

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ПСИХОЛОГИИ

УДК 37.02

DOI: 10.12737/2587-912X-2019-3-8

Мозг ученика как декодер с возрастающей пропускной способностью: результаты имитационного моделирования

The Student's Brain As Decoder with Increasing Bandwidth: the Simulation Modeling Results

Получено: 12.09.2019 г. / Одобрено: 20.09.2019 г. / Опубликовано: 25.12.2019 г.

Майер Р.В.

Д-р пед. наук, доцент, заслуженный деятель науки Удмуртской республики, профессор кафедры физики и дидактики физики, ФГБОУ ВО «Глазовский государственный педагогический институт имени В.Г. Короленко», Россия, 427621, Глазов, ул. Первомайская, д. 25, e-mail: robert_maier@mail.ru

Mayer R.V.

Doctor of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Honored Scientist of Udmurt Republic, Professor, Department of Physics and Didactic of Physics, Glazov Korolenko State Pedagogical Institute, 25, Pervomayskaya St., Glazov, 427621, Russia, e-mail: robert_maier@mail.ru

Аннотация. Современная теория обучения использует различные метафоры и аналогии, объясняющие особенности учебного процесса. Статья посвящена анализу и дальнейшему развитию метафор «человек – канал связи» и «мозг – декодер сообщений», широко используемых в дидактике и когнитивной психологии. В ней обсуждается принципиальная возможность оценки семантической сложности учебного текста (или устного сообщения) и построения его сложностного профиля. Для этого анализируемый текст разбивается на элементарные фразы, выражающие простые мысли. Семантическая сложность фразы относительно некоторого тезауруса считается равной количеству слов, которое требуется произнести, чтобы объяснить ее суть ученику с данным тезаурусом. Оценив сложность каждой фразы, можно построить сложностный профиль текста – график зависимости вероятности наличия фразы в тексте от ее сложности. Введены понятия: «коэффициент передачи декодера мозга», «объемный и информационный коэффициенты понимания». Методами математического моделирования показано, как результат обучения зависит от сложностного профиля учебного материала и пропускной способности «декодера мозга» ученика. С ростом обученности ученика происходит увеличение объемного и информационного коэффициентов понимания. Также построена компьютерная модель, моделирующая процесс обучения. При этом учитывается, что: 1) учитель и ученик образуют информационную семантическую систему, а обучение сводится к восприятию (прослушиванию или чтению) последовательности текстов возрастающей сложности; 2) по мере усвоения более сложных идей (фраз) у ученика возрастает пропускная способность канала связи за счет зоны «ближайшего развития»; 3) чем больше сложность понятий идей, тем выше их скорость забывания. Результаты моделирования показывают, что рассматриваемая метафора и предлагаемые модели действительно позволяют объяснить, как происходит обучение.

Ключевые слова: декодирование, информативность, метафора, моделирование, обучение, память, сложность, учебный текст.

Abstract. Modern theory of learning uses various metaphors and analogies that explain the educational process features. The article is devoted to the analysis and further development of metaphors «man – communication channel» and «brain – message decoder» widely used in didactics and cognitive psychology. It discusses the possibility of semantic complexity assessing of the educational text or oral message and building its complexity profile. For this, the analyzed text is divided into elementary phrases expressing simple thoughts. The semantic complexity of phrase relative to certain thesaurus is considered to be equal to the number of words that need to be spoken to explain it to the student with the given thesaurus. Assessing the complexity of each phrase, you can create complex text profile – graph of dependence of the phrase presence probability in the text from its complexity. The concepts «transmission coefficient of the brain decoder», «volume and information understanding coefficients» are introduced. The mathematical modeling methods show how the learning result depends on the complexity profile of the educational material and the capacity of the student's «decoder brain». With the growth of student's knowledge an increase of the volume and information understanding coefficients occurs. The computer model simulating the learning process is built. It is taken into account that: 1) the teacher and the student form an information semantic system, and the training is reduced to the perception (listening or reading) of the increasing complexity texts sequence; 2) as the student learns more complex ideas (phrases), the message decoder capacity increases because of the «near development zone»; 3) the greater the complexity of the acquired ideas (phrases), the higher the rate of forgetting. The simulation results show that the explained metaphor and the proposed models really allow to explain how the training takes place.

Keywords: decoding, informative value, metaphor, modeling, training, memory, complexity, educational text.

