

УДК 37.02

ЭФФЕКТИВНЫЙ МЕТОД ОЦЕНКИ ДИДАКТИЧЕСКОЙ СЛОЖНОСТИ ФИЗИЧЕСКИХ ПОНЯТИЙ

Майер Р.В.

*ФГБОУ ВПО «Глазовский государственный педагогический институт
им В.Г. Короленко», Глазов, e-mail: robert_maier@mail.ru*

Рассмотрены методика и результаты оценки дидактической сложности понятий, обозначающих физические приборы (или устройства), величины и физические эксперименты. Предполагается, что дидактическая сложность зависит от: 1) возможности и сложности экспериментального изучения прибора, метода измерения величины или проведения опыта; 2) сложности объяснения принципа работы прибора, теоретического изучения физической величины или результатов эксперимента. Используется компьютерная программа, которая позволяет оценить степень наличия оцениваемого качества в том или ином понятии методом парных сравнений. Она случайно выбирает понятия из входного файла, выводит их на экран, воспринимает оценку эксперта и записывает ее в выходной файл. На основе полученных данных осуществлена оценка дидактической сложности 28 приборов, 26 величин и 37 экспериментов из различных разделов физики и их упорядочивание по возрастанию этой характеристики. Полученные результаты можно использовать для оценки дидактической сложности других физических понятий.

Ключевые слова: дидактика, методика обучения физике, метод парных сравнений, математические методы в педагогике, квалиметрия, педагогическая экспертиза

EFFECTIVE METHOD OF THE ASSESSMENT DIDACTIC DIFFICULTIES OF PHYSICAL NOTIONS

Mayer R.V.

*FSBEI of HPE «The Glazov Korolenko State Pedagogical Institute»,
Glazov, e-mail: robert_maier@mail.ru*

The effective method of an assessment of didactic complexity of the notions designating physical devices, physical quantities and physical experiments is considered. It is supposed that their didactic complexity depends from: 1) opportunities and difficulties of experimental studying of the device, method of measurement of physical quantity or carrying out experiment; 2) difficulties of an explanation of the principle of operation of the device, theoretical studying of physical quantity or results of experiment. The computer program which allows to estimate extent of presence of given quality in this or that notion by method of pair comparisons is used. She incidentally chooses notions from the entrance file, displays them, perceives an assessment of the expert and writes down it in the output file. On the basis of the obtained data the assessment of didactic complexity of 28 devices, 26 quantities and 37 experiments from various sections of physics is carried out. The received results can be used for an assessment of didactic complexity of other physical concepts.

Keywords: didactics, a technique of training in physics, a method of pair comparisons, mathematical methods in pedagogics, qualimetry, pedagogical examination

Оценка сложности учебного текста является важной проблемой теории обучения [4]. Ее решение требует учета 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 представляет собой 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, интенсивность). Настоящая работа посвящена разработке эффективного метода оценки ДС понятий, обозначающих физические приборы, величины и эксперименты (или наблюдения), который позволяет получить значение ДС за небольшое количество шагов.

В теории познания выделяют внешний аспект объекта познания – явление и внутренний аспект – сущность, что соответствует делению естественно-научных знаний на эмпирические и теоретические. Физическая наука есть синтез теории и практики; любое физическое понятие может быть рассмотрено как с экспериментальной, так и с теоретической точек зрения. Поэтому логично предположить, что дидактическая сложность S физического понятия пропорциональна сумме двух характеристик:

1) возможности и сложности экспериментального изучения A учеником соответ-

ствующего прибора, эксперимента, физической величины;

2) сложности объяснения или теоретического изучения B сущности этого понятия.

Эти обе характеристики зависят от сложности структуры оцениваемого объекта, количества составляющих его элементов и связей между ними. Процедура определения ДС физического понятия не должна быть очень трудоемкой и занимать много времени, а погрешность оценки не должна превышать 10%. Можно использовать формулу

$$S_i = a(A_i + B_i) + b,$$

где a и b подбираются так, чтобы ДС S_i лежала в интервале $[0; 1]$, где 0 соответствует самому простому понятию, а 1 – самому сложному. С помощью метода парных сравнений можно точно оценить ДС 20–30 понятий из различных разделов физики и, расположив их в порядке возрастания, использовать получившийся список для оценки ДС других понятий, которые не подвергались анализу.

