

УДК 37.02

ОЦЕНКА ДИДАКТИЧЕСКОЙ СЛОЖНОСТИ ШКОЛЬНЫХ УЧЕБНИКОВ ФИЗИКИ

Майер Р.В.

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

Рассмотрена проблема определения дидактической сложности стандартных школьных учебников по физике за 7–11 классы. Предполагается, что дидактическая сложность учебника в основном определяется уровнем абстрактности изложенного в нем материала, а ее составляющими являются: 1) терминологическая сложность, зависящая от количества терминов в единице объема текста и их абстрактности; 2) математическая сложность, зависящая от количества и сложности используемых формул и рисунков, содержащих математические абстракции, в пересчете на единицу объема. Для подсчета понятий в тексте и учета их сложности применялась специальная программа, обращающаяся к словарю-тезаурусу, содержащему список терминов и коэффициенты их абстрактности. Суммарная сложность встречающихся в тексте понятий, отнесенная к общему количеству слов, является характеристикой терминологической сложности текста. Полученные результаты позволяют оценить дидактическую сложность учебников.

Ключевые слова: дидактика, квалиметрия, математические методы, педагогика, педагогическая экспертиза, сложность, теория обучения, учебники, методика физики

ASSESSMENT OF DIDACTIC COMPLEXITY OF SCHOOL PHYSICS TEXTBOOKS

Mayer R.V.

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

The problem of the didactic complexity determination of standard school physics textbooks for 7–11 classes is considered. It is supposed that didactic complexity of the textbook is defined generally by the level of abstractness of the material stated in it. Its components are: 1) the terminological complexity depending on number of notions (terms) per unit volume of the text and their abstractness; 2) the mathematical complexity depending on the number and complexity of the used formulas and pictures containing mathematical abstractions per unit volume. The special program which addresses to the dictionary–thesaurus containing the list of notions and coefficients of their abstractness was used to calculate the number of notions in the text and taking into account their complexity. The total complexity of the notions which are found in the text divided by the total number of words is the characteristic of terminological complexity of the text. The received results allow to estimate didactic complexity of textbooks.

Keywords: complexity, didactics, mathematical methods, pedagogics, pedagogical examination, physics technique, theory of training, textbooks, qualimetry

Для ученика учебник является важным источником информации, моделью изучения соответствующей дисциплины. Представленный в нем учебный материал, его сложность и уровень абстрактности должны соответствовать современному содержанию науки и психологическим особенностям развития учащихся, их способностям усваивать и осмысливать получаемые знания. Решение этой проблемы требует разработки методов измерения количества информации в учебных текстах, оценки сложности и уровня абстрактности изложения материала методом контент-анализа [1, 3–7].

Считается, что сложность текста зависит от средней длины предложений, соотношения конкретных и абстрактных понятий, использования математических выражений и т.д. [2; 8, с. 32–46]. Для большинства школьников, изучающих физику, основную трудность представляет собой не собственно чтение текста, а понимание и усвоение некоторых довольно абстрактных рассуждений о пространстве и времени, веществе и поле, структуре материи, используемых

качественных и количественных моделей. Поэтому можно пренебречь лингвистической сложностью, считая, что дидактическая (содержательная) сложность учебника приблизительно равна его уровню абстрактности, который пропорционален числу и сложности элементов учебного материала, содержащих абстрактную информацию.

Изучение физики требует от школьников и студентов развитого абстрактного мышления. Даже рассмотрение механических и тепловых явлений предполагает использование идеализированных моделей (материальная точка, идеальный газ) и разнообразных математических абстракций (система отсчета, вектора и их проекции, формулы, графики и т.д.). Знакомясь с основами электродинамики, оптики, атомной и ядерной физики, школьники представляют в своем воображении различные объекты (электромагнитные волны, атомы, элементарные частицы) и явления (фотоэффект, ядерная реакция), для изучения которых требуется специальное оборудование, так как они не воспринимаются органами чувств.