Введение

Метафорический перенос, как и умозаключения по аналогии, широко используются в науке. Метафоры полезны тем, что устанавливают связь между более

разработанной областью знаний (источником), из которой заимствуются термины (коды, символы), и семантически бедной областью знаний (целью) [9]. При этом происходит естественный отбор: наи-

более удачные научные метафоры со временем становятся привычными, приобретая устойчивые формы. Метафоризация является интеллектуальной операцией, важной метапроцедурой мышления любого человека [12]. Различные модели-метафоры позволяют лучше понять сущность изучаемых процессов, поэтому создание и совершенствование новых метафор, объясняющих функционирование дидактической системы — актуальная проблема теории обучения.

Перечислим некоторые метафоры, используемые в когнитивной психологии и дидактике: 1) компьютерная метафора, в которой мыслительная деятельность человека сопоставляется с информационными процессами в ЭВМ; 2) метафора «мозг — нейросеть»: мышление человека моделируется работой сложной искусственной нейросети (персептрона, когнитрона, неокогнитрона); 3) метафора «матрешечная организация знаний», учитывающая, что знания рекурсивны, состоят из вложенных друг в друга презентаций и могут быть представлены на уровне глубинных структур, допускающих алгоритмическое описание; 4) метафора «обучение — технология» [9]; 5) метафора «обучение — поиск» [9]; 6) метафора «учитель и ученик — информационная система типа: источник → канала связи → приемник»; 7) метафора «мозг — декодер сообщений» или «мозг — канал связи между органами чувств и памятью ученика».

Цель работы состоит в развитии и углублении метафоры «мозг — декодер сообщений» или «мозг — канал связи», определении понятия «сложностный профиль сообщения» (текста), создании математической модели понимания учеником сообщения учителя и компьютерной модели обучения, учитывающей увеличение пропускной способности «декодера мозга» ученика. Эта метафора опирается на когнитивные модели переработки информации мозгом [6], которые создали Д. Бродбент, Э. Трейсмэн, А. Дойч, Д. Дойч, Д. Норман в 1958–1968 гг. Методологической основой являются работы М.В. Кларина [9], Н.А. Мишанкиной [12] (метафоры и их виды), Н.Д. Андреева [1], Н.С. Валгиной [2] (теория текста), Б.М. Величковского [3], Э.Г. Гельфмана, М.А. Холодной [4], В.И. Загвязинского [7], Т.П. Зинченко [8] (когнитивная психология и дидактика), Ю.Б. Дормашева, В.Я. Романова [6] (психология внимания), О.Я. Гойхмана и Т.М. Надеиной [5] (речевая коммуникация), И.П. Кузнецова [11] (обработка семантической информации). Для изучения дидактических систем применяются методы качественного, математического и имитационного (компьютерного) моделирования [13; 14].

Обсуждение

Особый интерес с точки зрения дидактики представляет собой изучение понимания учеником отдельных предложений и учебного текста (УТ) или устного сообщения в целом в результате семантического декодирования поступающей информации в речевой или письменной форме. Б.М. Величковский в [3] отмечает, что понимание отдельных слов и фраз — необходимое, но не достаточное условие понимания текста в целом; мозговое декодирование речевого сообщения включает в себя расшифровку глубинного смысла сообщения. Цель ученика, работающего с УТ, — расшифровать смысл всего текстового сообщения. Обычно автор УТ не использует намеков, иносказаний, а явно сообщает необходимые знания так, чтобы ученик не испытывал трудности понимания. Работа с правильно составленным УТ не требует большого напряжения от ученика, так как вся важная информация содержится в предложениях явно (эксплицитно). В этом случае понимание всего текста зависит от понимания отдельных фраз, а сложность УТ приблизительно равна сумме их сложностей.

Часто дидактическую систему представляют в виде: учитель (источник информации) — канал связи — ученик (приемник информации). Учитель генерирует семантическую информацию, ученик пытается ее декодировать. При этом обычно под каналом связи понимают среду и различные приспособления, передающие информацию от учителя к ученику: воздух, обеспечивающий распространение звука, учебник, доска, экран, компьютер и т.д. Предполагается, что все воспринятое органами чувств ученик правильно понимает и усваивает.

