

УДК 37.02

**ОЦЕНКА ДИДАКТИЧЕСКОЙ СЛОЖНОСТИ  
ЕСТЕСТВЕННО-НАУЧНЫХ ПОНЯТИЙ****ESTIMATION OF THE DIDACTIC COMPLEXITY  
OF NATURAL SCIENTIFIC CONCEPTS**©**Майер Р. В.**

д-р пед. наук

*Глазовский государственный педагогический институт  
г. Глазов, Россия, robert\_maier@mail.ru*©**Mayer R.***Dr. habil., Korolenko Glazov State Pedagogical Institute  
Glazov, Russia, robert\_maier@mail.ru*

*Аннотация.* Под дидактической сложностью естественно-научного понятия предлагается понимать величину, пропорциональную времени или количеству усилий, требуемых школьнику 5 класса для его изучения. Для оценки дидактической сложности 42 химических, физических, биологических и географических понятий эксперты, попарно сравнивая объекты, располагали карточки с их названиями на шкале сложности. Анализ полученных результатов, а также подсчет количества терминов в определении понятий позволяют утверждать, что понятие «ДНК» примерно в 8–12 раз сложнее понятия «вода» и примерно в 1,5–2,5 раза сложнее понятий «галактика» и «черная дыра». Предложены единые критерии, позволяющие все научные термины в зависимости от уровня абстрактности разделить на 5–6 категорий; рассмотрена классификация более 120 понятий. Полученные результаты можно использовать для оценки сложности учебников по естественно-научным дисциплинам.

*Abstract.* The didactic complexity of the natural science concept named the characteristic proportional to the amount of time or effort required to the pupil of the 5th class for it studying. For an estimation of the didactic complexity of 42 chemical, physical, biological and geographical concepts experts in pairs compared objects and placed cards with their names on the difficulty scale. The analysis of the received results and the calculation of terms number in definition of concepts allow to say that the concept “DNA” is about 8–12 times more difficult than the concept “water” and about 1,5–2,5 times more difficult than the concepts “galaxy” and “black hole”. The uniform criteria which allowing to divide all scientific terms depending on the level of abstractness into 5–6 categories are offered; classification more than 120 concepts are considered. The received results can be used for the complexity estimation of textbooks on natural science disciplines.

*Ключевые слова:* биология, география, дидактика, методика преподавания, обучение, понятия, сложность, химия, физика.

*Keywords:* biology, geography, didactics, teaching methods, training, concepts, complexity, chemistry, physics.

*Введение*

В последнее время повысился интерес к применению математических и компьютерных методов в педагогических исследованиях и других гуманитарных областях [3–6]. Эта тенденция отвечает важному принципу научного познания: исследуемый объект (явление)

нельзя считать хорошо изученным, пока он не описан с помощью количественных характеристик [2, с. 9]. Для использования математических моделей учебного процесса, установления качественных и количественных закономерностей необходимо уметь оценивать различные качества дидактических объектов: уровень знаний учеником учебного материала, сложность понятий, формул, тем, задач, информативность рисунков и т. д. Анализ, оценка и сравнение учебников, учебных пособий и методик требуют определения каких-то объективных и относительно устойчивых характеристик учебного материала и входящих в него элементов [1]. Одной из таких характеристик является дидактическая сложность.

При обсуждении проблемы оценки того или иного качества дидактического объекта следует помнить о принципе несовместимости: высокая точность измерений (оценок, предсказаний) несовместима с большой сложностью изучаемой системы [2, с. 10]. Действительно, если объект состоит из большого числа разнородных элементов, связанных между собой разнотипными связями, то построить его модель, точно соответствующую оригиналу, практически невозможно. Л. Заде делает вывод, что «для получения существенных выводов о поведении гуманистических систем придется, по-видимому, отказаться от высоких стандартов точности и строгости, которые мы, как правило, ожидаем при математическом анализе четко определенных механистических систем, и относиться более терпимо к иным подходам, которые являются приближенными по своей природе» [2, с. 10]. При увеличении точности измерения той или иной характеристики уменьшается достоверность. Поэтому при анализе сложных систем приходится «жертвовать точностью перед лицом ошеломляющей сложности» [2, с. 10]. Это в полной мере относится к проблеме оценки сложности учебных понятий и других дидактических объектов.

