

## Оценка уровня абстрактности изложения материала в школьных учебниках по естественным наукам

### Assessment of the Level of Abstractness of Material Statement of in Natural Sciences School Textbooks

Получено 20.08.2016 Одобрено 14.09.2016 Опубликовано 17.02.2017

УДК 37.02

DOI: 10.12737/24530

**Р.В. МАЙЕР,**  
ФБГОУ ВО «Глазовский государственный педагогический институт им. В.Г. Короленко»,  
г. Глазов

**R.V. MAYER,**  
Glazov Korolenko State Pedagogical Institute,  
Glazov

**e-mail:** robert\_maier@mail.ru

**e-mail:** robert\_maier@mail.ru

#### Аннотация

Рассмотрены методика и результаты оценки абстрактности более 20 современных школьных учебников по биологии, географии, физике и химии методом парных сравнений. При этом предполагается, что дидактическая сложность учебника в основном определяется уровнем абстрактности изложенного в нем материала и зависит от разнообразия и абстрактности качественных объяснений, их оторванности от повседневной жизни (А), а также от сложности математических методов и моделей, разнообразия решаемых количественных задач (В).

Определены уровни абстрактности каждого учебника, изучено их распределение в двумерном пространстве признаков А и В. Полученные результаты позволяют ранжировать учебники по их дидактической сложности.

**Ключевые слова:** дидактика, квалиметрия, математические методы, метод парных сравнений, педагогика, педагогическая экспертиза, сложность, теория обучения.

#### Abstract

The technique and results of an assessment of Abstractness of more than 20 modern school textbooks on biology, geography, physics and chemistry are considered by method of pair comparisons. Thus it is assumed that didactic complexity of the textbook is mainly determined by the level of Abstractness of the material stated in it and depends on: the variety and Abstractness of qualitative explanations, their isolation from everyday life (i); the complexity of mathematical methods and models, variety of the solved quantitative problems (ii).

The levels of Abstractness of each textbook are determined, their distribution in two-dimensional space of attributes (i) and (ii) is studied. The received results allow to range textbooks on their didactic complexity.

**Keywords:** didactics, qualimetry, mathematical methods, method of pair comparisons, pedagogy, pedagogical expertise, complexity, learning theory.

Уровень образования во многом определяется качеством используемого учебника, его сложностью и понятностью для ученика. Не следует путать сложность текста с количеством содержащейся в нем информации, которая зависит от объема (количества слов, формул, рисунков). Существуют различные подходы к проблеме анализа учебных текстов, определения их сложности, информативности и других характеристик [1, 4, 7]. В книге Я.А. Микка [8] выделяются следующие **компоненты сложности текста:**

- информативность;
- лингвистическая сложность;
- ясность структуры;
- абстрактность изложения [8].

При этом считается, что лингвистическая сложность текста зависит от разнообразия словаря, средней длины слов и предложений. Уровень абстрактности текста предлагается оценивать по шкалам конкретности-абстрактности либо по количеству слов с абстрактными суффиксами [8].

Как отметил В.П. Беспалько [2], школьники, сравнивая различные дисциплины, интуитивно реагируют на степень абстрактности изучаемых вопросов, поэтому критерием сложности прежде всего является степень теоретичности и абстрактности текста. Сложность текста зависит от соотношения между опытом ученика и содержанием учебного материала: «учебный предмет представляется учащемуся тем более сложным, чем больше разница в ступенях абстракции учебника и прошлого опыта ученика». «Будучи понятием относительным, сложность тем не менее может выступать как понятие объективное, когда сравниваются два учебника (учебных материалов), и субъективное, когда сравнение осуществляется с прошлым опытом учащегося» [2]. Рассмотренный подход в большей степени соответствует концепции сложности учебного текста, сформировавшейся в современной дидактике, поэтому и мы будем считать, что слож-

ность различных учебников приближенно равна степени абстрактности представленного в них учебного материала.

Учебник следует рассматривать как систему взаимосвязанных элементов: суждений, формул и рисунков. Из теории систем [5] известно, что сложность любой системы зависит от степени разнообразия, количества и сложности составляющих ее элементов (подсистем) и связей между ними. Если предположить, что ученик не испытывает трудностей с чтением длинных слов и предложений, то можно не учитывать лингвистическую сложность. Тогда дидактическая (содержательная) сложность учебника будет приближенно равна уровню его абстрактности, который пропорционален числу и сложности используемых понятий, суждений, логических выводов, математических выражений и рисунков, содержащих абстрактную информацию. Действительно, для большинства школьников, справляющихся с учебной программой, основную трудность представляет собой не собственно чтение текста, а понимание и усвоение некоторых довольно абстрактных рассуждений (о строении Вселенной, структуре атомов и молекул, процессов, происходящих внутри живого организма, и т.д.), а также приобретение навыка использования этих знаний для решения качественных и количественных задач.

