

Майер Роберт Валерьевич

ФБГОУ ВПО «Глазовский государственный педагогический институт им В.Г.Короленко»

Профессор кафедры физики и дидактики физики

Доктор педагогических наук, доцент

E-Mail: robert_maier@mail.ru

Оценка дидактической сложности физических понятий методом парных сравнений

Аннотация. Рассмотрен простой метод оценки дидактической сложности понятий, обозначающих физические приборы (или устройства) и величины. Предполагается, что дидактическая сложность зависит от: 1) возможности и сложности экспериментального изучения прибора или метода измерения величины; 2) сложности объяснения принципа работы прибора или теоретического изучения физической величины. Используется компьютерная программа, которая позволяет оценить степень наличия оцениваемого качества в том или ином понятии методом парных сравнений. В результате получены оценки дидактической сложности 28 физических приборов и 26 величин.

Ключевые слова: обучение; дидактика; методика обучения физике; физические приборы; физические величины; сложность системы; метод парных сравнений; математические методы; сложность понятия; квалиметрия.

Оценка сложности физического текста [4] предполагает учет дидактической сложности (ДС) входящих в него понятий. Из теории систем [3] следует, что сложность любой системы зависит от степени разнообразия, количества и сложности составляющих ее элементов. Текст следует рассматривать как систему взаимосвязанных подсистем (предложений, понятий, формул, рисунков), каждая из которых также характеризуется своей сложностью [5]. Для оценки сложности понятий может быть использован метод парных сравнений, подробно рассмотренный в [1, 2, 6, 7].

Изучение физики предполагает овладение различными понятиями, которые обозначают физические объекты (вода, гравитационное поле, нейтрон), приборы и устройства (весы, амперметр, циклотрон), физические эксперименты (опыт Ома, опыт Столетова, опыт Физо), физические величины (импульс, энергия). При оценке их ДС следует учитывать: 1) возможность и сложность экспериментального изучения учеником соответствующих объектов, устройств, экспериментов и т.д.; 2) сложность теоретического объяснения сущности данного понятия; 3) сложность структуры оцениваемого объекта или понятия, зависящая от числа входящих в него элементов и связей между ними. Процедура определения ДС физического понятия: 1) не должна быть очень трудоемкой и занимать много времени; 2) должна давать число из интервала $[0; 1]$, где 0 соответствует самому простому понятию, а 1 – самому сложному; 3) должна иметь погрешность не больше 10 %.

Сначала рассмотрим оценку ДС приборов и устройств, изучаемых в школьном курсе физики. Можно предположить, что ДС устройства в равной степени зависит от следующих характеристик: 1) сложности конструкции A ; 2) сложности экспериментального изучения B , характеризующей возможность ученика увидеть и использовать этот прибор в повседневной жизни или физической лаборатории; 3) сложности C объяснения (теоретического изучения) устройства и принципов функционирования прибора, зависящая от характера происходящих процессов, описывающих их законов и т.д.

Для решения поставленной задачи был составлен список из 28 различных механических, электрических, оптических и других приборов и устройств, начиная от линейки, весов и заканчивая циклотроном и ядерным реактором. Для каждого устройства были оценены характеристики A , B , C и вычислена дидактическая сложность S . Это позволило расположить приборы в порядке возрастания их дидактической сложности и использовать получившийся список для оценки ДС других приборов и устройств.

Для оценки сложности A конструкции устройства определялось количество N входящих в рассматриваемое устройство элементов (деталей, частей), которые изучаются школьником. Для этого можно проанализировать рисунок или словесное описание прибора и подсчитать число используемых понятий. Для того, чтобы A находилась в интервале $[0; 1]$, использовалась формула $A = (N - 1) / 9$; результаты приведены в табл. 2.

Для оценки возможности и сложности экспериментального изучения B и сложности теоретического изучения C использовался метод парных сравнений. В табл. 1, созданной в Excel, представлены предварительные результаты оценки характеристики B для 27 приборов и устройств. Если вероятность того, что учащийся может самостоятельно использовать или наблюдать использование i -ого прибора в повседневной жизни или в школе, меньше, чем j -ого устройства, то $B_i > B_j$. В этом случае на пересечении i -ой строки и j -ого столбца ставится “1”, а на пересечении j -ой строки и i -ого столбца ставится “-1”. Если сложность обоих приборов (устройств) одинакова, то в обе клетки таблицы ставятся нули. Для нахождения B_i i -того понятия необходимо найти сумму всех элементов i -той строки $B_i^{сум}$, прибавить к ней 24 и разделить на нормировочный коэффициент так, чтобы получившиеся

оценки лежали в интервале $[0; 1]$. Можно заполнить только половину таблицы (см. табл. 1), а значения B_i вычислять, вычитая из суммы элементов i -той строки сумму элементов i -того столбца и умножая результат на нормировочный коэффициент.

