ISSN 2304-120X
КОНЦЕПТ
научно-методический электронный журнал

Майер Р. В. Имитационное моделирование изучения студентами вузовского курса, учитывающее психологические закономерности усвоения и забывания // Концепт. – 2015. – № 12 (декабрь). – ART 15430. – 0,3 п. л. – URL: http://e-koncept.ru/2015/15430.htm. – ISSN 2304-120X.

ART 15430 **УДК 37.02:004.94**

Майер Роберт Валерьевич,
доктор педагогических наук, доцент, профессор кафедры физики и дидактики физики ФГБОУ ВПО «Глазовский государственный педагогический институт», г. Глазов
robert_maier@mail.ru

Имитационное моделирование изучения студентами вузовского курса, учитывающее психологические закономерности усвоения и забывания

Аннотация. *Рассматривается метод имитационного моделирования изучения студентом некоторой гипотетической дисциплины, рассчитанной на 15 недель и заканчивающейся экзаменом. На основе фундаментальных психолого-педагогических закономерностей обучения построена математическая многокомпонентная модель обучения, учитывающая: 1) деление всех знаний студента по прочности запоминания на три категории; 2) длительность занятий и промежутков между ними; 3) распределение учебной информации по темам и по времени; 4) сложность учебного материала; 5) повторное изучение отдельных тем во время подготовки к зачету или экзамену; 6) степень использования учебного материала предыдущих тем при изучении текущей темы. Проанализированы результаты моделирования.*
Ключевые слова: *дидактика, учебник физики, педагогическая экспертиза, контент-анализ, сложность системы, сложность текста.*
Раздел: *(01) педагогика; история педагогики и образования; теория и методика обучения и воспитания (по предметным областям).*

В настоящее время для изучения дидактических систем наряду с качественным моделированием [1] часто применяют методы математического и компьютерного моделирования [2–4]. При этом используют как непрерывные модели, основанные на численном решении системы дифференциальных уравнений [5, 6], так и дискретные модели, в которых обучаемый моделируется вероятностным автоматом [7]. Построение математических и компьютерных моделей обучения должно происходить в соответствии с психологическими закономерностями мыслительной деятельности человека [8] и основными положениями теории обучения [9–11]. Возможность использования математических и компьютерных (имитационных) моделей обучения обусловлена тем, что многие величины, характеризующие состояние системы «преподаватель-студент» (уровень требований L преподавателя, количество знаний Z студента), поддаются измерению. Например, для определения количества учебной информации может быть подсчитано количество понятий и связей между ними [12]. Это позволяет решить основную задачу имитационного моделирования дидактических систем, то есть ответить на вопрос: как, зная параметры обучаемых, характеристики используемых методов и учебную программу (распределение учебной информации), определить количество знаний студентов на любом этапе обучения?

При моделировании обучения следует учитывать психолого-педагогические закономерности дидактического процесса [13]. Перечислим некоторые из них: 1) наиболее прочно усваиваются те элементы учебного материала (ЭУМ), которые включены в учебную деятельность; 2) мотивация обучения и скорость увеличения знаний пропорциональны разности между требующимся уровнем и имеющимся количеством знаний; 3) результат обучения зависит от сложности материала и применяемых мето-

дов; 4) забывание происходит по экспоненциальному закону. Предлагаемая многокомпонентная модель обучения основывается на следующих утверждениях: 1) все знания Z студента делятся на три категории: непрочные знания Z_1, знания Z_2 средней прочности (умения), прочные знания Z_3 (навыки); 2) скорость увеличения непрочных знаний пропорциональна разности между уровнем требований L преподавателя и суммарными знаниями Z студента и равна $\alpha(L-Z)$; 3) при обучении за время dt количество $\alpha_1 Z_1 dt$ знаний первой категории превращается в знания второй категории, а количество $\alpha_2 Z_2 dt$ знаний второй категории превращается в знания третьей категории; 4) при отсутствии обучения за время dt количество $\gamma_3 Z_3 dt$ знаний третьей категории превращается в знания второй категории, а количество $\gamma_2 Z_2 dt$ знаний второй категории – в знания первой категории; количество $\gamma_1 Z_1 dt$ знаний первой категории забывается. При этом непрочные знания первой категории забываются быстрее прочных знаний, их коэффициент забывания выше: $\gamma_1 > \gamma_2 > \gamma_3$.

