

## Моделирование обучения, основанное на представлении осмысленной информации в виде системы связанных элементов

### Training Modeling Based on Representation of the Meaningful Information As a System of Connected Elements

Получено: 06.12.2016 г. / Одобрено: 13.12.2016 г. / Опубликовано: 16.06.2017 г.

#### Майер Р.В.

Д-р пед. наук, заслуженный деятель науки Удмуртской республики, доцент, профессор кафедры физики и дидактики физики, Глазовский государственный педагогический институт имени В.Г. Короленко, Россия, 427621, Глазов, ул. Первомайская, д. 25, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8166-9299>  
e-mail: robert\_maier@mail.ru

#### Mayer R.V.

Doctor of Pedagogical Sciences, Honored Worker of Sciences of the Udmurt Republic, Associate Professor, Professor, Department of Physics and Didactic of Physics, Glazov Korolenko State Pedagogical Institute, 25, Pervomayskya St., Glazov, 427621, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8166-9299>  
e-mail: robert\_maier@mail.ru

**Аннотация.** Развитие дидактики требует совершенствования методов математического и компьютерного моделирования дидактических систем. Статья посвящена изучению процессов усвоения и забывания осмысленной информации и построению имитационной модели обучения в школе. В работе используются системный подход, а также методы качественного, математического и компьютерного моделирования путем имитации стохастических процессов и численного решения системы дифференциальных уравнений. Усваиваемые знания рассматриваются как совокупность большого числа информационных блоков, состоящих из последовательностей элементов учебного материала (ЭУМ), которые могут быть двух типов: использующиеся и не использующиеся в последующей деятельности ученика. Модель учитывает уменьшение скорости забывания с ростом числа обращений к каждому ЭУМ. Получены графики зависимости знаний ученика от времени при различных длительностях занятия. Из них следует, что после окончания обучения количество осмысленных знаний ученика сначала остается практически постоянным, а затем убывает по логистическому закону. Создана имитационная модель обучения в 11-летней школе, учитывающая деление знаний на три категории: 1) прочные знания, часто используемые учеником; 2) знания теорий, идей, рассуждений, которые хорошо ассоциируются с уже имеющимися у ученика понятиями, но не используются на практике; 3) редко используемые знания отдельных фактов, плохо ассоциирующиеся с уже имеющимися знаниями. Предлагаемый подход позволил объяснить и промоделировать закономерности забывания осмысленной информации. После окончания обучения неиспользуемые ЭУМ быстро забываются, и ученик уже не может воспроизвести все изученные идеи, хотя помнит некоторые ЭУМ, часто применяемые в жизни. Созданная трехкомпонентная модель обучения в школе учитывает распределение учебной информации по классам и строит графики зависимостей различных видов знаний ученика от времени.

**Ключевые слова:** дидактика, забывание, обучение, компьютерное моделирование, учебный материал.

**Abstract.** The development of didactics requires improvement of the mathematical and computer modeling methods of the didactic systems. The article studies the processes of assimilation and forgetting of the meaningful information and builds a simulation model of training at school. In the work are used the system approach, and also methods of the qualitative, mathematical and computer modeling by imitation of the stochastic processes and the numerical solution of the differential equations system. The pupil's meaningful knowledge is considered as set of a large number of the information blocks consisting of the sequences of the learning material elements (LME) which can be two types: used and not used in follow-up activity of the pupil. The model considers the decrease in the forgetting speed with the increasing number of requests for each LME. The graphs of the pupil's knowledge dependence from time in case of various lessons duration are received. It is visible that after the end of training the amount of the pupil's meaningful knowledge at first remains almost constant, and then decreases under the logistic law. It is created the simulation model of training at 11-year school which considers division of knowledge into three categories: 1) the strong knowledge which the pupils uses often; 2) knowledge of theories, the ideas, reasoning which are well associated with the existing concepts in the pupil's consciousness, but not used in practice; 3) seldom used knowledge of the separate facts badly associated with already existing pupil's knowledge. The offered approach allowed to explain and model the regularities of the meaningful information forgetting. After the end of training not used LME are quickly forgotten, and the pupil can't reproduce all studied ideas any more although he remembers some LME which are commonly used in life. The created three-component model of training at school takes into account distribution of educational information on classes and plotted various types of the pupil's knowledge from time.