Таблица 1

Результаты предварительной оценки характеристики B

i	название	ВОЗМОЖНОСТЬ И СЛОЖНОСТЬ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИЗУЧЕНИЯ ПРИБОРА																											B			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27				
1	Линейка	0																											0	24	0	
2	Весы	1	0																											1	15	0,208
3	Динамометр	1	0	0																									1	10	0,313	
4	Ареометр	1	1	0	0																								2	3	0,479	
5	Секундомер, часы	1	0	-1	-1	0																							-1	18	0,104	
6	Термометр	0	-1	-1	-1	0	0																						-3	20	0,021	
7	Насос	1	0	0	0	1	1	0																					3	10	0,354	
8	Барометр-анер	1	1	0	0	1	1	1	0																				5	6	0,479	
9	Холодильник	0	-1	-1	-1	0	0	-1	-1	0																			-5	17	0,042	
10	ДВС	1	0	0	0	1	1	1	0	1	0																		5	3	0,542	
11	Психрометр	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0																	8	3	0,604	
12	Лупа	1	0	0	-1	1	1	0	0	1	-1	-1	0																1	12	0,271	
13	Телескоп	1	1	0	0	1	1	0	0	1	-1	0	1	0															5	7	0,458	
14	Спектрометр пр.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0															11	1	0,708	
15	Диффр. решетка	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0														11	1	0,708	
16	Интерфер. Майк.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0													15	-5	0,917	
17	Эл. генератор	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	-1	0	0	-1	-1	-1	0											1	7	0,375	
18	Конденсатор	1	1	1	0	1	1	0	0	1	0	-1	1	0	-1	-1	-1	1	0										4	3	0,521	
19	Трансформатор	1	1	1	0	1	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	-1	1	0	0									8	2	0,625	
20	ПП диод	1	1	1	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	-1	-1	-1	1	0	-1	0								4	4	0,5	
21	Эл лампа-диод	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	-1	1	1	1	1	0								16	1	0,813	
22	Эл. луч. трубка	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	-1	0	-1	-1	0	-1	-1	0	-1	0						-1	3	0,417	
23	Радиоприемник	1	0	0	-1	0	1	0	-1	0	-1	0	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0					-11	4	0,188		
24	Счетчик Гейгера	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-1	1	1	1	1	1	0	1	1	0				20	3	0,854	
25	Циклотрон	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0				24	0	1	
26	Масс-спектрогр.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0			24	0	1	
27	Ядерн. реактор	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0		24	0	1	
		24	15	10	3	18	20	10	6	17	3	3	12	7	1	1	-5	7	3	2	4	1	3	4	3	0	0	0				

Аналогичным образом осуществлялась оценка сложности C объяснения устройства и работы приборов. Можно представить ученика 6 класса, еще не изучавшего физику, либо человека, давно окончившего школу, которому объясняют устройство и принцип работы того или иного прибора, не демонстрируя его. Понятно, что чем сложнее прибор и принципы его функционирования, тем больше времени и усилий потребуется для объяснения. Сложность объяснения принципа работы прибора (устройства) зависит от сложности используемых моделей, понятий и законов, которые определяются характером происходящих процессов и взаимодействий. Механические устройства, как правило, проще тепловых, а те проще электрических и т.д. Если физические процессы расположить по возрастанию сложности, то получится ряд: механические, тепловые, электромагнитные и оптические, квантовые и ядерные.