### 1. Оценка ДС «методом карточек»

Под дидактической сложностью  $S$  ЭУМ будем понимать безразмерную величину, пропорциональную количеству усилий или времени изучения, которые требуется затратить, чтобы выпускник 5-ого класса (или человек, давно закончивший школу) понял и усвоил данный ЭУМ. Оценка дидактической сложности (ДС) понятий из различных естественно-научных дисциплин (физика, химия, биология) может быть проведена с помощью педагогической экспертизы, в основе которой лежит «метод упорядоченных карточек». Нами была промоделирована такая экспертиза; в качестве «экспертов» в ней участвовали преподаватели и студенты пединститута, обучающиеся по физико-математической специальности (всего 8 «экспертов»). «Экспертам» было выдано: 1) 42 карточки, на которых написаны оцениваемые понятия; 2) шкала дидактической сложности 0–1–2–3–4–5, нарисованная на листе бумаги; 3) лист с заданием. Задание было сформулировано так: «Представьте себе ученика 5–7 класса, которому Вы объясняете сущность того или иного понятия. Чем больше сложность ДС, тем больше времени и сил необходимо затратить для объяснений. Необходимо разложить карточки с названиями понятий в порядке возрастания их сложности».

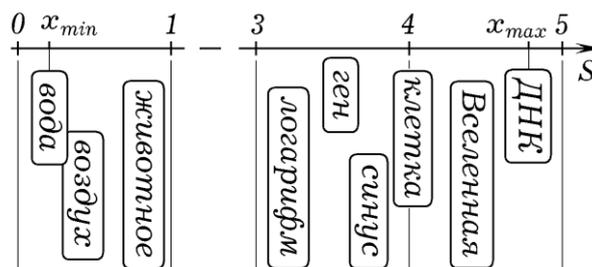


Рисунок. Оценка дидактической сложности понятий «методом карточек».

«Эксперты», попарно сравнивая оцениваемые объекты (понятия), располагали карточки с их названиями на шкале в зависимости от сложности (Рисунок). Для каждого  $i$ -ого объекта определялась координата  $x_i$  с точностью до 0,1. Исходя из значений  $x_i$  ( $i = 1, 2, \dots, N$ ), с помощью таблицы Excel для каждого  $j$ -ого эксперта была вычислена нормированная сложность  $S_{ij}'$  всех объектов, заполняющая интервал  $[0; 1]$ . Для каждого  $i$ -ого понятия определялось среднее значение дидактической сложности (ДС)  $S_i^{cp}$  и среднее отклонение  $\Delta S_i^{cp}$ ; получившиеся значения по интервальной шкале представлены в Таблице 1. При этом использовались формулы:

$$S_{ij}' = \frac{x_{ij} - x_{\min,j}}{x_{\max,j} - x_{\min,j}}, \quad S_i^{cp} = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M S_{ij}', \quad \Delta S_i^{cp} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |S_i^{cp} - S_i'|,$$

где  $M$  — число экспертов,  $N=42$  — число понятий.

Характерно, что при оценке дидактической сложности хорошо знакомых понятий «эксперты» давали близкие результаты, соответствующее среднее отклонение составляло примерно 0,1 и менее. Перечислим эти понятия, в скобках указывая их дидактическую сложность: вода (0,06); растение (0,06); животное (0,06); море (0,07); воздух (0,09); сложение (0,12); жидкость (0,13); газ (0,14); умножение (0,18); тропик (0,21); скорость (0,22); жиры (0,48); щелочь (0,56); логарифм (0,78); предел (0,78); ядерные силы (0,81); интеграл (0,88); электромагнитное поле (0,89). Большое отклонение от среднего (более 0,2) имеют оценки следующих понятий: гравитационное поле (0,62); ДНК (0,73); комета (0,52); хромосома (0,60). Можно предположить, что не все «эксперты» хорошо представляют методику их формирования, что и явилось причиной большого разброса оценок. Коэффициенты корреляции между оценками каждого «эксперта» и суммарной оценкой дидактической сложности понятий составляют: 0,89; 0,78; 0,87; 0,82; 0,87; 0,89; 0,86; 0,87.