В настоящей статье рассматривается проблема приближенной оценки дидактической сложности (ДС) учебников по естественнонаучным дисциплинам за 5–11 классы. Предположим, что возможно разработать **методику определения ДС S учебников**, которая:

- не будет занимать много времени;
- будет давать число  $S$  из интервала  $[0; 1]$ , где 0 соответствует самому простому учебнику, а 1 — самому сложному;
- будет иметь погрешность не больше 10 %.

Это позволит проранжировать оцениваемые учебники, расположив их в порядке возрастания ДС  $S$ .

### Дидактическая сложность и ее составляющие

Если элемент учебного материала (ЭУМ) имеет информационный объем  $\Delta I$  УЕИ (условная единица информации) и оптимальное время изучения  $\Delta t_M$ , то средняя скорость его усвоения  $v = \Delta I / \Delta t_M$  (УЕИ/час). Чем больше сложность  $S$ , тем больше времени  $t_M$  (а значит и усилий) должен затратить среднестатистический ученик, чтобы усвоить данный ЭУМ. Под дидактической сложностью  $S$  предлагается понимать безразмерную

величину из интервала  $[0; 1]$ , зависящую от количества усилий и времени изучения  $t_M$ , которые требуется затратить, чтобы выпускник 4 класса (или человек, давно закончивший школу) понял и усвоил одну УЕИ данного ЭУМ. При этом можно считать, что  $S \approx 1 - \exp(-\gamma \cdot t_M / \Delta I)$ . Пусть  $\gamma > 0,05$  УЕИ/час. Если вопрос очевиден для ученика, то  $t_M \approx 0$  и  $S = 0$ . В случае, когда для усвоения единицы учебной информации требуется много времени ( $t_M / \Delta I \approx 100$  часов/УЕИ), то  $S \approx 1$ .

Известные методы автоматической оценки сложности текста [6, 9] заключаются в подсчете используемых терминов и учете степени их абстрактности. Использование этих методов для анализа текстов 10–20 учебников по различным предметам — очень трудоемкая задача, которую не так просто решить. Для оценки ДС (или абстрактности)  $S$  учебных текстов можно использовать метод парных сравнений, который состоит в попарном сопоставлении оцениваемых объектов и математической обработке получающейся таблицы оценок. С его помощью можно оценить 20–30 различных учебников и расположить их в порядке увеличения их ДС (или степени абстрактности).

Изучение основ естественных наук предполагает построение и анализ качественных и количественных моделей рассматриваемых явлений природы, решение задач, выполнение практических заданий и т.д. Поэтому логично предположить, что **абстрактность** (а значит и дидактическая сложность) **изучаемых в школе вопросов определяется:**

- разнообразием и абстрактностью качественных объяснений и их оторванностью от повседневной жизни (характеристика А);
- сложностью математических методов и моделей, разнообразием решаемых количественных задач (характеристика В).

Эти характеристики следует нормировать так, чтобы они находились в интервале  $[0; 1]$ .

Основы естественных наук нашли свое отражение в **следующих школьных дисциплинах:**

- «Окружающий мир» (3–4 кл.);
- «Природоведение» (5 кл.);
- «География» (6–8 кл.);
- «Биология» (6–11 кл.);
- «Экология» (10–11 кл.);
- «Физика» (7–11 кл.);
- «Химия» (8–11 кл.).