**Keywords:** didactics, forgetting, training, computer modeling, learning material.

#### Введение

Повышение эффективности процесса обучения требует не только совершенствования содержания и методики изучения отдельных предметов, но и разработки теоретических основ дидактики с при-

влечением как гуманитарных (психология), так и точных наук (математика, кибернетика) [1; 8]. В настоящее время получил распространение информационно-кибернетический подход к анализу учебного процесса, основанный на рассмотрении

системы «учитель — ученик» с точки зрения теории управления и предполагающий использование метода имитационного моделирования.

Среди современных методов исследования педагогических систем особое положение занимают методы математического и имитационного (компьютерного) моделирования [15; 16]. Их сущность состоит в том, что реальная педагогическая система заменяется абстрактной моделью, — некоторым идеализированным объектом, который отражает наиболее существенные свойства изучаемой системы. Поведение модели исследуется с помощью математических методов [2; 10; 14] и путем компьютерной имитации [4; 9; 11]. Последнее означает создание компьютерной программы, которая ведет себя подобно системе «учитель — учащиеся», и проведение серии вычислительных экспериментов при различных условиях. Изменяя параметры модели и внешние воздействия, можно исследовать пути развития дидактической системы, определить ее состояние в любой момент времени. Существующее многообразие компьютерных моделей дидактических систем можно разделить на: 1) непрерывные модели, требующие численного решения системы дифференциальных уравнений [11, с. 53–73]; 2) дискретные модели, в которых обучаемый или процесс обучения моделируется детерминированными или вероятностными автоматами, сетями Петри и т.д. [11, с. 26–47]. Также применяется мультиагентное моделирование, при котором каждый учащийся заменяется независимо функционирующим программным агентом [7].

Сформулируем основную задачу имитационного моделирования процесса обучения: зная параметры учащихся, характеристики используемых методов и учебную программу (распределение учебной информации), определить их уровень знаний (или сформированности навыка) в произвольный

момент времени. Цель статьи состоит в построении модели усвоения и забывания осмысленной информации [6], не использующейся в повседневной жизни, которая соответствует следующим закономерностям: 1) после окончания непродолжительного обучения сначала знания ученика уменьшаются быстро, а затем все медленнее; 2) после длительного или многократного обучения ученик прочно и надолго усваивает сообщенную ему информацию, а затем ее медленно забывает; 3) в обоих случаях количество знаний ученика при  $t \rightarrow \infty$  убывает, стремясь к некоторому невысокому уровню (20–30% от изученного материала). На основе полученных результатов планируется создать модель обучения в 11-летней школе. Настоящее исследование опирается на работы Р. Аткинсона, Г. Бауэра и Э. Кротерса [2], Р. Буша и Ф. Мостеллера [5], Н.А. Борисова [3], Ю.И. Петрова [12], Ю.М. Плотинского [13], А.П. Свиридова [14] и является развитием подхода, представленного в монографии Р.В. Майера [11].

### 1. Усвоение и забывание осмысленной информации

Для анализа учебного процесса применяется метод качественного, математического и компьютерного моделирования. Учебный материал рассматривается как совокупность из  $N$  отдельных идей или информационных блоков (рассуждений, выводов формул и т.п.). Каждая идея является системой, состоящей из последовательности элементов учебного материала (ЭУМ) длиной  $l_i$  ( $i = 1, \dots, N$ ), связанных между собой логическими связями. Ученик не просто пытается запомнить совокупность отдельных ЭУМ (понятий, формул), он стремится усвоить последовательность рассуждений (вывод формулы и т.д.). Все ЭУМ делятся на две категории: 1) встречающиеся и используемые учеником в последующей жизни и обучении; 2) не встречающиеся в дальнейшем.