## 2. Оценка ДС путем подсчета терминов в определении

Автор статьи дважды оценил дидактическую сложность понятий «методом карточек». Полученные результаты нормированных оценок представлены в Таблице 2; понятия расположены в порядке возрастания ДС  $S'$ . Чтобы перейти от оценок по шкале интервалов к оценкам по шкале отношений, необходимо определить абсолютную дидактическую сложность нескольких понятий. Представим себе школьника 5 класса, которому учитель объясняет сущность того или иного понятия, давая при этом определения всем остальным используемым понятиям. Будем считать, что, сложность понятия пропорциональна количеству слов  $n$ , требуемых для его объяснения школьнику. Выпишем определения некоторых понятий:

1. Вода — прозрачная жидкость, наполняющая моря и океаны, ( $n = 5$ ).

2. Оксид — соединение химического элемента с кислородом, атомы которого принимают 2 электрона. Электрон — элементарная отрицательно заряженная частица, ( $n = 13$ ).

3. Сатурн — шестая планета Солнечной системы. Солнечная система — система, состоящая из Солнца, вокруг которого движутся 9 планет, ( $n = 12$ ).

4. Галактика — система из звезд, межзвездного газа и пыли, и темной материи, которые вращаются вокруг общего центра масс. Звезда — массивное астрономическое тело, которое излучает свет, ( $n = 19$ ).

5. Клетка — структурно-функциональная элементарная единица строения и жизнедеятельности всех организмов, обладающая собственным обменом веществ, способная к самостоятельному существованию, самовоспроизведению, либо являющаяся

одноклеточным организмом. Состоит из мембраны, ядра и органоидов (вакуоль, митохондрии, рибосомы), (n = 25).

6. Ген — участок ДНК, определяющий наследственные признаки организмов, передающиеся от родителей потомству при размножении. Потомство — организмы последующих поколений. Организм — это самостоятельно существующая единица органического мира, представляющая собой саморегулирующуюся систему, реагирующую как единое целое на различные изменения внешней среды, (n = 28).

Таблица 1.

РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНКИ СЛОЖНОСТИ НАУЧНЫХ ПОНЯТИЙ