Учебник следует рассматривать как систему взаимосвязанных элементов: суждений, формул и рисунков. Сложность системы зависит от степени разнообразия, количества и сложности составляющих ее элементов (подсистем) и связей между ними. Поэтому сложность учебника определяется числом и сложностью используемых понятий, математических формул и других элементов знания в пересчете на единицу объема текста. Можно выделить следующие две составляющие дидактической сложности учебника физики:

1) терминологическая сложность текста ST , зависящая от разнообразия и абстрактности используемых научных понятий;

2) математическая сложность SM , характеризующая разнообразие математических моделей.

Дидактическая сложность текста и ее составляющие

Если элемент учебного материала (ЭУМ), имеющий информационный объем I УЕИ (усл. ед. информации), изучается в течение времени $t_{и}$, то средняя скорость его усвоения $v = I/t_{и}$ (УЕИ/час). Чем больше сложность ЭУМ, тем больше времени $t_{и}$ и усилий должен затратить среднестатистический ученик, чтобы его усвоить. Под дидактической сложностью DS предлагается понимать безразмерную величину из интервала $[0; 1]$, зависящую от количества усилий и времени изучения $t_{и}$, которые требуется затратить, чтобы выпускник 4-го класса (или человек, давно закончивший школу) понял и усвоил одну УЕИ данного ЭУМ. При этом можно считать, что $DS \approx 1 - \exp(-\gamma \cdot t_{и}/I)$. Положим, что $\gamma \approx 0,05$ УЕИ/час. Если вопрос очевиден для ученика, то $t_{и} \approx 0$ и $DS = 0$. В случае, когда для усвоения 1 УЕИ требуется много времени ($t_{и}/I \approx 100$ часов/УЕИ), то $S \approx 1$.

Дидактическая сложность текста зависит от степени абстракции используемых понятий и проводимых рассуждений [2, 7, 9]. В зависимости от конкретной задачи можно изучать один и тот же объект на различных уровнях абстракции. В теории познания абстрактное противопоставляется конкретному. К самому низкому уровню абстракции относится конкретная вещь, воспринимаемая органами чувств (конкретный амперметр). Более высоким уровнем абстракции является понятие родовой сущности вещи («барометр вообще»). Следующий уровень соответствует использованию в своих рассуждениях объектов, которые школьник не видел (масспектрограф, рентгеновская трубка), но видел похожие на них объекты или составляющие их элементы. Еще более высокую степень

абстрактности имеют идеализированные модели (капельная модель ядра) или объекты (фотон, атом), которые нельзя пронаблюдать в повседневной жизни или в физической лаборатории. Восхождение от конкретного к абстрактному приводит к построению математических моделей, содержащих формулы с синусами, косинусами, логарифмами, интегралами и производными.

В настоящей работе были проанализированы учебники физики за 7 класс (Перышкин А.В.), 8 класс (Перышкин А.В.), 9 класс (Перышкин А.В., Гутник Е.М.), 10 класс (Мякишев Г.Я., Буховцев Б.Б., Сотский Н.Н.), 11 класс (Мякишев Г.Я., Буховцев Б.Б.); в дальнейшем они обозначаются $\Phi-7$, $\Phi-8$, ..., $\Phi-11$ соответственно. Представленный в них материал состоит из 27 тем. Для каждой i -й темы было вычислено отношение η_i объема темы N_i в страницах к объему учебника $N_{уч}$. Получающаяся величина $\eta_i = N_i/N_{уч}$ пропорциональна времени изучения каждой темы [5, 6].

Оценка математической и терминологической сложности учебного текста

Математическая сложность текста зависит от количества и сложности используемых формул и рисунков, содержащих математические абстракции, в пересчете на единицу объема. С целью ее определения для каждой i -й темы было подсчитано:

- 1) общее количество формул;
- 2) количество формул, содержащих тригонометрические функции и логарифмы;
- 3) количество формул, содержащих пределы, производные, дифференциалы и интегралы;
- 4) число рисунков, на которых изображены математические абстракции (координатные оси, вектора, силовые линии, графики).