Другой подход состоит в мысленной замене самого ученика информационной системой, состоящей из органов чувств, «мозгового декодера» и памяти. Учитель излагает учебный материал, ученик воспринимает его с помощью органов чувств и, осуществив семантическое декодирование, понимает и усваивает. Будем считать, что учитель правильно выговаривает звуки, говорит с обычной скоростью так, что ученик безошибочно воспринимает все его слова. При этом результат понимания и запоминания сообщаемой информации сильно зависит от способности ученика декодировать получаемое сообщение, встраивать его в систему своих понятий. Когнитивному декодированию (пониманию) поддаются не все предложения. Пропускная способность «декодера мозга» зависит от сложности фраз и степени обученности ученика. Ученик быстрее понимает те словосочетания, которые содержат знакомые

для него слова и простые мысли. Словосочетания, содержащие научные термины, редко употребляемые слова или неочевидные мысли, декодируются медленно. Понятая часть сообщения поступает в оперативную память, а затем — в долговременную. Эти рассуждения также применимы в случае коммуникации двух людей, когда слушатель не очень хорошо понимает докладчика потому, что тот использует сложную научную терминологию или разговаривает на иностранном языке.

И.П. Кузнецов в [11] рассматривает проблему создания семантического языка (СЯ) — универсального средства представления фактов, событий и ситуаций, применяемого для кодирования смысла предложений. Им показано, что возможно создание семантических языков отношений, ситуаций и фактов, а также комплексного СЯ, причем эти языки равносильны. Таким образом, сообщение учителя можно представить в виде совокупности элементарных фраз различной сложности. Как известно, сложность объекта характеризуется его информативностью, которая определяется минимальной длиной двоичного сообщения, дающего его полное описание. Человеческий мозг в большей степени похож на нейросеть, чем на цифровую ЭВМ; он, оперируя концептами, порождает и воспринимает информацию в виде сообщений, состоящих из «обычных» слов и научных терминов. Поэтому семантическую сложность устного сообщения или УТ следует измерять не в битах, а в условных единицах информации (УЕИ).

Результаты исследования

Пусть учитель излагает новый материал, выдавая фразы, состоящие из подлежащего, сказуемого, обстоятельства, дополнения, и выражающие простые мысли. Каждая фраза является квантом знания или элементом учебного материала (ЭУМ). Покажем, как УТ можно разложить на отдельные ЭУМ. Рассмотрим небольшой текст: «Рентгеновская трубка состоит из вакуумного стеклянного баллона с двумя электродами (анода и катода). Если на электроды подать напряжение 10–30 кВ, то электроны, вылетающие из катода, будут ускоряться к аноду. При столкновении с анодом электроны резко тормозятся и, двигаясь ускорено, излучают рентгеновские лучи». Разобьем его на элементарные фразы (ЭУМ): 1) рентгеновская трубка состоит из стеклянного баллона; 2) в баллоне вакуум (выкачан воздух); 3) баллон имеет два электрода (анод и катод); 4) на электроды подают напряжение 10–30 кВ; 5) из катода вылетают электроны; 6) электроны ускоряют-

ся к аноду; 7) факт 4 является причиной фактов 5 и 6; 8) электроны сталкиваются с анодом; 9) электроны резко тормозятся; 10) электроны движутся ускоренно; 11) электроны излучают рентгеновские лучи; 12) факт 8 — причина фактов 9 и 10; 13) факт 10 — причина факта 11.

В принципе возможно оценить семантическую сложность каждой фразы относительно некоторого тезауруса Z_0 . Для этого необходимо изложить ее суть и дать определения всем терминам, используя слова из тезауруса Z_0 , а затем сосчитать количество значимых слов. Информативность или семантическая сложность слова относительно Z_0 равна количеству значимых слов в определении или объяснении этого слова, понятном для ученика с тезаурусом Z_0 . Допустим, уровень Z_0 соответствует знаниям выпускника 5-го класса. Слова, не требующие объяснения, имеют информативность 1 УЕИ (усл. ед. информации). Сложность S фраз «внезапно пошел дождь», «быстро летит птица», «течет широкая река» равна их объему V (числу слов M) и составляет 3 УЕИ. Если в определении термина «ускорение», понятном выпускнику 5-го класса, требуется произнести восемь слов, то информативность этого термина относительно тезауруса равна 8. Объем ЭУМ «ускорение тележки увеличивается» равен $V = 3$, а информативность $I = S = 10$ УЕИ. Если S разделить на $S_{\max} = 30$, то получится нормированная сложность s из интервала $[0; 1]$.