$$Z=\begin{pmatrix} Z_1^1 & Z_1^2 & \dots & Z_1^{15} \\ Z_2^1 & Z_2^2 & \dots & Z_2^{15} \\ Z_3^1 & Z_3^2 & \dots & Z_3^{15} \end{pmatrix} \quad (1) \qquad E=\begin{pmatrix} 1 & 0{,}3 & 0{,}3 & 0{,}3 & \dots & 0{,}03 \\ 0 & 1 & 0{,}3 & 0{,}3 & \dots & 0{,}03 \\ 0 & 0 & 1 & 0{,}3 & \dots & 0{,}03 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & \dots & 0{,}03 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 1 \end{pmatrix} \quad (2)$$

```
1  6   1
0 162  1
2  6   1
0 162  1
3  6   1
0 162  1
4  6   1
0  79  1
1  0.7 2
2  0.8 2
3  0.7 2
```

(3)

```
4  0.8 2
0  80  1
5  6   1
0 162  1
6  6   1
0 162  1
7  6   1
0 162  1
8  6   1
.............
```

Рис. 1. Матрица знаний Z. Матрица повторения E. Формат входного файла

Если дисциплина состоит из 15 лекций или тем, то состояние студента определяется матрицей знаний Z размером 3×15, состоящей из 45 элементов (рис. 1.1); верхний индекс каждого элемента означает номер темы $i=$ 1, 2, …, 15, а нижний – категорию знаний (1, 2 или 3). Для имитационного моделирования обучения необходимо создать компьютерную программу, которая: 1) считывает распределение учебной информации, длительность занятий и перерывов из текстового файла; 2) учитывает повторение при подготовке к экзамену и контрольным работам; 3) учитывает, что при изучении данной темы используется некоторая часть информации из предыдущих тем; 4) определяет количество прочных и непрочных знаний в последовательные моменты времени по каждой теме. На рис. 1.2 представлена матрица E, элементами которой являются коэффициенты повторения (или связи) $e_{i,j}$, характеризующие степень использования учебного материала i-й темы при изучении j-й темы. Получающаяся трехкомпонентная модель обучения выражается системой дифференциальных уравнений (при обучении $k=e_{i,j}$, во время перерыва $k=0$):

$$dZ_1^i/dt=k(\alpha(L^i-Z^i)-\alpha_1 Z_1^i)-\gamma_1 Z_1^i+\gamma_2 Z_2^i,\ dZ_2^i/dt=k(\alpha_1 Z_1^i-\alpha_2 Z_2^i)-\gamma_2 Z_2^i+\gamma_3 Z_3^i,$$
$$dZ_3^i/dt=k\alpha_2 Z_2^i-\gamma_3 Z_3^i,\ Z^i=Z_1^i+Z_2^i+Z_3^i,\ i,j=1,2,...,15,$$

где i, j – номер изучаемой темы. Коэффициенты усвоения и забывания заданы так: $\alpha=0{,}3\cdot(1-S^i)$, $\alpha_1=\alpha/e$, $\alpha_2=\alpha_1/e$, $\gamma_1=0{,}0015$, $\gamma_2=\gamma_1/e$, $\gamma_3=\gamma_2/e$, где S^i – сложность i-й темы из интервала [0; 1], $e=2{,}72...$ Если сложность темы $S^i=1$, то студент не сможет ее освоить ($\alpha=0$). Количество знаний студентов Z и уровень требований

преподавателя L пропорциональны числу изученных или изучаемых элементов учебного материала (ЭУМ): понятий, элементарных суждений или математических формул. Все коэффициенты подобраны так, чтобы результаты моделирования соответствовали педагогической практике [14, 15].