Дидактическая сложность физических приборов

Применяемую методику оценки ДС подробно рассмотрим на примере понятий, обозначающих физические приборы и устройства. На основе анализа школьных учебников был составлен список из $N = 28$ случайным образом выбранных механических, электрических, оптических и других приборов и устройств, начиная от линейки, весов и заканчивая циклотроном и ядерным реактором.

Для оценки возможности и сложности экспериментального изучения A и сложности теоретического изучения B использовался метод парных сравнений. В электронных таблицах Excel была создана таблица из N строк и N столбцов, содержащих сравниваемые понятия. Если вероятность того, что учащийся может самостоятельно использовать или наблюдать использование i -го прибора в повседневной жизни или в школе, меньше, чем j -го устройства, то $A_i > A_j$. В этом случае на пересечении i -й строки и j -го столбца ставится «1», а на пересечении j -й строки и i -го столбца ставится «-1». Если сложность обоих приборов (устройств) примерно одинакова, то в обе клетки таблицы ставятся нули. Можно уверенно утверждать, что понятия «масс-спектрограф», «осциллограф», «амперметр», «весы» расположены в порядке уменьшения характеристики A . Для нахождения A_i i -го понятия необходимо найти сумму всех элементов i -й строки $A_{i\text{sum}}$, прибавить к ней

некоторую постоянную и разделить на нормировочный коэффициент так, чтобы минимальное значение A_i было равно 0, а максимальное – 1.

Аналогичным образом осуществлялась оценка сложности B 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 физические принципы его функционирования, тем больше времени и усилий потребуются для объяснения. Некоторые приборы (весы) почти не требуют объяснений, другие (циклотрон) – предполагают довольно сложные рассуждения. Сложность объяснения принципа работы прибора (устройства) зависит от числа составляющих его элементов, 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.

Кроме оценки характеристик A и B 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 -го прибора, а другое – случайным образом выбранное понятие из входного файла, содержащего список из 28 физических приборов и устройств. Эксперт должен был сравнить оцениваемые качества этих двух приборов (то есть сложности A или B) 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 -го прибора, а эксперт снова сравнивал оцениваемые качества этих понятий. После того, как i -е понятие было сопоставлено с каждым понятием из входного файла, результат помещался в выходной файл в виде строки «+ + + ... +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 28×28 . Этот файл анализировался программой ПР-2, которая для каждой i -й строки находила сумму всех плюсов и из

нее вычитала сумму всех минусов, получая результат x_i . Аналогичная процедура осуществлялась со столбцами; для i -го столбца получалось y_i . Величина оцениваемого качества считается пропорциональной разности $x_i - y_i$. К ней прибавлялась некоторая постоянная и результат умножался на ко-

эффициент так, чтобы максимальное значение характеристики равнялось 1, а минимальное – 0. При этом использовались формулы

$$A_i = \frac{x_i - y_i + 53}{107}; \quad B_i = \frac{x_i - y_i + 54}{103}.$$

Таблица 1

Сводная таблица результатов оценки ДС приборов

Понятие	A	B	S	Понятие	A	B	S
Линейка	0,000	0,000	0,000	ДВС	0,523	0,563	0,568
Термометр	0,121	0,117	0,124	Радиоприемник	0,140	1,000	0,596
Насос	0,215	0,068	0,148	Спектрометр	0,748	0,485	0,645
Весы рычажные	0,187	0,126	0,164	Трансформатор	0,551	0,699	0,654
Динамометр	0,271	0,117	0,203	Электро-генератор	0,505	0,757	0,660
Секундомер, часы	0,093	0,369	0,242	Электронная лучевая трубка	0,514	0,777	0,675
Лупа	0,252	0,301	0,289	ПП диод	0,551	0,796	0,704
Холодильник	0,093	0,505	0,313	Счетчик Гейгера	0,794	0,660	0,760
Ареометр	0,486	0,194	0,356	Эл. лампа-диод	0,785	0,699	0,776
Барометр-анероид	0,430	0,301	0,382	Масс-спектрогр.	0,907	0,621	0,799
Конденсатор	0,542	0,272	0,425	Дифракционная решетка	0,738	0,854	0,833
Телескоп	0,439	0,573	0,529	Циклотрон	0,963	0,874	0,960
Психрометр	0,664	0,388	0,550	Интерфером. М.	0,907	0,942	0,966
Амперметр	0,467	0,602	0,559	Ядерный реактор	1,000	0,913	1,000