Итак, любой УТ можно разложить на элементарные фразы (ЭУМ), оценить их сложность s и проанализировать распределение ЭУМ по сложности. Это позволит для данного УТ построить сложностный профиль — график $p = p(s)$ зависимости вероятности, с которой встречаются ЭУМ, от их сложности. При этом площадь под кривой $p(s)$ равна 1. Зная количество фраз N в УТ, можно определить зависимость числа содержащихся в тексте ЭУМ от их сложности $n(s) = N \cdot p(s)$. Суммарная сложность ЭУМ (информативность), у которых s заключена в интервале $[s; s + ds]$, составляет $sn(s)ds$. Общая информативность текста относительно тезауруса Z_0 находится как сумма сложностей всех составляющих его ЭУМ:

$$I = \int_0^1 sn(s)ds = N \int_0^1 sp(s)ds.$$

«Мозговой декодер» ученика, занимающийся семантической переработкой поступающей информации, фактически является каналом связи с огра-

нической пропускной способностью. Его коэффициент передачи $K(s)$ зависит от сложности s поступающих фраз, а также степени обученности ученика b . Человек с высокой вероятностью p_n понимает простые ЭУМ ($K = 1$) и с низкой вероятностью — сложные (K стремится к 0). Логично предположить, что:

$$K(s) = \frac{p_n(s)}{p(s)} = \frac{1}{1 + \exp(a(s - b))}$$

Если $s = b$, то $K = 0,5$. В результате обучения происходит расширение способности ученика декодировать (т.е. понимать) сообщаемую ему информацию.

Если мозг ученика имеет пропускную способность $K = K(s)$, а распределение ЭУМ по сложности в данном УТ задается функцией $p = p(s)$, то распределение вероятности понятий ЭУМ по сложности равно $p_n(s) = K(s)p(s)$. Информационный коэффициент понимания текста равен:

$$\text{ИКП} = \frac{I_n}{I} = \frac{\int_0^1 sK(s)p(s)ds}{\int_0^1 sp(s)ds}$$

Объемный коэффициент понимания текста находится так:

$$\text{ОКП} = \frac{V_n}{V} = \frac{\int_0^1 K(s)p(s)ds}{\int_0^1 p(s)ds} = \int_0^1 K(s)p(s)ds,$$

так как $\int_0^1 p(s)ds = 1$.

Если понятая информация не используется в деятельности ученика, то она начинает забываться. В первую очередь забываются сложные ЭУМ с высокой степенью абстрактности.

На рис. 1.1–1.3 представлены результаты математического моделирования понимания учеником учебного материала, сложностный профиль которого задается графиком $p(s)$. Из рис. 1.4 видно, что по мере увеличения обученности ученика b растет объем понятой информации, график $K(s)$ смещается вправо, коэффициенты понимания ОКП и ИКП текста монотонно повышаются. Так как зависимость $K(s)$ убывающая, то для всех s ИКП несколько меньше, чем ОКП.

В рамках рассматриваемого подхода обучение можно представить как чтение текстов возрастающей сложности, приводящее к увеличению пропускной способности «мозгового декодера» ученика. При этом следует учитывать, что у ученика есть «зона

ближайшего развития»: если ему удалось усвоить идеи со сложностью s , то он с некоторыми затратами времени сможет усвоить ЭУМ, сложность которых лежит в интервале $[s; s + \Delta s]$. При увеличении b «полоса пропускания» мозгового декодера расширяется, ученик понимает ЭУМ, сложность которых находится в интервале $[0; b]$.

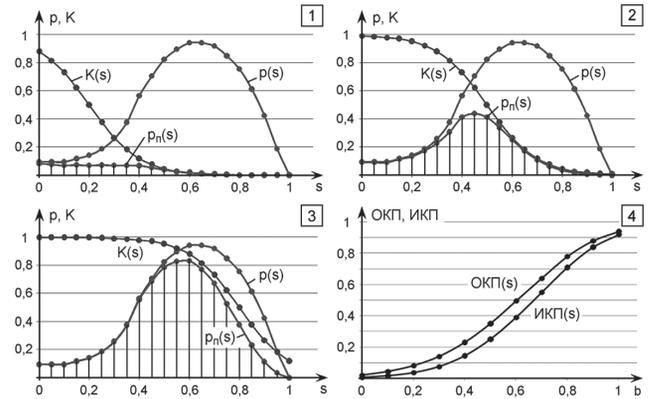


Рис. 1. Зависимость коэффициента понимания текста от обученности b

Нами была создана программа в среде *Free Pascal*, которая моделирует чтение текста и его частичное понимание в зависимости от уровня знаний ученика. Программа моделирует ситуацию, когда школьник читает последовательность текстов T_1, T_2, \dots, T_{20} , сложностный профиль которых имеет максимум, постепенно смещающийся в сторону увеличения s . Она содержит цикл по времени с шагом Δt ; интервал изменения сложности от 0 до 1 разбит на 20 частей шириной $\Delta s = 0,05$. Пропускная способность декодера мозга зависит от усвоенных учеником знаний; она вычисляется на каждом временном шаге по формуле:

$$K_s^{i+1} = (Z'_{s-\Delta s} + Z'_{s+\Delta s}) / 2,$$

где $s = \Delta s \cdot i, i = 1, 2, \dots, 20$.