Для моделирования используется программа 1. Она считывает из каждой l-й строки входного файла vhod.txt (рис. 1.3) номер темы $no\,[l]$ (столбец 1), $VR\,[l]$ – продолжительность l-го интервала времени в часах (столбец 2), индикатор повторного изучения данной темы $P\,[l]$ (столбец 3). Если $no\,[l]=0$, то в l-й интервал времени обучения не происходит. При $P\,[l]=2$ соответствующая тема $i=no\,[l]$ изучается повторно, коэффициент усвоения α в полтора раза больше. Программа содержит цикл по времени t, в котором методом Эйлера рассчитывает количество знаний первой, второй и третьей категорий по всем 15 темам Z_k^i и общее количество знаний Z^i в последовательные моменты времени. Уровень требований L^i преподавателя и сложность S^i по каждой теме задаются в начале программы. Промоделируем несколько ситуаций.

Программа 1. (Free Pascal)

```
{$N+}Uses crt, graph; const Np=74; dt=0.02; Mt=0.2; Mz=3; c=2.72; gZ=7E-4;
gU=gZ/c; gN=gU/c; L: array[1..15]of integer=(10,11,10,12,12,11,12,13,11,12,
12,13,12,13,12); S:array[1..15] of integer=(1,2,3,2,4,2,3,3,4,3,3,3,4,3,3);
var V:text; i,j,j1,DV,MV,x,mm,Sm: integer; no,P:array[0..75]of integer; VR:
array[0..75]of single; Zn,Z,U,N:array[0..20]of single; e:array[0..15,0..15]
of single; a,k,t,tt,LL,b,bb,ZZ,NN,UU,Tm1: single;
BEGIN DV:=Detect; InitGraph(DV,MV,''); Assign(V,'C:\vhod.txt'); Reset(V);
For j:=1 to Np do Readln(V,no[j],VR[j],P[j]); For j:=0 to 15 do For i:=0
to j do begin If i>j-5 then e[i,j]:=0.3 else e[i,j]:=0.4/j; e[j,j]:=1; end;
Repeat t:=t+dt; j:=0; tt:=t; Repeat inc(j); tt:=tt-VR[j]; until tt<0;
For i:=1 to 15 do begin a:=0.4*(1-S[i]/10); If p[j]=2 then a:=0.6*(1-
S[no[j]]/10); b:=a/3; bb:=a/3; k:=e[i,no[j]]; Z[i]:=Z[i]+k*(a*(L[i]-Zn[i])
-b*Z[i])*dt-gZ*Z[i]*dt; U[i]:=U[i]+k*(b*Z[i]-bb*U[i])*dt-gU*U[i]*dt;
N[i]:=N[i]+k*bb*U[i]*dt-gN*N[i]*dt; Zn[i]:=Z[i]+N[i]+U[i]; end; ZZ:=0;
NN:=0; UU:=0; x:=11; For i:=1 to 15 do begin ZZ:=ZZ+Z[i]; UU:=UU+U[i];
NN:=NN+N[i]; end; circle(10+round(Mt*t),500-round(Mz*Zn[x]),1); circle(10
+round(Mt*t),500-round(Mz*(U[x]+N[x])),1); circle(10+round(Mt*t),500-round
(Mz*(N[x])),1); circle(10+round(Mt*t),500-round(Mz*(NN)),1); circle(10+
round(Mt*t),500-round(Mz*(NN+ZZ+UU)),1); circle(10+round(Mt*t),500-round(
Mz*(NN+UU)),1); until (Keypressed)or(j>Np-1)or(t>25*24*7); CloseGraph; END.
```