Для нахождения дидактической сложности S_i характеристики A_i , B_i складывались, а результат умножался на такой коэффициент, чтобы полученное значение S_i находилось в интервале $[0; 1]$, причем наименьшее S равнялось 0, а наибольшее – 1. Использовалась формула

$$S_i = \frac{A_i + B_i}{1,91}.$$

Результаты оценки характеристик A_i , B_i и дидактической сложности S_i представлены в табл. 1; в ней понятия упорядочены по возрастанию S_i . Связь между A и B характеризуется коэффициентом корреляции $r_{AB} = 0,63$. Из табл. 1 следует, что ДС конденсатора ощутимо меньше ДС трансформатора, но больше чем ДС весов, а циклотрон и интерферометр Майкельсона примерно одинаково сложны для изучения.

Дидактическая сложность физических величин

Аналогичным образом была произведена оценка дидактической сложности 26 величин из школьного курса физики. Предполагалось, что она пропорциональна сумме сложности объяснения (теоретического изучения) A и сложности (или возможности) измерения этой величины учеником B . Для оценки A и B также использовался метод парных сравнений, реализованный с помощью компью-

терной программы. Полученный результат нормировался так, чтобы у самого простого понятия $S = 0$, а у самого сложного – $S = 1$.

Результаты оценки ДС физических величин представлены в табл. 2. Хотя они содержат величины с тремя значащими цифрами, погрешность составляет около 0,1. Оказалось, что между полученными оценками A и B имеет место слабая связь; коэффициент корреляции 0,43. На основе данных из табл. 1 и 2 нарисован рисунок. Полученные значения S_i позволяют оценить дидактическую сложность понятий, не вошедших в табл. 1 и 2. Например, угол поворота – 0,0–0,1, напряженность электрического поля – 0,6–0,7, спектральная плотность излучения – 0,9, гальванический элемент – 0,3–0,4, ваттметр – 0,5–0,6 и т.д.

Дидактическая сложность физических экспериментов

При оценке дидактической сложности физических экспериментов можно исходить из той же модели «теория – практика». ДС понятия, обозначающего физический опыт или наблюдение, зависит от двух факторов:

- 1) сложности объяснения (теоретического изучения) A этого эксперимента (наблюдения), осуществляемого умозрительно, то есть без выполнения самого опыта;
- 2) сложности (или возможности) выполнения B рассматриваемого эксперимента учеником в повседневной жизни или на уроке.

Таблица 2

Сводная таблица результатов оценки ДС физических величин

Понятие	A	B	S	Понятие	A	B	S
Время, расстояние	0,000	0,000	0,000	Период полураспада	0,849	0,218	0,558
Средняя скорость	0,172	0,115	0,150	Удельная теплоемкость	0,602	0,540	0,597
Жесткость пружины	0,258	0,092	0,183	ЭДС источника	0,258	0,897	0,604
Фокусное расстояние	0,194	0,172	0,191	Освещенность	0,323	0,874	0,626
Кинетическая энергия	0,301	0,287	0,308	Потенциал	0,387	0,851	0,648
Момент силы	0,280	0,333	0,320	Длина волны	0,720	0,517	0,647
Температура	0,054	0,563	0,323	Внутренняя энергия	0,785	0,517	0,681
Увеличение	0,355	0,299	0,342	Атомное число	0,989	0,310	0,680
Сила тока	0,247	0,448	0,364	Работа выхода	0,742	0,897	0,857
Кол-во вещества	0,344	0,540	0,462	Интенсивность ЭМВ	0,774	0,931	0,892
Концентрация	0,667	0,299	0,505	Индукция МП	0,785	1,000	0,934
Работа силы	0,344	0,629	0,509	Главное квант. число	1,000	0,897	0,992
Электрическая мощность	0,527	0,552	0,564	Удельная энергия связи	0,946	0,966	1,000