	ЭУМ 1	ЭУМ 2	ЭУМ 3	ЭУМ 4	ЭУМ 5	ЭУМ 6	ЭУМ 7	ЭУМ 8	ЭУМ 9	ЭУМ 10	ЭУМ 11	ЭУМ 12
Идея 1	0,56	0,78	0,36	0,61	0,49	0,38	0,94	0,27				
Идея 2	0,36	0,25	0,56	0,78	0,25	0,61	0,49	0,38	0,94	0,27		
Идея 3	0,56	0,49	0,78	0,25	0,61	0,49	0,38	0,94	0,27			
Идея 4	0,78	0,38	0,33	0,56	0,78	0,25	0,61	0,49	0,38	0,94	0,27	
Идея 5	0,81	0,56	0,78	0,25	0,61	0,49	0,38	0,94	0,27			
Идея 6	0,56	0,78	0,25	0,61	0,49	0,38	0,94	0,27				
Идея 7	0,43	0,56	0,78	0,25	0,61	0,49	0,38	0,94	0,27			
Идея 8	0,93	0,27	0,36	0,42	0,56	0,78	0,25	0,61	0,49	0,38	0,94	0,27
Идея 9	0,56	0,25	0,56	0,61	0,49	0,38	0,94					
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Идея N	0,36	0,38	0,56	0,78	0,25	0,61	0,49	0,38	0,94	0,27		

Рис. 1. Осмысленные знания как совокупность  $N$  цепочек из  $l_i$  ЭУМ

Любой учебный материал можно охарактеризовать: 1) количеством идей (цепочек ЭУМ); 2) средней длиной идей  $l_{cp}$  и разбросом  $\Delta l$ ; 3) долей  $D$  ЭУМ, используемых учеником в дальнейшей деятельности; 4) средним коэффициентом усвоения  $a$  для каждого ЭУМ. Знание данного  $(i, j)$ -ЭУМ определяется числом  $p_{ij}$  из интервала  $[0; 1]$ , которое показывает вероятность правильного ответа на соответствующий элементарный вопрос (рис. 1). Пусть  $l_{cp} = 10$ ,  $\Delta l = 2$ , тогда длина цепочки задается случайным образом  $l_i = 8 + Round(4x_s)$ ; здесь и в дальнейшем  $x_s$  — случайная величина, равномерно распределенная в интервале  $[0, 1]$ . При изучении  $i$ -ого ЭУМ из  $i$ -ой идеи в течение времени  $\Delta t$  вероятность правильного ответа ученика на соответствующий элементарный вопрос растет по закону:  $p_{ij}^{k+1} = p_{ij}^k + a(1 - p_{ij}^k)\Delta t$ , ( $a = 0,1$ ); счетчик обращений к данному  $(i, j)$ -ЭУМ  $s_{ij}$  увеличивается на 1. С ростом количества обращений  $s_{ij}$  к данному ЭУМ коэффициент забывания уменьшается по закону:  $g_{ij} = 3 \cdot 10^{-4} + 0,05 \cdot \exp(-0,001 \cdot s_{ij})$ . Если ученик не работает с  $(i, j)$ -ЭУМ, то из-за забывания знание этого ЭУМ за время  $\Delta t$  уменьшается так:  $p_{ij}^{k+1} = p_{ij}^k + a(1 - g_{ij}\Delta t)$ . Чтобы учесть встречаемость некоторых ЭУМ в повседневной жизни создается матрица  $d_{ij}$ , элементы которой с заданной вероятностью  $D$  равны 1, а с вероятностью  $(1 - D)$  — нулю. В течение элементарного промежутка  $\Delta t$  с некоторой вероятностью  $q = 0,025$  ученик обращается к каждому ЭУМ с  $d_{ij} = 1$ , используя его в своей деятельности; при этом  $s_{ij}$  увеличивается на 1, а  $p_{ij}^k$  возрастает на  $a(1 - p_{ij}^k)\Delta t$ . Суммы вероятностей  $p_{ij}^k$  для всех ЭУМ с  $d_{ij} = 1$  и  $d_{ij} = 0$  обозначим  $Z_1$  и  $Z_2$  соответственно.

Состояние ученика в каждый момент времени определяется матрицей вероятностей  $p_{ij}$ , где  $j = 1, 2, \dots, l_i$ ; значение  $p_{ij}$  показывает вероятность знания  $j$ -ого ЭУМ из  $i$ -ой цепочки (рис. 1). Для оценки знаний обучаемого и построения графика  $Zn(t)$  программа моделирует многократное «тестирование» ученика на каждом временном шаге (т.е. в моменты  $t_k = k\Delta t$ ). Знание учеником  $i$ -ой идеи определяется так: ПЭВМ моделирует ответ ученика, в котором он последовательно излагает 1-ый ЭУМ, 2-ой ЭУМ, ...  $l_i$ -ый ЭУМ  $i$ -ой цепочки в течение заданного времени  $t_{от} = 1,3 \cdot l_i \cdot \Delta t$ . Правильный ответ на вопрос, соответствующий  $j$ -ому ЭУМ из  $i$ -ой идеи, моделируется как случайный процесс, происходящий с вероятностью  $p_{ij}$ : если  $x_s < p_{ij}$ , то ученик ответил правильно, а иначе — нет. При неправильном ответе ученик снова пытается показать знание данного ЭУМ, а при правильном — переходит к следующему ЭУМ из той же идеи. Если все  $l_i$  ЭУМ  $i$ -ой