Ситуация 1. На изучение некоторой гипотетической дисциплины в течение семестра длительностью 15 недель = 105 дней отводится 90 астрономических часов (по 6 часов в неделю), включая работу в аудитории и выполнение домашнего задания. В течение недели (168 часов) студент 6 часов учится и 162 часа отдыхает или занимается другими предметами, затем снова 6 часов изучает данный курс, 162 часа отдыхает и т. д. Курс состоит из 15 тем, каждую неделю изучается новая тема. Уровень требований преподавателя и сложность тем задаются матрицами: L^i ={10, 11, 10, 12, 12, 11, 12, 13, 11, 12, 12, 13, 12, 13, 12} и S^i ={0,1; 0,2; 0,3; 0,2; 0,4; 0,2; 0,3; 0,3; 0,4; 0,3; 0,3; 0,3; 0,4; 0,3; 0,3}. После четвертой, восьмой и двенадцатой недель организуются контрольные работы по 1, 2, 3 и 4-й темам, 5, 6, 7 и 8-й темам, 9, 10, 11 и 12-й темам соответственно. В конце курса ($t=15$ нед.) проводится экзамен по всем 15 темам. Во время подготовки к контрольной работе студент повторяет последние 4 темы, затрачивая на каждую по 0,7–0,8 часа (см. рис. 1.3). При подготовке к экзамену студент повторяет все 15 тем и затрачивает на каждую тему по 1 часу. В первый день подготовки студент занимается 8 часов, а на следующий день (после 16-часового перерыва) занимается 7 часов. После экзамена студент частично забывает изученный материал.

Для учета использования предыдущего материала используется треугольная матрица E, ее элементы $e_{i,j}$ в правом верхнем углу могут быть заданы так: если $j-5<i<j$, то $e_{i,i}=0{,}3$, иначе $e_{i,i}=0{,}4/j$. Получающиеся результаты имитационного моделирования изучения курса представлены на рис. 2 и 3. Из рис. 3.1 видно, что в течение семестра суммарное количество знаний студента Z (и по отдельности Z_1, Z_2 и Z_3) во время занятий резко возрастает, а в промежутках между занятиями уменьшается из-за забывания. При подготовке студента к зачетным мероприятиям (треугольные метки) и экзамену (круглая метка) количество знаний Z_1, Z_2 и Z_3 также резко увеличивается. После экзамена уровень знаний понижается из-за забывания. На рис. 3.1 также показаны графики $Z^9(t)$, $Z_{23}^9(t)=Z_2^9(t)+Z_3^9(t)$ и $Z_3^9(t)$ для девятой темы.

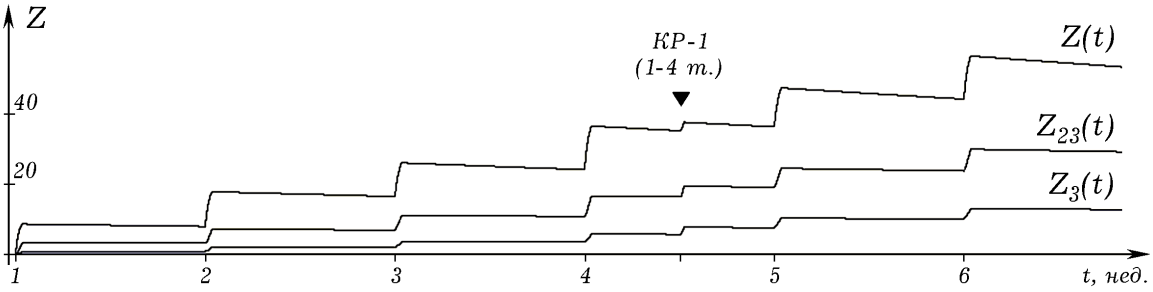

Рис. 2. Результаты моделирования: ситуация 1 (недели 1–6)

Модель позволяет рассчитать значения Z_1^i, Z_2^i и Z_3^i, соответствующие i-й теме для любого t, и построить соответствующие распределения, например, для моментов $t=$ 9 и $t=$ 15 недель (см. рис. 3.2 и 3.3). Видно, что при $t=$ 9 недель студент усвоил только первые 9 тем (темы 10–15 он не изучал), причем доля прочных знаний, соответствующих темам 1–5, выше, чем для тем 6–9. Это вызвано тем, что при изучении текущей темы студент частично повторяет предыдущий материал и доля прочных знаний повышается. В момент $t=15$ недель студент овладел уже всем материалом, причем доля прочных знаний для тем 1–9 выше, чем для тем 10–15. Во всех случаях уровень знаний студента Z^i ниже уровня требований преподавателя L^i ($i=1,2,...,15$).