При оценке сложности теоретического изучения *A* эксперт должен представить учителя, который описывает условия проведения опыта и объясняет его результат человеку, не изучавшему физику. Объяснение должно быть максимально кратким и опираться на формулы и законы, выделенные в стандартном учебнике в рамку и жирным шрифтом. Предполагается, что, объясняя опыт «демонстрация закона преломления света», учитель ссылается на закон преломления, а не на принцип Гюйгенса – Френеля,

из которого этот закон может быть выведен. Сложность объяснения опыта зависит от количества элементов (приборов), составляющих экспериментальную установку, сложности используемых законов и понятий, степени абстрактности рассуждений, динамизма наблюдаемых явлений, необходимости использования воображения, математических моделей и абстрактных рассуждений. Понятно, что сложность объяснения опыта «кольца Ньютона» ощутимо выше, чем опыта «закон Ома».



Результаты оценки дидактической сложности приборов и величин

Сложность и возможность выполнения *B* опыта учеником тем выше, чем меньше вероятность того, что среднестатистический ученик выполнит данный эксперимент

дома или в школе. Эта характеристика зависит от количества и доступности используемых приборов и устройств. Ясно, эксперименты «измерение температуры тела»,

«односторонняя проводимость полупроводникового диода», «счетчик Гейгера», «работа ядерного реактора» расположены в порядке возрастания характеристики B .

Для определения A и B также использовался метод парных сравнений, реализованный с помощью описанной выше компьютерной программы. Оказалось, что оценки A и B связаны между собой: коэффициент корреляции между ними 0,58. ДС опыта рассчитывалась по формуле

$$S_i = \frac{A_i + B_i}{1,92}.$$

Если понятия расположить в порядке возрастания сложности S , используя формат «название i -го опыта (наблюдения), (A_i ; B_i) – S_i », то получится следующая последовательность:

- 1) измерение температуры термометром (0; 0,008) – 0,00;
- 2) измерение массы весами (0,061; 0,0) – 0,03;
- 3) тепловое расширение твердых тел (шар Гравезанда) (0,183; 0,023) – 0,11;
- 4) изучение закона Гука для пружины, резины (0,168; 0,077) – 0,13;
- 5) определение силы Архимеда динамометром (0,137; 0,115) – 0,13;
- 6) измерение плотности ареометром (0,168; 0,131) – 0,16;
- 7) диффузия медного купороса (0,183; 0,138) – 0,17;
- 8) зависимость периода колебаний математического маятника от длины (0,191; 0,182) – 0,20;
- 9) измерение влажности психрометром (0,382; 0,246) – 0,33;
- 10) измерение g на машине Атвуда (0,290; 0,492) – 0,41;
- 11) закон преломления (шайба Гартли) (0,405; 0,385) – 0,41;
- 12) опыт Кулона (0,473; 0,354) – 0,43;
- 13) наблюдение броуновского движения (0,771; 0,154) – 0,48;
- 14) дисперсия света (Ньютон) (0,397; 0,538) – 0,49;
- 15) электролиз медного купороса (0,481; 0,523) – 0,52;
- 16) электромагнитная индукция (опыты Фарадея) (0,389; 0,615) – 0,52;
- 17) односторонняя проводимость полупроводникового диода (0,321; 0,692) – 0,53;
- 18) опыты с кольцом Ленца (индукционный ток) (0,374; 0,646) – 0,53;
- 19) работа трансформатора (0,489; 0,723) – 0,63;
- 20) камера Вильсона (0,771; 0,477) – 0,65;
- 21) затухающие колебания в колебательном контуре (с осциллографом) (0,588; 0,677) – 0,66;