Таблица 2

Сводная таблица результатов оценки

<i>i</i>	название	<i>N</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>S</i>
1	линейка	1	0,000	0,000	0,000	0,000
2	весы	4	0,333	0,187	0,126	0,218
3	динамометр	3	0,222	0,271	0,117	0,209
4	ареометр	3	0,222	0,486	0,194	0,313
5	секундомер, часы	8	0,778	0,093	0,369	0,413
6	термометр	3	0,222	0,121	0,117	0,156
7	насос	4	0,333	0,215	0,068	0,207
8	барометр-анероид	5	0,444	0,430	0,301	0,402
9	холодильник	6	0,556	0,093	0,505	0,390
10	ДВС	6	0,556	0,523	0,563	0,564
11	психрометр	5	0,444	0,664	0,388	0,516
12	лупа	2	0,111	0,252	0,301	0,232
13	телескоп	3	0,222	0,439	0,573	0,431
14	спектрометр	5	0,444	0,664	0,388	0,516
15	диффр. решетка	3	0,222	0,738	0,854	0,637
16	интерферометр М.	6	0,556	0,907	0,942	0,835
17	эл. генератор	6	0,556	0,505	0,757	0,626
18	амперметр	5	0,444	0,467	0,602	0,522
19	конденсатор	3	0,222	0,542	0,272	0,360
20	трансформатор	3	0,222	0,551	0,699	0,516
21	ПП диод	3	0,222	0,551	0,796	0,550
22	эл. лампа-диод	4	0,333	0,785	0,699	0,634
23	эл. луч. трубка	6	0,556	0,514	0,777	0,637
24	радиоприемник	8	0,778	0,140	1,000	0,654
25	счетчик Гейгера	5	0,444	0,794	0,660	0,659
26	циклотрон	6	0,556	0,963	0,874	0,831
27	масс-спектрограф	5	0,444	0,907	0,621	0,685
28	ядерный реактор	10	1,000	1,000	0,913	1,000

Кроме оценки характеристик *B* и *C* с помощью таблиц Excel также использовался другой способ. На языке Pascal была написана компьютерная программа ПР-1, которая выводила на экран два сравниваемых понятия. Одно понятие — заранее заданное название *i*-ого прибора, а другое — случайным образом выбранное из входного файла, содержащего список из 28 физических приборов и устройств. Эксперт должен был сравнить оцениваемые качества этих двух приборов (то есть сложности *B* или *C*) и ввести с клавиатуры символы “+”, “0” или “-“, что соответствует “больше”, “примерно одинаково”, “меньше”. Затем компьютер случайно выбирал следующее понятие и снова выводил его рядом с названием *i*-ого прибора, а эксперт снова сравнивал оцениваемые качества этих понятий. После того, как *i*-ое понятие было сопоставлено с каждым понятием из входного файла, результат помещался в выходной файл в виде строки “+ + + ... + 0 0 - + ... - 0 + - -”. В результате полного перебора всего списка приборов каждая пара понятий сравнивалась дважды, что позволило уменьшить влияние случайных факторов. Из этих строк вручную создавался текстовый файл, содержащий матрицу 28 x 28. Этот файл анализировался программой ПР-2, которая для каждой *i*-ой строки находила сумму всех плюсов и из нее вычитала сумму всех минусов, получая результат x_i . Аналогичная процедура осуществлялась со столбцами; для *i*-ого столбца получалось y_i . Величина оцениваемого качества считается пропорциональной разности $x_i - y_i$. К ней прибавлялась некоторая постоянная и результат умножался на коэффициент так, чтобы максимальное значение характеристики равнялось 1 а минимальное — 0. При этом использовались формулы: $B_i = (x_i - y_i + 53)/107$, $C_i = (x_i - y_i + 54)/103$.

Для нахождения дидактической сложности S_i характеристики A_i , B_i и C_i складывались, а результат умножался на такой коэффициент, чтобы полученное значение S_i находилось в интервале [0; 1]. Использовалась формула: $S_i = (A_i + B_i + C_i)/2,81$. Полученные результаты оценки характеристик A_i , B_i , C_i и дидактической сложности S_i представлены в табл. 2. Связь между ними характеризуется коэффициентами корреляции: $r_{AB} = 0,28$, $r_{AC} = 0,55$, $r_{BC} = 0,62$. С помощью пакета Excel можно упорядочить приборы по возрастанию сложности S_i и получить диаграмму, изображенную на рис. 1.