Исключим из рассмотрения начальную школу, в которой дети только учатся читать и формируются лишь представления о некоторых явлениях окружающего мира, и ограничимся рас-

смотрением обучения в 5–11 классах. Для оценки ДС различных естественнонаучных дисциплин нами были проанализированы **следующие учебники:**

- «Биология — 7» В.В. Латюшина, В.А. Шапкина (2009);
- «Биология — 8» Д.В. Колесова, Р.Д. Маш, И.Н. Беляева (2005);
- «Биология — 9» С.Г. Мамонтова, В.Б. Захарова (2004);
- «Биология — 10» С.Г. Мамонтова, В.Б. Захарова, Н.И. Сони́на (2006);
- «Биология — 11» С.Г. Мамонтова, В.Б. Захарова, Н.И. Сони́на (2006);
- «География — 6» Т.П. Герасимовой, Н.П. Неклюковой (2010);
- «География — 7» В.А. Коринской, И.В. Душиной, В.А. Щенева (2013);
- «География — 8» И.И. Бариновой (2010);
- «Природоведение — 5» В.М. Пакуловой, Н.В. Ивановой (2010);
- «Физика — 7» А.В. Перышкина (2003);
- «Физика — 8» А.В. Перышкина (2009);
- «Физика — 9» А.В. Перышкина, Е.М. Гутника (2005);
- «Физика — 10» Г.Я. Мякишева, Б.Б. Буховцева, Н.Н. Сотского (2007);
- «Физика — 11» Г.Я. Мякишева, Б.Б. Буховцева (2003);
- «Химия — 8» Л.С. Гузей, В.В. Сорокина, Р.П. Суровцевой (2003);
- «Химия — 9» Л.С. Гузей, В.В. Сорокин, Р.П. Суровцева (2003);
- «Химия — 10» Л.С. Гузей, Р.П. Суровцева, (2002);
- «Химия — 11» Л.С. Гузей, Р.П. Суровцевой, Г.Г. Лысовой (2008);
- «Экология — 9» С.В. Алексеева (1998);
- «Экология — 10–11» С.В. Алексеева (1997).

### **Оценка абстрактности качественных рассуждений и сложности математических моделей**

Сложность или абстрактность качественных рассуждений А учебного текста пропорциональна степени оторванности рассматриваемых вопросов от повседневной жизни школьника. В теории познания абстрактное противопоставляется конкретному. К самому низкому уровню абстракции относится конкретная вещь, воспринимаемая органами чувств (данное растение, именно этот амперметр, конкретная пробирка с реактивом). Более высоким уровнем абстракции является

понятие родовой сущности вещи («серная кислота вообще», «любой металл», «каждое дерево»). Следующий уровень соответствует использованию в своих рассуждениях идеализированных моделей («капельная модель ядра», «электронная орбиталь», «модель молекулы глюкозы») или объектов (фотона, атома, гена, хромосомы), которые школьник не может пронаблюдать в повседневной жизни или физической лаборатории.

Чтобы оценить сложность качественных рассуждений, необходимо определить уровень абстрактности используемых моделей, степень их оторванности от повседневного опыта школьника, наличие противоречия между ними. При этом **следует учитывать:**

- возможность восприятия рассматриваемого объекта (или его аналога) органами чувств;
- изменение объекта с течением времени;
- число степеней свободы, т.е. количество независимых переменных, определяющих состояние объекта;
- размеры, пространственную локализацию объекта или временную протяженность процесса;
- наличие структуры и ее сложность;
- соответствие поведения объекта здравому смыслу.

Известно, что изучение природоведения и географии в 4–6 классах предполагает обсуждение сравнительно простых объектов, многие из которых (или подобные которым) встречаются в жизни каждого человека (реки, горы, различные растения, животные, насекомые). При рассмотрении каких-то воображаемых объектов (ядра Земли, клетки растения) глубина теоретического изучения невелика. В то же время освоение курсов физики и химии в 9–11 классах требует от школьников развитого абстрактного мышления. Даже рассмотрение механических и тепловых явлений предполагает использование идеализированных моделей («материальная точка», «молекула», «идеальный газ») и разнообразных математических абстракций (системы отсчета, векторов и их проекции, графиков и т.д.). При изучении основ электродинамики, оптики, атомной и ядерной физики обучаемые вынуждены представлять в своем воображении различные объекты (электромагнитные волны, атомы, элементарные частицы) и явления (фотоэффект, ядерный распад), которые не воспринимаются их органами чувств непосредственно. Некоторые из них даже не могут быть изучены экспериментально с помощью приборов, имеющихся в кабинете физики (табл.).