	Э-1	Э-2	Э-3	Э-4	Э-5	Э-6	Э-7	Э-8	S	ΔS
1 Алканы	0,708	0,729	0,830	0,531	0,277	1,000	0,919	0,980	0,747	0,185
2 Альдегиды	0,521	0,729	0,830	0,959	0,766	0,872	0,919	0,939	0,817	0,109
3 Вода	0,000	0,000	0,000	0,061	0,064	0,106	0,270	0,000	0,063	0,063
4 Воздух	0,167	0,042	0,149	0,122	0,128	0,064	0,000	0,082	0,094	0,047
5 Вселенная	0,938	0,792	0,723	1,000	0,681	0,191	0,676	0,429	0,679	0,185
6 Газ	0,146	0,083	0,064	0,184	0,064	0,064	0,270	0,224	0,137	0,069
7 Галактика	0,375	0,625	0,511	1,000	0,617	0,319	0,676	0,510	0,579	0,150
8 Ген	0,792	0,667	0,723	0,327	0,319	0,404	0,676	0,755	0,583	0,175
9 Гравитац. поле	0,333	0,500	0,362	0,898	0,277	0,787	1,000	0,837	0,624	0,256
10 ДНК	0,958	1,000	1,000	0,429	0,404	0,404	1,000	0,653	0,731	0,259
11 Импульс	0,333	0,333	0,255	0,449	0,319	0,319	0,784	0,429	0,403	0,113
12 Интеграл	0,750	0,917	1,000	0,694	1,000	0,915	0,784	0,959	0,877	0,101
13 Железо	0,083	0,063	0,149	0,429	0,000	0,149	0,000	0,306	0,147	0,111
14 Животное	0,000	0,146	0,149	0,041	0,064	0,000	0,000	0,102	0,063	0,052
15 Жидкость	0,167	0,042	0,064	0,082	0,128	0,064	0,432	0,020	0,125	0,088
16 Жиры	0,521	0,583	0,553	0,245	0,319	0,489	0,486	0,612	0,476	0,097
17 Клетка	0,250	0,792	0,660	0,306	0,277	0,191	0,216	0,184	0,359	0,183
18 Комета	0,667	0,333	0,277	0,816	0,404	0,787	0,622	0,265	0,521	0,202
19 Косинус	0,125	0,667	0,638	0,571	0,702	0,681	0,432	0,347	0,520	0,164
20 Логарифм	0,729	0,792	0,638	0,633	0,915	0,830	0,784	0,898	0,777	0,083
21 Моль	0,396	0,500	0,426	0,694	0,213	0,617	0,432	0,796	0,509	0,145
22 Море	0,000	0,000	0,128	0,102	0,000	0,000	0,270	0,061	0,070	0,072
23 Оксид	0,375	0,417	0,362	0,469	0,532	0,894	0,730	0,694	0,559	0,160
24 Орбиталь	0,729	0,667	0,872	0,898	0,426	0,957	0,919	0,592	0,757	0,154
25 Плазма	1,000	0,667	0,489	0,531	0,447	0,489	1,000	0,837	0,682	0,197
26 Предел	0,583	0,792	0,787	0,653	0,872	0,787	0,730	1,000	0,776	0,090
27 Производная	0,458	0,917	1,000	0,633	0,830	0,723	0,784	0,837	0,773	0,126
28 Растение	0,000	0,125	0,149	0,020	0,000	0,000	0,000	0,143	0,055	0,063
29 Сатурн	0,104	0,333	0,191	0,510	0,128	0,255	0,622	0,347	0,311	0,142
30 Синус	0,125	0,667	0,638	0,571	0,745	0,681	0,432	0,388	0,531	0,162
31 Скорость	0,104	0,333	0,191	0,143	0,064	0,191	0,486	0,224	0,217	0,098
32 Сложение	0,000	0,208	0,064	0,000	0,213	0,106	0,270	0,102	0,120	0,083
33 Тропик	0,104	0,354	0,298	0,204	0,128	0,255	0,000	0,306	0,206	0,097
34 Углеводы	0,458	0,583	0,574	0,286	0,532	0,404	0,730	0,653	0,528	0,109
35 Умножение	0,000	0,250	0,191	0,224	0,234	0,106	0,270	0,184	0,183	0,065
36 Хромосома	0,792	0,729	1,000	0,388	0,468	0,255	0,486	0,694	0,602	0,202
37 Черная дыра	0,667	0,729	0,426	0,959	0,723	0,830	0,730	0,551	0,702	0,116
38 Щелочь	0,583	0,417	0,447	0,490	0,489	0,617	0,622	0,796	0,558	0,097
39 Электромагн. поле	0,583	0,917	0,894	0,796	0,957	1,000	1,000	0,939	0,886	0,098
40 Электрон	0,250	0,417	0,489	0,796	0,660	0,617	0,486	0,469	0,523	0,126
41 Ядерные силы	0,917	0,542	0,787	0,857	0,894	0,872	0,919	0,694	0,810	0,102
42 Ядро атома	0,500	0,479	0,745	0,816	0,830	0,830	0,676	0,510	0,673	0,133

Таблица 2.

ЗНАЧЕНИЯ ДИДАКТИЧЕСКОЙ СЛОЖНОСТИ  $S'$  ПО ШКАЛЕ ИНТЕРВАЛОВ

1	Вода	0,000	15	Тропик	0,326	29	Ядерные силы	0,664
2	Жидкость	0,053	16	Оксид	0,389	30	Ген	0,695
3	Море	0,064	17	Гравитац. поле	0,431	31	Логарифм	0,715
4	Газ	0,074	18	Щелочь	0,432	32	Клетка	0,726
5	Воздух	0,095	19	Электрон	0,453	33	Вселенная	0,758
6	Железо	0,106	20	Моль	0,463	34	Орбиталь	0,770
7	Сложение	0,136	21	Галактика	0,568	35	Алканы	0,779
8	Растение	0,137	22	Жиры	0,568	36	Альдегиды	0,779
9	Животное	0,147	23	Черная дыра	0,577	37	Предел	0,789
10	Умножение	0,221	24	Плазма	0,578	38	Хромосома	0,865
11	Сатурн	0,262	25	Углеводы	0,579	39	ЭМ поле	0,905
12	Скорость	0,262	26	Ядро атома	0,612	40	Интеграл	0,958
13	Импульс	0,294	27	Косинус	0,652	41	Производная	0,958
14	Комета	0,305	28	Синус	0,652	42	ДНК	1,000

7. Черная дыра — очень массивное астрономическое тело, гравитационное притяжение которого настолько велико, что покинуть ее не могут даже объекты, движущиеся со скоростью света. Гравитационное притяжение — притяжение всех тел друг к другу. Скорость — отношение проходимого расстояния ко времени. Астрономические тела — звезды, планеты, ( $n = 27$ ).