$i$ -ой цепочки выполнены правильно за время ответа  $t_{от}$ , то считается, что ученик знает  $i$ -ый информационный блок. Количество знаний  $Zn(t)$  учащегося равно числу идей (информационных блоков), которые он может воспроизвести. При таком «тестировании» знания ученика не увеличиваются, вероятности  $p_{ij}$  остаются неизменными.

```
{&N+} uses crt, graph; const dt=0.01; a=0.1; Y=650; str=50; st=15; Mt=0.8;
var t,tr,g,SR,SP,SQ: single; i,j,k,tt,o,DV,MV,kk: integer; p: array[1..str,
1..st] of single; dd: array[1..str,1..st] of integer; s:array[1..str,1..st]
of longint; l,R: array[1..str] of integer;
Procedure Test; Label m; begin SR:=0; For k:=1 to 100 do begin For i:=1 to
str do begin j:=1; tr:=l[i]*dt*1.3; R[i]:=0; Repeat tr:=tr-dt; If random(
100)/100<p[i,j] then inc(j); If j>=l[i] then begin R[i]:=1; goto m; end; If
(tr<0) then R[i]:=0; until tr<0; m: end; For i:=1 to str do SR:=SR+R[i];end;
circle(10+round(t*Mt),Y-round(SR/10),2); SP:=0; For i:=1 to str do For j:=1
to l[i] do begin If dd[i,j]=1 then SP:=SP+p[i,j];end; circle(10+round(t*Mt),
Y-round(SP),1); SQ:=0; For i:=1 to str do For j:=1 to l[i] do begin If dd[i,
j]=0 then SQ:=SQ+p[i,j]; end; circle(10+round(t*Mt),Y-round(SQ+SP),1); end;
Procedure Zabivanie; begin For i:=1 to str do For j:=1 to l[i] do begin If
(dd[i,j]=1)and(random(100)<2.5) then begin p[i,j]:=p[i,j]+a*(1-p[i,j])*dt;
inc(s[i,j]); end; end; For i:=1 to str do For j:=1 to l[i] do begin g:=4E-4
+0.05*exp(-1E-3*s[i,j]); p[i,j]:=p[i,j]*(1-g*dt); end; end;
Procedure Zabivan; begin For i:=1 to str do For j:=1 to l[i] do begin g:=
4E-4+0.05*exp(-1E-3*s[i,j]); p[i,j]:=p[i,j]*(1-g*dt); end; end;
Procedure Obuchen;begin For i:=1 to 50 do For j:=1 to l[i] do begin inc(s[i,
j]);p[i,j]:=p[i,j]+a*(1-p[i,j])*dt; end; Zabivan; end;
BEGIN DV:=Detect; InitGraph(DV,MV,''); Randomize; For i:=1 to str do l[i]:=8
+round(random(100)/25); For i:=1 to str do For j:=1 to l[i] do begin If
random(100)/100<0.333 then dd[i,j]:=1 else dd[i,j]:=0; end; line(0,Y,1600,Y);
Repeat t:=t+dt; If (t<30)or((t>220)and(t<245)) then Obuchen else Zabivanie;
inc(o); If o>100 then begin o:=0; Test; end; circle(10+round(t*15),Y,1);
until (KeyPressed)or(t>2000); CloseGraph; END.
```

Рис. 1. Программа 1 (Free Pascal)