Результаты парного сравнения учебников по параметру А

Учебник	Ф7	Ф8	Ф9	Ф10	Ф11	Х8	Х11	Г7	Г8	П5	Э9	Э10-11	х	А'
Физика 7 кл.	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	1	0	0	-9	-18
Физика 8 кл.	1	0	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	-3	-5
Физика 9 кл.	1	1	0	-1	-1	0	-1	1	1	1	1	1	1	2
Физика 10 кл.	1	1	1	0	-1	1	0	1	1	1	1	1	11	21
Физика 11 кл.	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	15	28
Химия 8 кл.	1	0	0	-1	1	0	-1	1	1	1	1	1	5	9
Экология 10-11 кл.	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	1	0	0	-10	-21
У	9	2	-1	-10	-13	-4	-1	11	7	15	9	11		

Для оценки характеристики А (абстрактность качественных объяснений) школьных учебников был проведен их анализ с целью определения сложности и разнообразия представленных в них объектов и процессов. При этом эксперт просматривал учебник, обращая внимание на названия тем и параграфов, рисунки, определения и формулировки законов и выявляя наиболее сложные вопросы. Учебники попарно сопоставлялись друг с другом, результат сравнения выражался в представлении оценки  $-1$ ,  $0$  и  $1$  в соответствующую ячейку таблицы Excel. Оценка  $1$  (или  $-1$ ) на пересечении  $i$ -ой строки и  $j$ -го столбца означает, что количество оцениваемого качества А в  $i$ -ом учебнике заметно больше (или меньше), чем в  $j$ -ом. Если количества качества А в обоих учебниках примерно одинаковы, то ставится оценка  $0$ . После заполнения всей таблицы вычислялось значение  $A'_i$  для  $i$ -го учебника, для чего из суммы оценок  $i$ -ой строки вычиталась сумма значений  $i$ -го столбца. Нормированная оценка  $A_i$  определялась так:  $A_i = (A'_i + 33)/71$ .

Оценка сложности и разнообразия используемых математических моделей (характеристика В) осуществлялась с помощью аналогичной таблицы Excel. Математическая сложность учебного текста зависит от сложности и разнообразия формул, рисунков, содержащих математические абстракции, и решаемых задач, а также требуемого от ученика уровня знаний математики для понимания материала. Понятно, что учебник физики для 9 класса, в котором используются только арифметические операции, в этом смысле заметно проще учебника физики для 11 класса, для понимания которого необходимо знать тригонометрические формулы, логарифмы и производные. Нормированные значения характеристик А и В представлены на рис. 1; зна-

чения А и В слабо зависят друг от друга, коэффициент корреляции между ними, найденный в программе Excel, составляет  $0,51$ .

### Распределение учебников в пространстве признаков А и В

Так как связь между признаками А и В слабая, то можно приближенно считать их независимыми; тогда нормированная сложность  $i$ -го учебника равна

$$S_i = (k_1 A_i^2 + k_2 B_i^2)^{1/2},$$

где  $k_1 = k_2 = 1/2$ . Погрешность оценки измеряемого качества  $S_i$  в этом случае складывается из погрешности выбранной модели, погрешностей весовых коэффициентов  $k_1$ ,  $k_2$  и погрешности оценки характеристик  $A_i$  и  $B_i$ . При оценке качества, имеющего большую неопределенность, когда его элементарные составляющие  $A_i$  и  $B_i$  определяются не очень точно, бессмысленно выбирать сложную математическую модель, потому что обосновать правомерность выбора именно этой модели и данных весовых коэффициентов невозможно. Рассмотренный метод оценки дидактической сложности является эвристическим, а критерий его правильности — соответствие получающихся результатов педагогическому опыту.

На рис. 1 (1) представлен список учебников, расположенных в порядке возрастания их дидактической сложности  $S$ . Результаты оценки сложности качественных и количественных моделей позволяют проанализировать распределение учебников в двухмерном пространстве признаков, образованном взаимно перпендикулярными осями А и В [3, 7]. Результаты представлены на рис. 1 (2); каждая  $i$ -я точка соответствует  $i$ -му учебнику с характеристиками  $(A_i; B_i)$ .

При этом дидактическая сложность  $i$ -го учебника пропорциональна длине отрезка, соединяющего  $i$ -ю точку с началом координат  $O$ : чем больше  $S_i$ , тем сильнее она удалена от  $O$ . Степень различия между двумя учебниками определяется расстоянием между соответствующими им точками в пространстве признаков  $A$  и  $B$ . Например, учебник географии для 8 класса в этом смысле ближе к учебнику биологии для 8 класса ( $l_1 = 0,14$ ), чем к учебнику химии для 8 класса ( $l_2 = 0,50$ ). Из рис. 1 (2) видно, что все учебники можно разделить на следующие группы:

- учебники географии, природоведения, экологии и биологии для 6–8 классов, имеющие низкую сложность (ДС меньше 0,3);
- учебники биологии для 9–11 классов с высокой сложностью качественных рассуждений  $A$  и низкой сложностью математических моделей  $B$ ;
- учебники физики и химии для 9–11 классов, имеющие высокие значения показателей  $A$  и  $B$  ( $S$  больше 0,65).