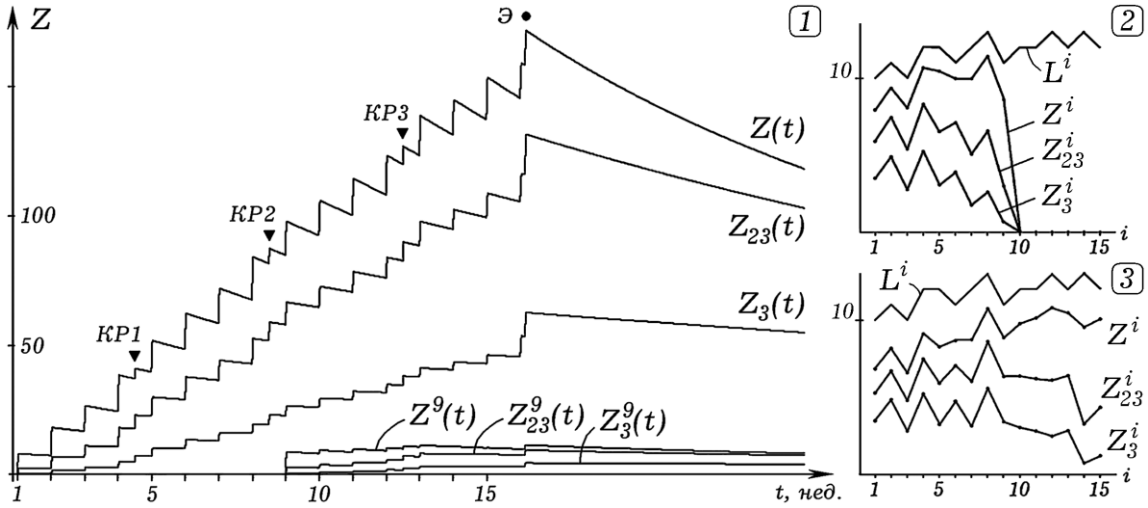

Рис. 3. Результаты моделирования изучения курса (ситуация 1)

Ситуация 2. Допустим следующее: 1) студент изучает дисциплину без подготовки к контрольным работам и экзамену; 2) сложность материала и уровень требований на каждом занятии одинаковы и равны $S = 0{,}2$ и $L = 10$ ЭУМ; 3) темы не связаны между собой: изучая j-ю тему, студент совершенно не использует материал из предыдущих тем ($e_{i,i} = 1$, остальные – 0). Результаты моделирования представлены на рис. 4.1 и 4.2. Количество знаний Z_1^i, Z_2^i и Z_3^i ученика к концу обучения ($t =$ 15 недель) с ростом номера темы i монотонно возрастает, оставаясь меньше L. Это объясняется тем, что вопросы, изученные в начале семестра, если их не повторять, забываются (рис. 4.2).