Используется программа 1. На рис. 2.1–2.4 представлены результаты моделирования усвоения и забывания осмысленной информации при  $D = 0,33$  и различных длительностях занятия  $T$ : 1)  $T = 30$  УЕВ (усл. ед. времени); 2)  $T = 45$  УЕВ; 3)  $T = 60$  УЕВ; 4) в течение двух занятий по 30 УЕВ. Анализируя графики  $Zn(t)$ , можно выделить три фазы забывания: 1) количество знаний ученика сначала остается практически постоянным, превышая  $0,9I_0$  ( $I_0 = N$ ), т.е. он может воспроизвести почти все изученные идеи, решить все задачи и т.д.; 2) количество знаний убывает почти пропорционально времени; 3) ученик помнит не более  $0,1I_0$ , т.е. не может воспроизвести изученные идеи, но при этом хорошо помнит отдельные ЭУМ, с которыми он встречался или использовал в своей деятельности. Как видно из графиков, при  $t \rightarrow \infty$  количество не использующихся в жизни знаний  $Z_2 = Z_{12} - Z_1$  стремится к нулю тем быстрее, чем меньше время обучения  $T$ . Объем использующихся знаний  $Z_1$  после окончания обу-

чения уменьшается значительно медленнее или остается постоянным. При увеличении длительности занятия  $T$  и уменьшении средней длины идей  $I_i$  учебный материал запоминается прочнее, время, в течение которого забывается половина изученной информации  $I_0$ , растет.

При изучении одного и того же материала в течение двух занятий (рис. 2.4) после первого занятия ( $30 < t < 200$ ) количество знаний  $Zn$  быстро снижается вследствие забывания неиспользуемых ЭУМ (т.е. уменьшения  $Z_2$ ). ЭУМ, используемые учеником ежедневно, забываются медленно;  $Z_1$  снижается незначительно. Во время второго занятия все ЭУМ запоминаются еще прочнее (число обращений  $s_{ij}$  растет, скорость забывания уменьшается). При  $t > 230$  происходит забывание,  $Z_2$  уменьшается медленнее, чем после первого занятия. Первая фаза забывания ( $Z(t) > 0,9I_0$ ), длится дольше ( $\approx 550$  УЕВ).

Из рис. 2 видно, что график забывания осмысленной информации может быть аппроксимирован логистическим законом:

$$B = Z^0/100, x^0 = 100, dx/dt = -\gamma(100,5 - x)x, \\ Z(t) = B \cdot x(t).$$

## 2. Моделирование обучения в школе

Другой подход к созданию модели дидактической системы предполагает составление системы дифференциальных уравнений с их последующим решением на компьютере. Чтобы компьютерная имитация более точно соответствовала реальному про-

цессу обучения в 11-летней школе, нужно учесть, что прочность усвоения различных вопросов неодинакова, поэтому их следует разделить на несколько категорий, которые забываются с разными скоростями. Выделим следующие три категории: 1) знания  $D$ , используемые в дальнейшей деятельности и запоминаемые очень прочно; 2) знания  $T$  различных теорий, идей, законов, рассуждений, которые хорошо ассоциируются с уже имеющимися у ученика понятиями, но не используются на практике; 3) абстрактные знания  $A$  отдельных фактов, не используемые в дальнейшем и плохо ассоциирующиеся с уже имеющимися знаниями. Распределение учебной информации в течение всего времени обучения в школе (11 лет) можно задать тремя массивами, содержащими: 1) количество изучаемой информации в каждом классе  $I_i = (30, 35, 40, 50, 65, 80, 100, 120, 145, 170, 175)$ ; 2) долю прочных знаний  $d_{1i} = (0,65; 0,6; 0,55; 0,5; 0,45; 0,4; 0,35; 0,3; 0,25; 0,2; 0,1)$ ; 3) долю непрочных знаний  $d_{3i} = (0,05; 0,1; 0,1; 0,15; 0,2; 0,25; 0,25; 0,3; 0,3; 0,3; 0,3)$ . Тогда скорость передачи учителем и усвоения учеником знаний 1-ой, 2-ой и 3-ей категорий равны:  $v_{1i} = d_{1i}I/T$ ,  $v_{2i} = (1 - d_{1i} - d_{3i})I/T$ ,  $v_{3i} = d_{3i}I/T$ .