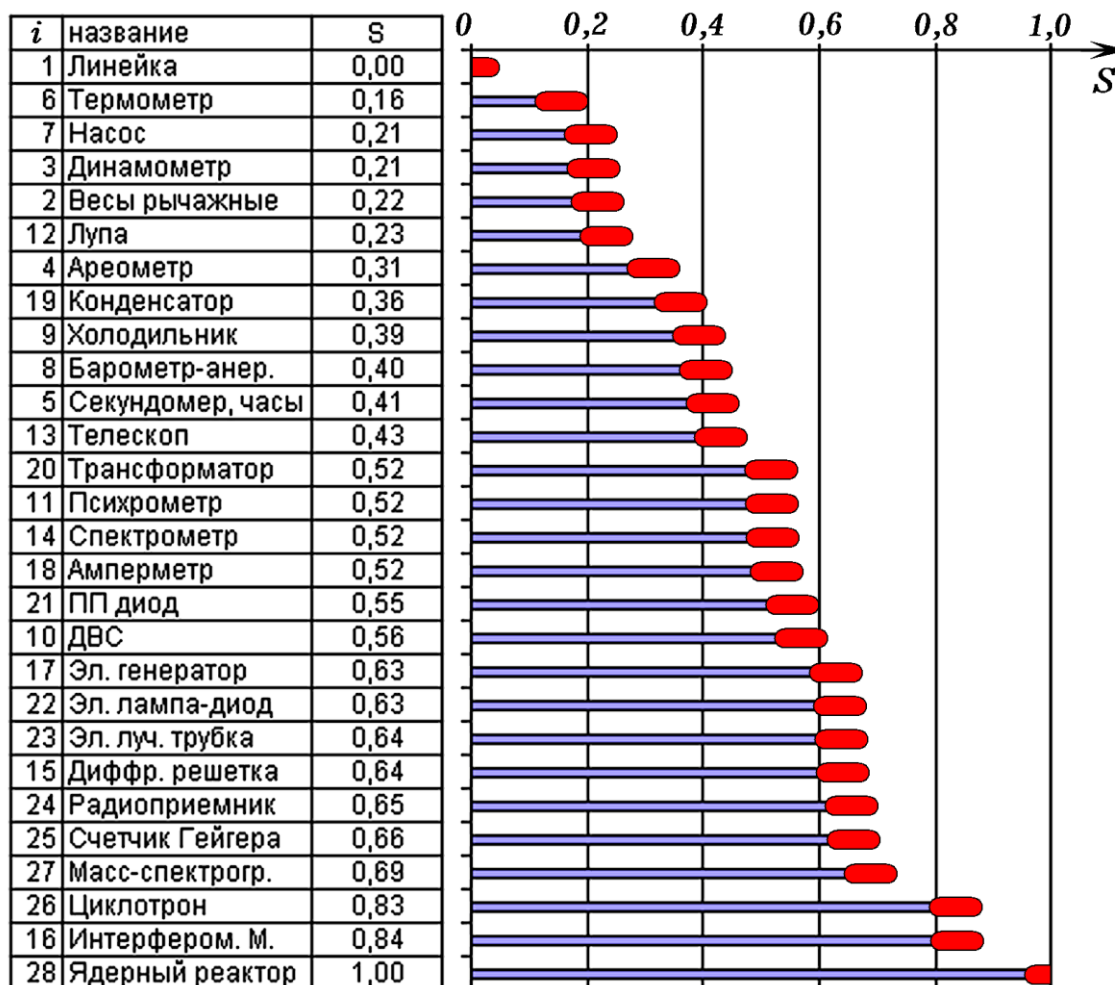


Рис. 1. Результаты оценки дидактической сложности физических приборов

Полученные результаты оценки сложности S приборов и устройств имеют погрешность около 0,1. Из рис. 1 следует, что ДС конденсатора ощутимо меньше ДС трансформатора, но больше чем ДС весов, а циклотрон и интерферометр Майкельсона примерно одинаково сложны для изучения.

Аналогичным образом была произведена оценка дидактической сложности 26 физических величин. Предполагалось, что она зависит от сложности объяснения (теоретического изучения) A и сложности (или возможности) измерения этой величины учеником B . Для их оценки также использовался метод парных сравнений, реализованный с помощью описанной выше компьютерной программы. Полученный результат нормировался так, чтобы у самого простого понятия $S = 0$, а у самого сложного — $S = 1$. Оказалось, что между полученными оценками A и B имеет место слабая связь; коэффициент корреляции 0,43. Если понятия расположить в порядке возрастания их ДС S , то получится следующий ряд: время — 0; средняя скорость — 0,15; жесткость — 0,18; фокусное расстояние — 0,19; кинетическая энергия — 0,31; момент силы — 0,32; температура — 0,32; увеличение — 0,34; сила тока — 0,36; количество вещества — 0,46; концентрация — 0,51; работа силы — 0,53; электрическая мощность — 0,56; период полураспада — 0,56; удельная теплоемкость — 0,60; ЭДС — 0,60; освещенность — 0,63; потенциал — 0,65; длина волны — 0,65; внутренняя энергия — 0,68; атомное число — 0,68; работа выхода электрона — 0,86; интенсивность ЭМВ — 0,89; индукция магнитного поля — 0,93; главное квантовое число — 0,99; удельная энергия связи — 1,0.