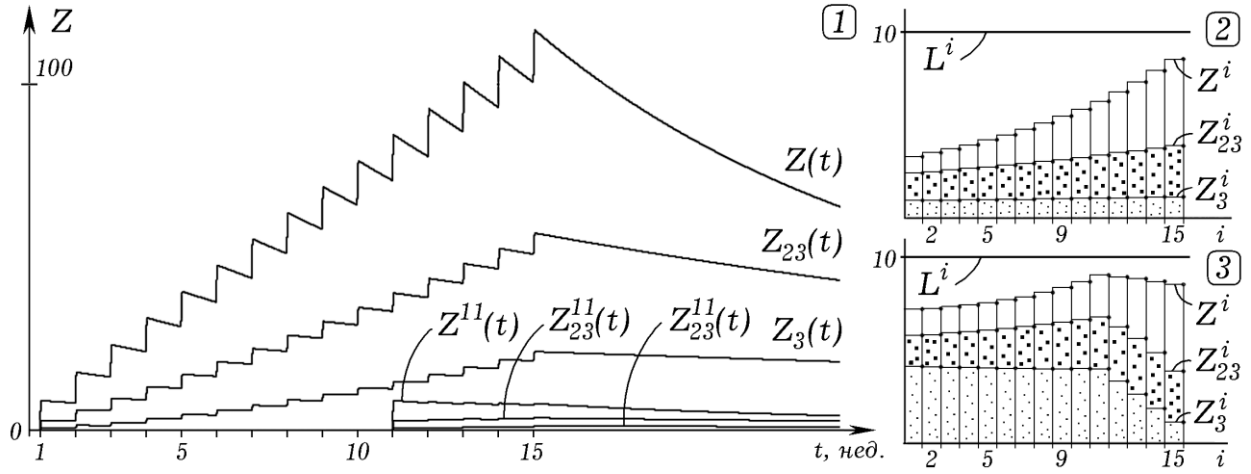

Рис. 4. Результаты моделирования изучения курса (ситуации 2 и 3)

Ситуация 3. Студент при изучении текущей темы повторяет материал из предыдущих тем; матрица E задается так же, как в ситуации 1. Контрольные работы и экзамен отсутствуют, для всех тем $S = 0{,}2$ и $L = 10$ ЭУМ. Получающееся распределение знаний студента Z_k^i по темам в момент $t = 15$ недель представлено на рис. 4.3. Видно, что при $i < 11$ количество усвоенных знаний Z_1^i, Z_2^i и Z_3^i возрастает, а при $i > 11$ – убывает при увеличении i. Эти объясняется следующим: 1) чем раньше изучена тема, тем в большей степени она забывается к концу обучения; 2) при изучении j-й темы студент повторяет материал предыдущих четырех тем $(j-4)$, $(j-3)$, $(j-2)$, $(j-1)$ с коэффициентом повторения $e_{i,j} = 0{,}3$.

Итак, на основе психологических закономерностей усвоения и забывания [16, 17] предложена имитационная модель обучения, которая учитывает: 1) деление всех знаний студента по прочности запоминания на три категории; 2) длительность занятий и промежутков между ними; 3) распределение учебной информации (уровня требований) по темам; 4) сложность учебного материала; 5) повторное изучение отдельных тем во время подготовки к зачету или экзамену; 6) степень использования учебного материала i-й темы при изучении j-й темы. Установлено, что подобные модели позволяют отследить изменение различных видов знаний студента по различным категориям и темам.

Ссылки на источники

1. Ядровская М. В. Модели в педагогике // Вестник Томского государственного университета. – 2013. – № 366. – С. 139–143.

2. Имаев Д. Х., Котова Е. Е. Моделирование и имитация процесса обучения с разделением дидактических ресурсов: динамический подход. – СПб.: Изд-во СПбГЭТУ ЛЭТИ, 2014. – 111 с.
3. Майер Р. В. Изучение дидактических систем методом имитационного моделирования на компьютере // Теоретические и практические аспекты психологии и педагогики: коллективная монография. – Уфа: Аэтерна, 2015. – С. 51–70.
4. Майер Р. В. Кибернетическая педагогика: имитационное моделирование процесса обучения. – Глазов: Глазов. гос. пед. ин-т, 2014. – 141 с.
5. Имаев Д. Х., Котова Е. Е. Указ. соч.
6. Майер Р. В. Кибернетическая педагогика: имитационное моделирование … С. 53–73.
7. Там же. – С. 26–48.
8. Рубинштейн С. Л. Основы общей психологии. – СПб.: Питер, 2008. – С. 273–294.
9. Гребенюк О. С., Гребенюк Т. Б. Теория обучения: учеб. для студ. высш. учеб. завед. – М.: Изд-во ВЛАДОС-ПРЕСС, 2003. – 384 с.
10. Кроль В. М. Психология и педагогика: учеб. пособие для техн. вузов. – М.: Высш. шк., 2001. – 319 с.
11. Педагогика: учеб. / Л. П. Крившенко и др.; под ред. Л. П. Крившенко. – М.: Т.К. Велби: Изд-во Проспект, 2008. – 432 с.
12. Карпенко М. П. Телеобучение. – М.: СГА, 2008. – 800 с.
13. Педагогика: учеб. – С. 248–251.
14. Майер Р. В. Изучение дидактических систем …
15. Майер Р. В. Кибернетическая педагогика: имитационное моделирование …
16. Педагогика: учеб.
17. Рубинштейн С. Л. Указ. соч.