Учебники для различных классов, соответствующие одной дисциплине, соединены линиями. Видно, что дидактическая сложность учебников по мере увеличения номера класса **изменяется следующим образом:**

- у учебников биологии ДС возрастает за счет увеличения  $A$ ;
- у учебников физики и химии растут обе характеристики  $A$  и  $B$ ;
- у учебников природоведения, географии и экологии ДС сравнительно невысока;

Учебник	код	A	B	S
Природовед. 5 кл.	П5	0,028	0,077	0,058
Биология 6 кл.	Б6	0,085	0,031	0,064
Экология 10-11 кл.	Э10-11	0,169	0,000	0,120
Экология 9 кл.	Э9	0,225	0,000	0,159
Биология 7 кл.	Б7	0,254	0,031	0,181
Биология 8 кл.	Б8	0,282	0,046	0,202
География 8 кл.	Г8	0,268	0,185	0,230
География 6 кл.	Г6	0,000	0,400	0,283
География 7 кл.	Г7	0,169	0,385	0,297
Физика 7 кл.	Ф7	0,211	0,569	0,429
Биология 9 кл.	Б9	0,634	0,046	0,449
Биология 11 кл.	Б11	0,775	0,046	0,549
Химия 8 кл.	Х8	0,592	0,569	0,580
Физика 8 кл.	Ф8	0,394	0,723	0,582
Биология 10 кл.	Б10	0,859	0,046	0,608
Физика 9 кл.	Ф9	0,493	0,815	0,674
Химия 9 кл.	Х9	0,817	0,631	0,730
Химия 10 кл.	Х10	0,887	0,754	0,823
Физика 10 кл.	Ф10	0,761	0,938	0,854
Химия 11 кл.	Х11	1,000	0,785	0,899
Физика 11 кл.	Ф11	0,859	1,000	0,932

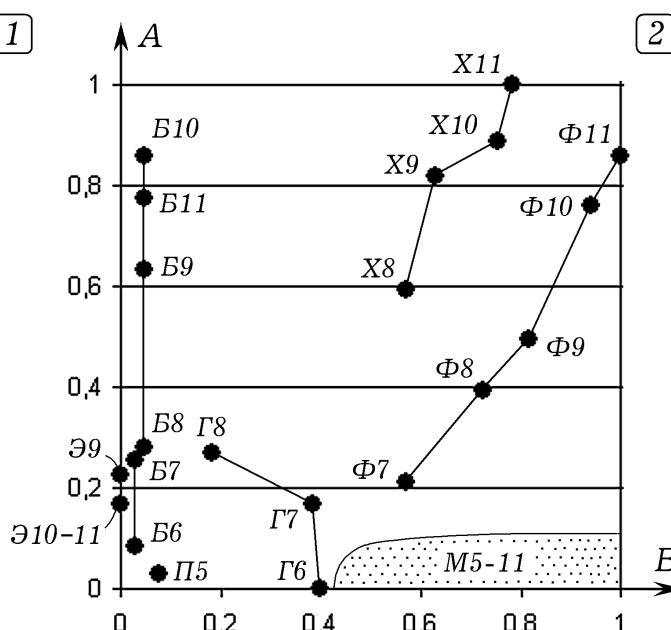


Рис. 1. Результаты сравнения учебников по характеристикам  $A$  и  $B$

- учебники физики превосходят учебники химии за те же классы по характеристике  $B$ , но проигрывают по характеристике  $A$ .

На рис. 1 (2) штриховкой выделена область пространства  $A$ – $B$ , соответствующая учебникам алгебры и геометрии, которые имеют высокую сложность математических моделей, но практически не содержат качественных моделей природных явлений.