Итак, в статье рассмотрены результаты оценки дидактической сложности понятий, обозначающих физические приборы и величины, которая основана на использовании метода парных сравнений [1, 2, 6, 7]. Автору не известны работы, в которых была бы решена эта проблема. Полученные результаты имеют погрешность не более 0,1 и могут применяться для определения дидактической сложности других понятий, обозначающих физические приборы и величины. Для этого их необходимо сравнить с понятиями, сложность которых уже определена. Все это может быть использовано для оценки сложности изучаемого материала, учебного текста и т.д.

ЛИТЕРАТУРА

1. Битинас Б. Многомерный анализ в педагогике и педагогической психологии – Вильнюс, 1971. – 347 с.
2. Дюк В.А. Компьютерная психодиагностика. — С.П.: Братство, 1994. — 364 с.
3. Лаврушина Е.Г., Слугина Н.Л. Теория систем и системный анализ: Учебное пособие. — Владивосток: Издательство ВГУЭС, 2007. — 171 с.
4. Майер Р. В. Метод оценки физической сложности тем школьного курса физики // Концепт. – 2014. – № 08 (август). – ART 14199. – URL: <http://e-koncept.ru/2014/14199.htm>. – Гос. рег. Эл. № ФС 77–49965.
5. Микк Я.А. Оптимизация сложности учебного текста: В помощь авторам и редакторам. — М.: Просвещение, 1981. — 119 с.
6. Психосемантика слова и лингвостатистика текста: Методические рекомендации к спецкурсу / Сост. А.П. Варфоломеев. — Калинингр. Ун-т: Калининград, 2000. — 37 с.
7. Толстова Ю.Н. Основы многомерного шкалирования: учебное пособие. — М.: КДУ, 2006. — 160 с.

Robert Mayer

The Glazov Korolenko State Pedagogical Institute

Russia, Glazov

robert_maier@mail.ru

Assessment of Didactic Complexity of Physical Notions by Method of Pair Comparisons

Abstract. Is considered the simple method of an assessment of didactic complexity of the notions designating physical devices and physical quantities. Is supposed that their didactic complexity depends from: 1) opportunities and difficulties of experimental studying of the device or method of measurement of physical quantity; 2) difficulties of an explanation of the principle of operation of the device or of a theoretical studying of physical quantity. The computer program which allows to estimate extent of presence of the estimated quality in this or that notion by method of pair comparisons is used. As a result estimates of didactic complexity of 28 physical devices and 26 physical quantities are received.

Keywords: training; didactics; technique of training in physics; physical devices; physical quantities; complexity of system; method of pair comparisons; mathematical methods; complexity of concept; qualimetry.

REFERENCES

1. Bitinas B. Mnogomernyy analiz v pedagogike i pedagogicheskoy psikhologii – Vil'nyus, 1971. – 347 s.
2. Dyuk V.A. Komp'yuternaya psikhodiagnostika. — S.P.: Bratstvo, 1994. — 364 s.
3. Lavrushina E.G., Slugina N.L. Teoriya sistem i sistemnyy analiz: Uchebnoe posobie. — Vladivostok: Izdatel'stvo VGUES, 2007. — 171 s.
4. Mayer R. V. Metod otsenki fizicheskoy slozhnosti tem shkol'nogo kursa fiziki // Kontsept. – 2014. – № 08 (avgust). – ART 14199. – URL: <http://e-koncept.ru/2014/14199.htm>. – Gos. reg. El. No FS 77–49965.
5. Mikk Ya.A. Optimizatsiya slozhnosti uchebnogo teksta: V pomoshch' avtoram i redaktoram. — M.: Prosveshchenie, 1981. — 119 s.
6. Psikhosemantika slova i lingvostatistika teksta: Metodicheskie rekomendatsii k spetskursu / Sost. A.P. Varfolomeev. — Kaliningr. Un–t: Kaliningrad, 2000. – 37 s.
7. Tolstova Yu.N. Osnovy mnogomernogo shkalirovaniya: uchebnoe posobie. — M.: KDU, 2006. — 160 s.