***Robert Mayer**,*
Doctor of Pedagogic Sciences, Professor at the chair of Physics and Didactic of Physics, Glazov Korolenko State Pedagogical Institute, Glazov
robert_maier@mail.ru

Imitating modeling of studying by students of a high school course, considering psychological regularities of assimilation and forgetting

Abstract. In the paper the method of imitating modeling of studying by the student of some hypothetical discipline which is calculating on 15 weeks and coming to an end with examination is considered. On the basis of fundamental psychology and pedagogical regularities of learning the mathematical multicomponent model of training is constructed. It is taking into account: 1) the division of the student's knowledge in dependence of the memory strength into three categories; 2) the duration of lessons and intervals between them; 3) the distribution of educational information on themes and on time; 4) complexity of the training material; 5) repeated studying of some themes during preparation for the test or examination; 6) the degree of the using of educational material of the previous themes when studying the current theme. The result of modelling are represented.

Key words: computer modeling, didactics, didactic system, education, learning, student, teacher, theory of training.

References

1. Jadrovskaja, M. V. (2013). “Modeli v pedagogike”, *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta*, № 366, pp. 139–143 (in Russian).
2. Imaev, D. H. & Kotova, E. E. (2014). *Modelirovanie i imitacija processa obuchenija s razdeleniem didakticheskih resursov: dinamicheskij podhod*, Izd-vo SPbGJeTU LJeTI, St. Petersburg, 111 p. (in Russian).
3. Majer, R. V. (2015). “Izuchenie didakticheskih sistem metodom imitacionnogo modelirovanija na komp'jutere”, *Teoreticheskie i prakticheskie aspekty psihologii i pedagogiki: kollektivnaja monografija*, Ajeterna, Ufa, pp. 51–70 (in Russian).
4. Majer, R. V. (2014). *Kiberneticheskaja pedagogika: imitacionnoe modelirovanie processa obuchenija,* Glazov. gos. ped. in-t, Glazov, 141 p. (in Russian).
5. Imaev, D. H. & Kotova, E. E. (2014). Op. cit.
6. Majer, R. V. (2014). Op. cit., pp. 53–73.
7. Ibid., pp. 26–48.
8. Rubinshtejn, S. L. (2008). *Osnovy obshhej psihologii*, Piter, St. Petersburg, pp. 273–294 (in Russian).
9. Grebenjuk, O. S. & Grebenjuk, T. B. (2003). *Teorija obuchenija: ucheb. dlja stud. vyssh. ucheb. zaved.,* Izd-vo VLADOS-PRESS, Moscow, 384 p. (in Russian).
10. Krol', V. M. (2001). *Psihologija i pedagogika: ucheb. posobie dlja tehn. vuzov*, Vyssh. shk., Moscow, 319 p. (in Russian).
11. Krivshenko, L. P. et al. (2008). *Pedagogika: ucheb.,* T.K. Velbi, Izd-vo Prospekt, Moscow, 432 p. (in Russian).

12. Karpenko, M. P. (2008). *Teleobuchenie*, SGA, Moscow, 800 p.
13. Krivshenko, L. P. et al. (2008). Op. cit., pp. 248–251.
14. Majer, R. V. (2015). Op. cit.
15. Majer, R. V. (2014). Op. cit.
16. Krivshenko, L. P. et al. (2008). Op. cit.
17. Rubinshtejn, S. L. (2008). Op. cit.

Рекомендовано к публикации:
Некрасовой Г. Н., доктором педагогических наук,
членом редакционной коллегии журнала «Концепт»

ISSN 2304-120X
www.e-koncept.ru

Поступила в редакцию *Received*	28.10.15	Получена положительная рецензия *Received a positive review*	30.10.15
Принята к публикации *Accepted for publication*	30.10.15	Опубликована *Published*	30.12.15

© Концепт, научно-методический электронный журнал, 2015
© Майер Р. В., 2015