## Заключение

В статье рассмотрена проблема оценки уровня абстрактности (дидактической сложности) учебников по естественнонаучным дисциплинам. Были проанализированы современные учебники по природоведению, географии, биологии, физике, химии, и произведено их попарное сравнение друг с другом. Это позволило определить для каждого учебника степень сложности качественных и количественных моделей, проанализировать их распределение в этом пространстве признаков. **Предлагаемая методика и результаты оценки дидактической сложности учебников могут быть использованы:**

- для сравнения различных параграфов, тем и дисциплин с точки зрения сложности усвоения их учениками;
- выявления закономерностей распределения различных видов информации в разных темах и совершенствования учебников;
- математического и имитационного (компьютерного) моделирования процесса обучения.

## Список литературы

1. *Аванесов В.С.* Теория квантования учебных текстов // Педагогические измерения. — 2014. — № 1. — С. 62–77.
2. *Беспалько В.П.* Теория учебника: Дидактический аспект. — М.: Педагогика, 1988. — 160 с.
3. *Битинас Б.* Многомерный анализ в педагогике и педагогической психологии. — Вильнюс, 1971. — 347 с.
4. *Иудин А.А., Рюмин А.М.* Контент — анализ текстов: компьютерные технологии : учеб. пособие. — Нижний Новгород, 2010. — 37 с.
5. *Лаврушина Е.Г., Слугина Н.Л.* Теория систем и системный анализ : учеб. пособие. — Владивосток: Издательство ВГУЭС, 2007. — 171 с.
6. *Майер Р.В.* Автоматизированный метод оценки количества различных видов информации и ее сложности в физическом тексте с помощью ПЭВМ // Известия высших учебных заведений. — 2014. — № 3(31). — С. 200–209.
7. *Майер Р.В.* Классификация тем школьного курса физики на основе оценки их физической и математической сложности // Инновации в образовании. — 2014. — № 9. — С. 29–38.
8. *Микк Я.А.* Оптимизация сложности учебного текста: в помощь авторам и редакторам. — М.: Просвещение, 1981. — 119 с.
9. *Оборнева И.В.* Автоматизированная оценка сложности учебных текстов на основе статистических параметров: дис. ... канд пед наук: 13.00.02 Специальность: Теория и методика обучения и воспитания (по областям и уровням образования). — М., 2006. — 165 с.

## References

1. Avanesov V.S. Teoriya kvantovaniya uchebnykh tekstov [Theory of educational texts quantization]. *Pedagogicheskie izmereniya* [Pedagogical measurements]. 2014, I. 1, pp. 62 — 77.
2. Bepal'ko V.P. *Teoriya uchebnika: Didakticheskiy aspekt* [The theory of the textbook: The didactic aspect]. Moscow, Pedagogika Publ., 1988. 160 p.
3. Bitinas B. *Mnogomernyy analiz v pedagogike i pedagogicheskoy psikhologii* [Multivariate analysis in pedagogy and educational psychology]. Vil'nyus Publ., 1971, 347 p.
4. Iudin A.A., Ryumin A.M. *Kontent — analiz tekstov: komp'yuternye tekhnologii* [Content — analysis of texts: computer technology: studies. allowance]. Nizhniy Novgorod, 2010, 37 p.
5. Lavrushina E.G., Slugina N.L. *Teoriya sistem i sistemnyy analiz* [Systems theory and systems analysis studies. allowance]. Vladivostok, VGUES Publ., 2007, 171 p.
6. Mayer R.V. Avtomatizirovanny metod otsenki kolichestva razlichnykh vidov informatsii i ee slozhnosti v fizicheskom tekste s pomoshch'yu PEVM [An automated method for estimating the number of different kinds of information and the complexity of the physical text via PC]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy* [News of higher educational institutions]. 2014, I. 3(31), pp. 200 — 209.
7. Mayer R.V. Klassifikatsiya tem shkol'nogo kursa fiziki na osnove otsenki ikh fizicheskoy i matematicheskoy slozhnosti [Classification of the school course of physics on the basis of assessment of their physical and mathematical complexity]. *Innovatsii v obrazovanii* [Innovations in Education]. 2014, I. 9, pp. 29–38.
8. Mikk Ya.A. *Optimizatsiya slozhnosti uchebnogo teksta: v pomoshch' avtoram i redaktoram* [Optimization of the complexity of the educational text: to help authors and editors]. Moscow, Prosveshchenie Publ., 1981, 119 p.
9. Osborneva I.V. *Avtomatizirovannaya otsenka slozhnosti uchebnykh tekstov na osnove statisticheskikh parametrov. Kand. Diss* [Automated estimation of complexity of educational texts on the basis of statistical parameters. Kand. Diss]. Moscow, 2006, 165 p.