число усвоенных ЭУМ за время t .

Для имитационного моделирования рассматриваемой ДС применялась компьютерная программа, написанная на языке Pascal. На рис. 4 представлены получающиеся графики $P(t)$, $Z_i(t)$, $N_i(t)$ и $Zn_i(t)$. Для удобства кривые забывания $Z_i(t)$ и $N_i(t)$ на рис. 4.2 отсутствуют и применяется перемен-

ный масштаб по времени: длительности перерывов П1, П2, ... сжаты в 16,5 раза. В течение занятий 31, 32, ... в моменты, соответствующие круглым меткам (рис. 4.3) осуществляется проверка ученика; если его знания i -го ЭУМ достигли требуемого уровня $L' = 0,96$ (закрашенный кружок), то учитель переходит к изучению следующего $(i + 1)$ -го ЭУМ, а иначе (незакрашенный кружок) — повторяет текущий i -й ЭУМ. Реализуется замкнутая система управления: учитель, проводя тестирование, получает информацию о состоянии объекта управления (т. е. знаниях ученика) и делает выбор: излагать новый материал или повторить только что изученный ЭУМ. В соответствии с *принципом гомеостаза* система выбирает такой путь функционирования, при котором отставание ученика от требований учителя не выходит за пределы допустимого интервала.

Серия компьютерных экспериментов с рассмотренной моделью показала, что моделируемая ДС функционирует достаточно гибко и устойчиво. Она достигает положительного результата даже тогда, когда сложности ЭУМ S_i и доля помех k_n довольно велики. При уменьшении значений S_i и k_n ученик в среднем быстрее усваивает материал и учителю не приходится заниматься многократным повторением одних и тех же ЭУМ. При $k_n = 0,5$ средняя скорость усвоения $v = 1,05$ ЭУМ/сут, а при $k_n = 0$ она составляет $v = 2,2$ ЭУМ/сут, т. е. более чем в 2 раза выше. Если значения S_i и k_n ве-

лики, а коэффициент усвоения α_0 мал, то в среднем на изучение одного ЭУМ учитель затрачивает больше времени. При слишком высоких значениях S_i и k_n ученик не может усвоить изучаемый материал, так как прирост знаний очень мал, и он исчезает во время перерывов из-за забывания.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обсуждены системный, синергетический и информационно-кибернетический подходы к проблеме моделирования дидактических систем и процесса обучения. Проанализирована кибернетическая модель дидактической системы, показано влияние прямых и обратных связей на различных этапах ее функционирования. Предложена двухкомпонентная модель дидактической системы с изменяющимся коэффициентом забывания, которая учитывает: основные закономерности обучения и забывания; превращение непрочных знаний в прочные знания, которые забываются медленнее; различную дидактическую сложность изучаемых элементов учебного материала (ЭУМ); степень использования учеником ранее усвоенного материала при изучении данного ЭУМ; периодический контроль учителя за состоянием ученика; выбор учителем методики на основе информации, полученной при тестировании ученика; влияние случайных помех, приводящих к кратковременным снижениям коэффициента усвоения ученика. Дидактические свойства учебного материала задаются статистически, путем указания сложности и коэффициента использования ранее изученных ЭУМ. Показано, что система «учитель—ученик» является самонастраивающейся и способна функционировать, когда сложность изучаемых ЭУМ и вероятность помех изменяются в довольно широких пределах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Abersek B., Borstner B., Bregant J. The Virtual Science Teacher as a Hybrid System: Cognitive Science Hand in Hand with Cybernetic Pedagogy // *Journal of Baltic Science Education*. — 2014. — Vol. 13, N 1.
2. Baron Ph. A Cybernetic Approach to Contextual Teaching and Learning // *Constructivist Foundations*. — 2017. — Vol. 12, N 1. — P. 91–100.
3. Colbeck C.L. A Cybernetic Systems Model of Teaching and Research Production: Impact of Disciplinary Differences // *International Colloquium on Research and Teaching: Closing the Divide?* Winchester Hampshire, UK. March 17–19, 2004.
4. Grover V.K. Classroom Cybernetics: an Approach for Effective and Efficient Classroom Teaching // *International Journal of Research in Advent Technology*. — 2016. — Vol. 4, N 1. — P. 45–52.
5. Scott B., Shurville S., Maclean P. and Cong Ch. Cybernetic principles for learning design. — URL: www.emeraldinsight.com/0368-492X.htm (дата обращения: 3.09.2018).
6. Bush R.R., Mosteller F.A. Stochastic Model with Applications to Learning. — URL: https://projecteuclid.org/download/pdf_1/euclid.aoms/1177728914 (дата обращения: 3.09.2018).
7. Венда В.Ф. Системы гибридного интеллекта: Эволюция, психология, информатика. — М.: Машиностроение, 1990. — 448 с.
8. Леонтьев Л.П., Гохман О.Г. Проблемы управления учебным процессом: Математические модели. — Рига, 1984. — 239 с.
9. Новиков Д.А. Теория управления образовательными системами. — М.: Народное образование, 2009. — 416 с.
10. Novikov D.A. Cybernetics: From Past to Future. — Springer International Publishing, 2016. — 107 p. — URL: https://www.researchgate.net/publication/287319297_Cybernetics_from_Past_to_Future (дата обращения: 3.09.2018).
11. Свиридов А.П. Основы статистической теории обучения и контроля знаний. — М.: Высшая школа, 1981. — 262 с.
12. Соловов А.В. Электронное обучение: проблематика, дидактика, технология. — Самара: Новая техника, 2006. — 462 с.
13. Фирстов В.Е. Математические модели управления дидактическими процессами при обучении математике в средней школе на основе кибернетического подхода: Дисс. ... докт. пед. наук. — СПб., 2011. — 460 с.
14. Шрейдер Ю.А., Шаров А.А. Системы и модели. — М.: Радио и связь, 1982. — 152 с.
15. Капица С.П., Курдюмов С.П., Малинецкий Г.Г. Синергетика и прогнозы будущего. — М.: Эдиториал УРСС, 2001. — 288 с.
16. Хакен Г. Информация и самоорганизация: Макроскопический подход к сложным системам. — М.: УРСС: ЛЕНАНД, 2014. — 320 с.
17. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. — М.: Наука, 1988. — 356 с.
18. Майер Р.В. Компьютерная модель процесса управления дидактической системой: информационно-кибернетический подход // *Проблемы управления*. — 2016. — № 3. — С. 58–64.
19. Величковский Б.М. Когнитивная наука: Основы психологии познания: в 2 т. Т. 1. — М.: Смысл: Академия, 2006. — 448 с.
20. Зинченко Т.П. Память в экспериментальной и когнитивной психологии. — СПб.: Питер, 2002. — 320 с.
21. Murray J. Cybernetic Circularity in Teaching and Learning // *International Journal of Teaching and Learning in Higher Education*. — 2006. — Vol. 18, N 3. — P. 215–221.
22. Растринин Л.А. Адаптация сложных систем. — Рига: Зинатне, 1981. — 375 с.
23. Теслер Г.С. Новая кибернетика. — Киев: Логос, 2004.
24. Майер Р.В. Исследование математических моделей дидактических систем на компьютере [Электронный ресурс]: монография. — Глазов: Глазовский гос. пед. ин-т, 2018. — 160 с.
25. Mayer R.V. Assimilation and Forgetting of the Educational Information: Results of Imitating Modelling // *European Journal of Contemporary Education*. — 2017. — N 6 (4). — P. 739–747. DOI: 10.13187/ejced.2017.4.739.

Статья представлена к публикации членом редколлегии чл.-корр. РАН Д.А. Новиковым.

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