8. ДНК — макромолекула, обеспечивающая хранение, передачу из поколения в поколение и реализацию генетической программы развития и функционирования живых организмов. ДНК содержит информацию о структуре различных видов РНК и белков. ДНК закручена по винтовой линии и находится в ядре клетки в составе хромосом. ДНК — это длинная полимерная молекула, состоящая из повторяющихся блоков — нуклеотидов. Молекула — мельчайшая частица вещества. Программа — набор инструкций, которые выполняется компьютером, ( $n = 43$ ).

Считая, что дидактическая сложность  $S'$  связана с  $n$  линейной зависимостью  $S' \approx An + B$ , для перечисленных выше восьми понятий нам удалось подобрать приближенные значения коэффициентов так, чтобы суммарное расхождение  $\Delta S$  между  $S'$  и предполагаемым  $S''$  было бы минимальным (Таблица 3). Получается:  $S'' \approx 0,026(n - 1,7)$ . Отсюда следует, что понятие «ДНК» примерно в 8–12 раз сложнее понятия «вода» и примерно в 1,5–2,5 раза сложнее понятий «галактика» и «черная дыра».

Таблица 3.

СОГЛАСОВАНИЕ ОЦЕНОК ДС ПОНЯТИЙ

	$S$	$n$	$S''$	$\Delta S$
Вода	0,000	5	0,088	0,088
Оксид	0,389	7	0,138	0,252
Сатурн	0,262	12	0,263	0,001
Галактика	0,568	17	0,388	0,181
Черн. дыра	0,577	27	0,638	0,061
Ген	0,695	28	0,663	0,032
Клетка	0,726	25	0,588	0,139
ДНК	1,000	43	1,038	0,038
Среднее отклонение				0,099

3. Критерии оценки ДС понятий

На основе полученных результатов можно выработать единые критерии оценки сложности слов (понятий) в учебных текстах по естественно–научным дисциплинам и построить шкалу абстрактности. Если данное слово (собственное или нарицательное) входит в словарь по физике, математике, химии, биологии или географии, то оно является научным термином. Представим, что анализируемый текст читает среднестатистический ученик, успешно закончивший 5 класс общеобразовательной школы. Дидактическую сложность слов, входящих в текст, предлагается определять по Таблице 4. ДС  $s = 1$  имеют слова, которые не являются научными терминами и используются школьником в повседневной жизни («катится», «нагревается», «течет»). Они тоже используются для описания и объяснения различных явлений природы, особенно в начальной школе. ДС  $s = 2$  имеют научные термины с низкой степенью абстрактности, изучаемые в 1–5 классах, используемые школьником в повседневной жизни и не требующие объяснений («шар», «воздух», «испарение», «почва», «растение», «Луна»).

Таблица 4.

ДИДАКТИЧЕСКАЯ СЛОЖНОСТЬ ПОНЯТИЙ

	математика	химия	физика	биология	география
<b>1</b>	<b>слова, используемые в повседневной жизни</b>				
<b>2</b>	сложение, вычитание, умножение, деление, окружность	вещество, раствор, смесь, горение, фильтрация, выпаривание	газ, жидкость, кристалл, вода, молния, масса, пружина, весы, секундомер	скелет, цветок, лошадь, муха, растение, животное, почва, птица, гусеница	море, гора, река, материк, землетрясение, вулкан, облака, песок, глина
	целая степень, корень, функция, график, вектор, прямая пропорциональность	химич. реакция, индикатор, химич. элемент, валентность, электролиз	электрич. поле, магнитное поле, напряженность, энергия, колич. теплоты, ЭДС	мозг, желудок, легкие, артерия, рефлекс, мышление, пищеварительная система	полюс, экватор, широта, долгота, меридиан, параллель, ядро Земли
	синус, аркосинус, нецелая степень, сумма векторов, квадратн. уравнение	валентные электроны, моль, основание, молекулы $H_2O$ , $KCl$ , $H_2SO_4$ , $NaOH$	молекула, атом, полупроводники, электрон, дырка, ЭМ волна, интенсивность	клетка, амеба, ядро клетки, деление клетки, эритроциты, бактерия	полярный пояс, тропик, ядро Земли, озоновый слой, тропосфера, муссон
	производная, интеграл, логарифм, скалярн. произведение векторов	бензольное кольцо, молекулы рибозы, глюкозы, жира, белка, алкана, фенола	ядро атома, протон, нуклон, античастицы, кварки, мезон, гамма-кванты	ДНК, РНК, хромосома, кодон, естеств. отбор, эволюция, ген, автотрофы	
<b>6</b>	оператор набла, тензор, функционал, вариация, частная производная	молекулы ДНК, РНК, нуклеотида, аминокислоты	волновая функция, уравнение Шредингера, орбитальное квантовое число		