Это позволяет учесть «зону ближайшего развития» ученика. В процессе обучения количества знаний ЭУМ со сложностью $s \in [s; s + \Delta s]$ возрастают по закону $Z_s^{i+1} = Z_s^i + \alpha K(s)p(s)N\Delta t$. После чтения текста изученные ЭУМ начинают забываться, количество соответствующих знаний ученика уменьшается: $Z_s^{i+1} = Z_s^i - \gamma(s)Z_s^i\Delta t$, где $\gamma(s)$ — коэффициент забывания, который пропорционален сложности ЭУМ: $\gamma(s) = gs$, где $g = 0,001 - 0,002$.

Результаты моделирования представлены на рис. 2. В момент времени t_1 ученик читает текст со сложностным профилем $p_1(s)$ (рис. 2.1). Тут же изображены графики зависимостей знаний ученика $Z(s)$

и пропускной способности канала связи $K(s)$ от сложности ЭУМ. В момент времени $t_2 > t_1$ ученик читает текст с аналогичным распределением $p_2(s)$, максимум которого смещен в сторону возрастания сложности (рис. 2.2).

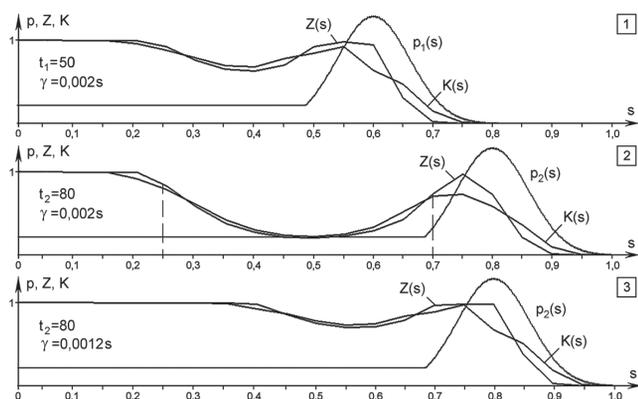


Рис. 2. Обучение путем чтения текстов с возрастающей сложностью

Видно, что при данных параметрах модели ученик успевает усвоить полученную информацию; это приводит к постепенному увеличению пропускной способности его «мозгового декодера»: он начинает понимать все более сложные идеи, относящиеся к данной теме. Если обучение происходит редко или коэффициент забывания γ слишком высок ($g = 0,002$, рис. 2.2), то ученик может начать забывать

достаточно сложные ЭУМ ($s \in [0,25; 0,7]$), которые он не успел актуализировать в своей памяти, хорошо помня простые ($s < 0,25$) и недавно изученные ЭУМ ($s \in [0,7; 0,8]$). При небольшом $g = 0,0012$ забывание происходит медленно (рис. 2.3).

Выводы

В статье осуществляется развитие метафоры «мозг ученика — канал связи с возрастающей пропускной способностью», введено понятие «сложностный профиль текста или устного сообщения», а также методом математического моделирования показано, как результат обучения зависит от сложностного профиля учебного материала и уровня знаний ученика. Кроме того, построена компьютерная модель дидактической системы, исходящая из того, что: 1) учитель и ученик образуют информационную семантическую систему, обучение сводится к восприятию (прослушиванию или чтению) последовательности текстов возрастающей сложности; 2) по мере усвоения более сложных ЭУМ у ученика возрастает пропускная способность «мозгового декодера» за счет «зоны ближайшего развития»; 3) чем больше сложность ЭУМ, тем ниже коэффициент усвоения и выше коэффициент забывания. Результаты моделирования показывают, что рассматриваемая метафора и предлагаемая модель действительно позволяют объяснить некоторые особенности обучения.