- 22) опыт Кавендиша по измерению G (1,0; 0,292) – 0,67;
- 23) кольца Ньютона (0,412; 0,885) – 0,68;
- 24) счетчик Гейгера (0,748; 0,631) – 0,72;
- 25) измерение скорости света Физо (0,992; 0,40) – 0,73;
- 26) усилительные свойства транзистора (0,550; 0,846) – 0,73;
- 27) измерения скорости света Ремером (0,977; 0,438) – 0,74;
- 28) резонанс электромагнитных колебаний в LC-контуре (0,634; 0,815) – 0,75;
- 29) детекторный радиоприемник (0,565; 1,00) – 0,82;
- 30) фотоэффект (опыт Столетова) (0,656; 0,923) – 0,82;
- 31) поляризация ЭМВ (СВЧ генератор с рупорной антенной) (0,756; 0,831) – 0,83;
- 32) опыт Резерфорда (строение атома) (0,985; 0,615) – 0,83;
- 33) отклонение альфа-, бета- и гамма-лучей в МП (0,977; 0,70) – 0,87;
- 34) работа масс-спектрографа (0,893; 0,854) – 0,91;
- 35) ядерный взрыв, неуправляемая ядерная реакция (0,992; 0,777) – 0,92;
- 36) работа циклотрона (0,992; 0,923) – 1,0;
- 37) работа ядерного реактора (0,985; 0,938) – 1,0.

Заключение

В настоящей работе рассмотрены результаты оценки дидактической сложности понятий, обозначающих физические приборы, величины и физические эксперименты (наблюдения), которая основана на использовании метода парных сравнений [1, 2, 6, 7]. Автору не известны работы, в которых была бы решена эта проблема. Так как каждое понятие сравнивалось с более чем 25 другими понятиями, выбранными случайно, то полученные результаты имеют погрешность не более 0,1. Они 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.

Список литературы

1. Битинас Б. Многомерный анализ в педагогике и педагогической психологии – Вильнюс, 1971. – 347 с.
2. Дюк В.А. Компьютерная психодиагностика. – СПб.: Братство, 1994. – 364 с.
3. Лаврушина Е.Г., Слугина Н.Л. Теория систем и системный анализ: учебное пособие. – Владивосток: Изд-во 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>.

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. – Калининград: ун-т: Калининград, 2000. – 37 с.

7. Толстова Ю.Н. Основы многомерного шкалирования: учебное пособие. – М.: КДУ, 2006. – 160 с.

5. Mikk Ja.A. Optimizacija slozhnosti uchebnogo teksta: V pomoshh' avtoram i redaktoram [Optimization of complexity of the educational text: For the aid to authors and editors]. M.: Prosveshhenie, 1981. 119 p.

6. Psihosemantika slova i lingvostatistika teksta: Metodicheskie rekomendacii k speckursu [Psychosemantics of the word and linguostatistics of the text: Methodical recommendations to a special course] / A.P. Varfolomeev. Kaliningr. Un-t: Kaliningrad, 2000. 37 p.

7. Tolstova Ju.N. Osnovy mnogomernogo shkalirovanija: Uchebnoe posobie. [Bases of multidimensional scaling: Manual] M.: KDU, 2006. 160 p.

References

1. Bitinas B. Mnogomernyj analiz v pedagogike i pedagogicheskoj psihologii [The multidimensional analysis in pedagogics and pedagogical psychology]. Vil'njus, 1971. 347 p.

2. Djuk V.A. Komp'juternaja psihodiagnostika [Computer psychodiagnosics]. S.P.: Bratstvo, 1994. 364 p.

3. Lavrushina E.G., Slugina N.L. Teorija sistem i sistemnyj analiz: Uchebnoe posobie [Theory of systems and system analysis: Manual]. Vladivostok: Izdatel'stvo VGUJeS, 2007. 171 p.

4. Mayer R.V. Metod ocenki fizicheskoj slozhnosti tem shkol'nogo kursa fiziki [Metod of an assessment of physical complexity that school course of physics] // Koncept. – 2014. – no. 08 (avgust). ART 14199. URL: <http://e-koncept.ru/2014/14199.htm>.

Рецензенты:

Казаринов А.С., д.п.н., профессор кафедры информатики, теории и методики обучения информатике, ФГБОУ ВПО «Глазовский государственный педагогический институт им. В.Г. Короленко», г. Глазов;

Саранин В.А., д.ф.-м.н., профессор кафедры физики и дидактики физики, ФГБОУ ВПО «Глазовский государственный педагогический институт им. В.Г. Короленко», г. Глазов.

Работа поступила в редакцию 17.10.2014.