В течение учебного года количество знаний ученика за соответствующий класс возрастает пропорционально времени:  $Z(t) = Z_0 + v(t - t_0)$ . При этом все остальные знания уменьшаются за счет забывания. Скорости забывания знаний первой 1-й и тре-

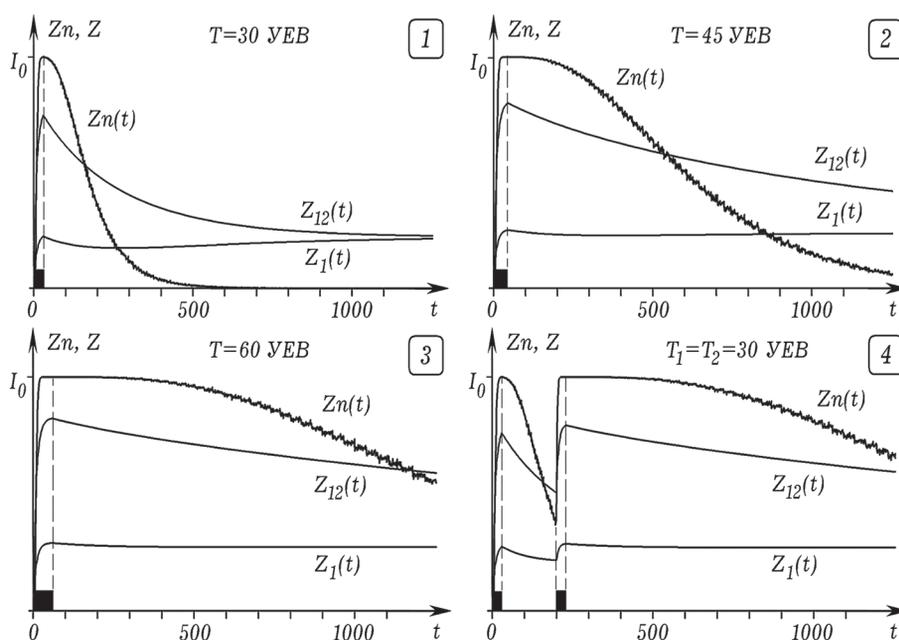


Рис. 2. Моделирование усвоения и забывания осмысленной информации

твей 3-й категорий пропорциональны их количеству. Осмысленные знания 2-ой категории уменьшаются по логистическому закону, записанному выше.

Предлагаемая математическая модель обучения имеет вид:

$$\frac{dD_i}{dt} = k\nu_{1i} - (1-k)\gamma_1 D_i,$$

$$B = T_i^0 / 100, \quad x_i^0 = 100, \quad \frac{dx_i}{dt} = -\gamma_2(100,5 - x_i)x_i,$$

$$\frac{dT_i}{dt} = k\nu_{2i} + (1-k)Bx_i(t), \quad \frac{dA_i}{dt} = k\nu_{3i} - (1-k)\gamma_3 A_i.$$

Во время обучения в  $j$ -том классе информация, усвоенная в 1, 2, ...,  $(j-1)$  классах, забывается; поэтому, если  $i = j$ , то  $k = 1$ , а иначе  $k = 0$ . Для нахождения общего количества знаний ученика  $Z(t)$  в данный момент времени  $t$  необходимо просуммировать знания  $D_i$ ,  $T_i$  и  $A_i$  по всем классам  $i = 1, 2, \dots, 11$ .

При имитационном моделировании возникает проблема удачного выбора многочисленных параметров модели. Как отмечал Р. Шеннон, многие параметры компьютерной модели часто определяются на основе предположений специалиста, анализирующего относительно небольшое количество данных [16]. При этом поведение модели должно максимально соответствовать реальной ситуации. В нашем случае параметры модели ученика ( $\gamma_1 = 5 \cdot 10^{-3}$ ,  $\gamma_2 = 7 \cdot 10^{-3}$ ,  $\gamma_3 = 10^{-4}$ ) подбирались так, чтобы получающиеся результаты соответствовали обучению школьника, который успешно (т.е. на 70–80%) справляется с учебной программой.

На рис. 3 представлены графики  $D(t)$ ,  $D(t) + T(t)$  и  $Z(t) = D(t) + T(t) + A(t)$ , показывающие зависимость количества знаний различных категорий от времени. Небольшие провалы в графиках соответствуют летним каникулам. Видно, что после окончания

школы знания 1-ой категории, используемые на практике, забываются медленно, а непрочные знания 3-ей категории — быстро. На рис. 3 также показаны графики изменения количества знаний, приобретаемых в 8 и 11 классах.