Термины со средней или не очень высокой степенью абстрактности имеют ДС 3 или 4. ДС  $s = 5$  имеют научные термины: 1) с очень высокой абстрактностью, обозначающие объекты и процессы, состоящие из большого числа компонентов (частиц), которые ученик в принципе не может пронаблюдать («атом натрия» как система из 11 протонов, 12 нейтронов и 11 электронов; «хромосома»); 2) математические термины, обозначающие сложные функции и операции: потенцирование, логарифмирование, дифференцирование, интегрирование, нахождение предела, скалярное произведение векторов. Такие термины, как «оператор набла», «функционал», «молекула ДНК», изучаемые в вузах, имеют ДС  $s = 6$ .

### Заключение

Итак, в статье решены следующие задачи: 1) рассмотрены результаты оценок дидактической сложности понятий по шкале интервалов и шкале отношений; 2) предложены единые критерии дидактической сложности понятий из различных естественно–научных дисциплин; 3) приведены примеры понятий, имеющих различную дидактическую сложность (Таблица 4). Все это поможет сравнить и оценить сложность учебных текстов по естественно–научным дисциплинам.

### Список литературы:

1. Беспалько В. П. Теория учебника: дидактический аспект. М.: Педагогика, 1988. 160 с.
2. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. М: Мир, 1976. 165 с.
3. Карпенко М. П. Телеобучение. М.: СГА, 2008. 800 с.
4. Майер Р. В. Об оценке сложности элементов учебного материала школьного курса физики // Гуманитарные научные исследования. 2015. №12 (52). С. 166–172 Режим доступа: <http://human.snauka.ru/2015/12/13535>.
5. Майер Р. В. Оценка дидактической сложности физических понятий методом парных сравнений // Интернет–журнал «Мир Науки». Электрон. журн. 2014. Вып. 3. Режим доступа: <http://mir-nauki.com> (дата обращения 11.08.2016).
6. Майер Р. В. Эффективный метод оценки дидактической сложности физических понятий // Фундаментальные исследования. 2014. №11–4. С. 904–909.

### References:

1. Bespalko V. P. Teorija uchebnika: didakticheskiy aspekt (The theory of the textbook: didactic aspect). Moscow, Pedagogika, 1988, 160 p.
2. Zade L. Ponjatie lingvisticheskoy peremennoj i ego primenenie k prinjatiju priblizhennyh reshenij (The concept of linguistic variable and its application to the adoption of the approximate solutions). Moscow, Mir, 1976, 165 p.
3. Karpenko M. P. Teleobuchenie (Distance learning). Moscow, SGA, 2008, 800 p.
4. Mayer R. V. Ob ocenke slozhnosti jelementov uchebnogo materiala shkolnogo kursa fiziki (An estimate of the complexity of the elements of educational material school physics course). Gumanitarnye nauchnye issledovaniya, 2015, no. 12 (52), pp. 166–172. Available at: <http://human.snauka.ru/2015/12/13535>.
5. Mayer R. V. Ocenka didakticheskoy slozhnosti fizicheskikh ponjatij metodom parnyh sravnenij (Evaluation of didactic concepts of complexity of physical method of paired comparisons). Internet–zhurnal “Mir Nauki”. Electronic Journal. 2014, issue 3. Available at: <http://mir-nauki.com>, accessed 11.08.2016.
6. Mayer R. V. Jefferktivnyj metod ocenki didakticheskoy slozhnosti fizicheskikh ponjatij (An effective method of evaluating didactic complexity of physical concepts). Fundamentalnye issledovaniya, 2014, no. 11–4, pp. 904–909.

Работа поступила  
в редакцию 22.07.2016 г.

Принята к публикации  
24.07.2016 г.