Литература

1. Андреев Н.Д. Статистико-комбинаторные методы в теоретическом и прикладном языковедении [Текст] / Н.Д. Андреев. — Л.: Наука, 1967. — 403 с.
2. Валгина Н.С. Теория текста [Текст]: учеб. пособие / Н.С. Валгина. — М.: Логос, 2003. — 280 с.
3. Величковский Б.М. Когнитивная наука: Основы психологии познания [Текст] / Б.М. Величковский: в 2 т. — М.: Смысл: Академия, 2006.
4. Гельфман Э.Г. Психодидактика школьного учебника. Интеллектуальное воспитание учащихся [Текст] / Э.Г. Гельфман, М.А. Холодная. — СПб.: Питер, 2006. — 384 с.
5. Гойхман О.Я. Речевая коммуникация [Текст]: учебник / О.Я. Гойхман, Т.М. Надеина. — М.: ИНФРА-М, 2008. — 207 с.
6. Дормашев Ю.Б. Психология внимания [Текст] / Ю.Б. Дормашев, В.Я. Романов. — М.: Тривола, 1995. — 352 с.
7. Загвязинский В.И. Теория обучения: Современная интерпретация [Текст]: учеб. пособие для студ. высш. пед. учеб. заведений / В.И. Загвязинский. — М.: Академия, 2001. — 192 с.
8. Зинченко Т.П. Память в экспериментальной и когнитивной психологии [Текст] / Т.П. Зинченко. — СПб.: Питер, 2002. — 320 с.
9. Кларин М.В. Инновации в обучении: метафоры и модели: Анализ зарубежного опыта [Текст] / М.В. Кларин. — М.: Наука, 1997. — 223 с.
10. Когнитивный подход [Текст]: научная монография; под ред. В.А. Лекторского. — М.: Канон: Реабилитация, 2008. — 464 с.
11. Кузнецов И.П. Механизмы обработки семантической информации [Текст] / И.П. Кузнецов. — М.: Наука, 1978. — 174 с.
12. Мишанкина Н.А. Метафора в науке: парадокс или норма? [Текст] / Н.А. Мишанкина. — Томск: Изд-во Том. ун-та, 2010. — 282 с.
13. Майер Р.В. Исследование математических моделей дидактических систем на компьютере [Текст]: монография / Р.В. Майер. — Глазов: Изд-во Глазов. гос. пед. ин-та, 2018. — 160 с.
14. Mayer R.V. Assimilation and Forgetting of the Educational Information: Results of Imitating Modelling // European Journal of Contemporary Education, 2017, 6(4), pp. 739–747.
2. Valgina N.S. Teoriya teksta. Uchebnoe posobie. Moskva, Logos, 2003. 280 с.
3. Velichkovskij B.M. Kognitivnaya nauka: Osnovy psihologii poznaniya: v 2 t. M.: Smysl: Izdatel'skij centr "Akademiya", 2006.

4. Gel'fman E.G., Holodnaya M.A. Psihohidaktika shkol'nogo uchebnika. Intellektual'noe vospitanie uchashchihsya. SPb.: Piter, 2006. 384 s.
5. Gohman O.Ya., Nadeina T.M. Rechevaya kommunikaciya: Uchebnik. INFRA-M: Moskva, 2008. 207 s.
6. Dormashev Yu.B., Romanov V.Ya. Psihologiya vnimaniya. M.: Trivola, 1995. 352 s.
7. Zagvyazinskij V.I. Teoriya obucheniya: Sovremennaya interpretaciya: Ucheb posobie dlya stud. vyssh. ped. ucheb. zavedenij. M.: Akademiya, 2001. 192 s.
8. Zinchenko T.P. Pamyat' v eksperimental'noj i kognitivnoj psihologii. SPb.: Piter, 2002. 320 s.
9. Klarin M. V. Innovacii v obuchenii: metafory i modeli: Analiz zarubezhnogo opyta. M.: Nauka, 1997. 223 s.
10. Kognitivnyj podhod. Nauchnaya monografiya / Pod red. V.A. Lektorskogo. M.: Kanon + ROOI «Reabilitaciya», 2008. 464 s.
11. Kuznecov I.P. Mekhanizmy obrabotki semanticheskoy informacii. M.: Nauka, 1978. 174 s.
12. Mishankina N.A. Metafora v nauke: paradoks ili norma? Tomsk: Izd-vo Tom. un-ta, 2010. 282 s.
13. Majer R.V. Issledovanie matematicheskikh modelej didakticheskikh sistem na komp'yutere: monografiya. Glazov: Glazov. gos. ped. in-t, 2018. 160 s.
14. Mayer R.V. Assimilation and Forgetting of the Educational Information: Results of Imitating Modelling // European Journal of Contemporary Education, 2017, 6(4), pp. 739–747.