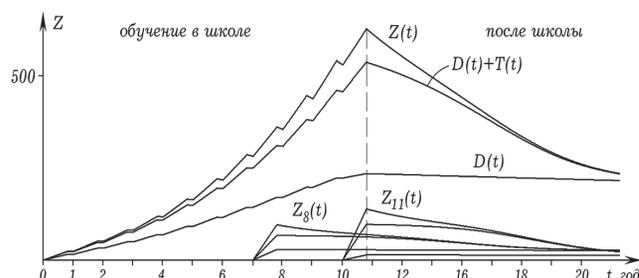


Рис. 3. Результаты моделирования обучения в 11-летней школе

## Заключение

В статье предложен подход, основанный на рассмотрении учебного материала как совокупности информационных блоков (идей, рассуждений), состоящих из отдельных ЭУМ. Предполагается, что все ЭУМ делятся на две категории: используемые и неиспользуемые учеником в дальнейшей жизни и учебной деятельности. Это позволило объяснить и промоделировать закономерности забывания осмысленной информации. После окончания обучения неиспользуемые ЭУМ быстро забываются, и ученик уже не может воспроизвести все изученные идеи, хотя помнит ЭУМ, часто применяемые в жизни. Полученные результаты позволили создать трехкомпонентную модель обучения в школе, учитывающую распределение учебной информации по классам, и получить графики зависимостей различных видов знаний школьника от времени. Дальнейшее совершенствование модели требует ее уточнения и детализации, например, учета особенностей изучения отдельных предметов и т.д.

## Литература

1. Атанов Г.А. Обучение и искусственный интеллект, или Основы современной дидактики высшей школы [Текст] / Г.А. Атанов, И.Н. Пустынникова. — Донецк: Изд-во ДООУ, 2002. — 504 с.
2. Аткинсон Р. Введение в математическую теорию обучения [Текст] / Р. Аткинсон, Г. Бауэр, Э. Кротерс. — М.: Мир, 1969. — 486 с.
3. Борисов Н.А. Организация процесса обучения на основе нечеткой модели знаний студента [Текст] / Н.А. Борисов // Вестник Нижегородского Университета им. Н.И. Лобачевского. — 2012. — № 5. — С. 262–265.
4. Буль Е.Е. Обзор моделей студента для компьютерных систем обучения [Текст] / Е.Е. Буль // Educational Technology & Society. — 2003. — № 6. — С. 245–250.
5. Буш Р. Стохастические модели обучаемости [Текст] / Р. Буш, Ф. Мостеллер. — Глазов: Физматгиз, 1962. — 484 с.
6. Зинченко Т.П. Память в экспериментальной и когнитивной психологии [Текст] / Т.П. Зинченко. — СПб.: Питер, 2002. — 320 с.
7. Ивашкин Ю.А. Мультиагентное имитационное моделирование процесса накопления знаний [Текст] / Ю.А. Ивашкин, Е.А. Назойкин // Программные продукты и системы. — 2011. — № 1. — С. 47–52.
8. Качество высшего образования [Текст] / Под ред. М.П. Карпенко. — М.: Изд-во СГУ, 2012. — 291 с.
9. Кудрявцев В.Б. Об автоматном моделировании процесса обучения [Текст] / В.Б. Кудрявцев [и др.] // Дискретная математика. — 1996. — Т. 8. — Вып. 4. — С. 3–10.
10. Леонтьев Л.П. Проблемы управления учебным процессом: математические модели [Текст] / Л.П. Леонтьев, О.Г. Гохман. — Рига, 1984. — 239 с.

11. Майер Р.В. Кибернетическая педагогика: имитационное моделирование процесса обучения [Текст] / Р.В. Майер. — Глазов: Глазов. гос. пед. ин-т, 2014. — 141 с.
12. Петров Ю.И. Некоторые подходы к моделированию обучаемого [Текст] / Ю.И. Петров // Информационные технологии и проблемы математического моделирования сложных систем. — Вып. 7. — Иркутск: Изд-во ИИТМ ИргУПС, 2009. — С. 176–185.
13. Плотинский Ю.М. Модели социальных процессов [Текст]: учеб. пособие для высших учебных заведений / Ю.М. Плотинский. — М.: Логос, 2001. — 296 с.
14. Свиридов А.П. Статистическая теория обучения [Текст]: монография / А.П. Свиридов. — М. Изд-во РСГУ, 2009. — 570 с.
15. Gibson D., Jakl P. Data challenges of leveraging a simulation to assess learning. West Lake Village, CA. 2013. URL: [http://www.curveshift.com/images/Gibson\\_Jakl\\_data\\_challenges.pdf](http://www.curveshift.com/images/Gibson_Jakl_data_challenges.pdf)
16. Shannon R.E. Systems simulation: the art and science. Prentice-Hall. 1975. 387 p.

## References

1. Atanov G.A., Pustynnikova I.N. *Obuchenie i iskusstvennyy intellekt, ili Osnovy sovremennoy didaktiki vysshey shkoly* [Training and artificial intelligence, or the foundations of modern didactics of higher education]. Donetsk, DOU Publ., 2002. 504 p.
2. Atkinson R. *Vvedenie v matematicheskuyu teoriyu obucheniya* [Introduction to the mathematical theory of learning]. Moscow, Mir Publ., 1969. 486 p.
3. Borisov N.A. Organizatsiya protsessa obucheniya na osnove nechetkoy modeli znaniy studenta [Organization of the learning process on the basis of the fuzzy model of the student's knowledge]. *Vestnik Nizhegorodskogo Universiteta im. N.I. Lobachevskogo* [Bulletin of the Nizhny Novgorod University. N.I. Lobachevsky]. 2012, I. 5 (2), pp. 262–265.
4. Bul' E.E. Obzor modeley studenta dlya komp'yuternykh sistem obucheniya [A review of student models for computer-based learning systems]. *Educational Technology & Society* [Educational Technology & Society]. 2003, I. 6(4), pp. 245–250.
5. Bush R., Mosteller F. *Stokhasticheskie modeli obuchaemosti* [Stochastic models of learning]. Fizmatgiz Publ., 1962. 484 p.
6. Zinchenko T.P. *Pamyat' v eksperimental'noy i kognitivnoy psikhologii* [Memory in experimental and cognitive psychology]. St. Petersburg, Piter Publ., 2002. 320 p.
7. Ivashkin Yu.A., Nazoykin E.A. Mul'tiagentnoe imitatsionnoe modelirovanie protsessa nakopleniya znaniy [Multiagent simulation simulation of the process of knowledge accumulation]. *Programmnye produkty i sistemy* [Software products and systems]. 2011, I. 1, pp. 47–52.
8. *Kachestvo vysshego obrazovaniya* [The quality of higher education]. Moscow, SGU Publ., 2012. 291 p.
9. Kudryavtsev V.B., Vashik K., Strogalov A.S., Aliseychik P.A., Peretrukhin V.V. Ob avtomatnom modelirovanii protsessa obucheniya [On automaton modeling of learning process]. *Diskretnaya matematika* [Discrete mathematics]. 1996, V. 8, I. 4, pp. 3–10.
10. Leont'ev L.P., Gokhman O.G. *Problemy upravleniya uchebnym protsessom: matematicheskie modeli* [Problems of management of educational process: mathematical models]. Riga, 1984. 239 p.
11. Mayer R.V. *Kiberneticheskaya pedagogika: Imitatsionnoe modelirovanie protsessa obucheniya* [Cybernetic pedagogy: Simulation modeling of the learning process]. Glazov: Glazov.gos. ped. in-t Publ., 2014. 141 p.
12. Petrov Yu.I. Nekotorye podkhody k modelirovaniyu obuchaemogo [Some approaches to modeling the trainee]. *Informatsionnye tekhnologii i problemy matematicheskogo modelirovaniya slozhnykh sistem* [Information technologies and problems of mathematical modeling of complex systems]. Irkutsk, IITM IrGUPS Publ., 2009, I. 7, pp. 176–185.
13. Plotinskiy Yu.M. *Modeli sotsial'nykh protsessov* [Models of social processes]. Moscow, Logos Publ., 2001. 296 p.
14. Sviridov A.P. *Statisticheskaya teoriya obucheniya* [Statistical theory of learning]. Moscow, RSGU Publ., 2009. 570 p.
15. Gibson D., Jakl P. Data challenges of leveraging a simulation to assess learning. West Lake Village, CA. 2013. Retrieved from [http://www.curveshift.com/images/Gibson\\_Jakl\\_data\\_challenges.pdf](http://www.curveshift.com/images/Gibson_Jakl_data_challenges.pdf)
16. Shannon R. E. Systems simulation: the art and science. Prentice-Hall. 1975. 387 p.