Это позволило рассчитать комплексный показатель математической сложности темы:

$$M_i = ((M_{1i}^2 + M_{2i}^2) / 1,2)^{0,5},$$

где M_{1i} и M_{2i} – приведенные показатели сложности, учитывающие формулы и рисунки соответственно [6]. Зная математическую сложность каждой i -й темы и ее долю η_i в учебнике, можно определить математическую сложность учебника $SM = \eta_1 M_1 + \eta_2 M_2 + \dots + \eta_{27} M_{27}$. После нормирования получается $SM_7 = 0,13$, $SM_8 = 0,11$, $SM_9 = 0,30$, $SM_{10} = 1$, $SM_{11} = 0,72$ (таблица).

Терминологическая сложность ST пропорциональна сумме сложностей s_j ($j = 1, 2, \dots, N_{пон}$) всех используемых в тексте понятий [4]. Если в тексте отсутствуют на-

учные термины, то $ST = 0$. Чем больше количество терминов в пересчете на единицу объема и чем выше их сложность, тем больше терминологическая сложность текста. Для оценки ST из каждого учебника физики были сделаны случайные выборки фрагментов текста объемом 1700–3700 слов (всего 5 выборки). Для этого сканировались случайные страницы учебников, а получающиеся графические файлы обрабатывались программой для распознавания текстов, которая создавала файлы $vhod*.txt$. Эти файлы конвертировались в кодировку DOS, в них исправлялись ошибки распознавания, а все буквы переводились в один регистр.

В результате анализа файлов $vhod*.txt$ был составлен словарь-тезаурус, состоящий из нескольких текстовых файлов, содержащих списки физических, математических, химических, биологических и общенаучных терминов, встречающихся в анализируемых фрагментах текста с указанием степени их абстрактности s по шкале 1 – 2 – 3 – 4 – 5. Чтобы оценить абстрактность понятия, учитывалась степень его оторванности от повседневного опыта школьника. При этом принимались во внимание:

- 1) возможность восприятия объекта органами чувств;
- 2) возможность изменения объекта с течением времени;
- 3) количество степеней свободы;
- 4) пространственная локализация объекта;
- 5) наличие структуры;
- 6) соответствие поведения объекта «здоровому смыслу».

Понятия «движение», «воздух», «свет» используются в повседневной жизни и имеют сложность $s = 1$. Научные термины, представленные в физическом, химическом или ином энциклопедическом словаре, но не используемые в повседневной жизни, имеют сложность $s = 2, 3, 4, 5$. Наибольшую сложность имеют понятия с $s = 5$: «ядро», «мюон», «изотоп», «стационарное состояние». Один из файлов словаря содержал список понятий, состоящих из двух слов: «красная граница», «правило Ленца», «период полураспада» и т.д. Словарь содержит общие части однокоренных терминов без окончаний (например, слова «деформация», «деформировать», «деформированный» – общая часть «деформ»), позволяющих отличить данный термин от других.

Для проведения контент-анализа входного файла использовалась специальная программа $content.pas$, написанная в среде Free Pascal. Она, обращаясь к словарю, анализировала текст в файле $vhod*.txt$ и подсчитывала общее количество научных понятий N_{non} в тексте, их суммарную слож-

ность S_{sum} , количество сложных понятий $N_{s>1}$ с $s_j > 1$ ($j = 1, 2, \dots, N_{non}$). При этом создавался профиль текста, состоящий из матрицы наиболее часто встречающихся слов и их частот; а из исходного текста удалялись учтенные понятия. Результаты записывались в файл $vhod1.txt$, который при необходимости снова подвергался анализу. Удобно использовать несколько словарей, что позволит сначала подсчитать и удалить из текста двойные термины, после этого длинные термины (из пяти и более букв), затем короткие термины типа «пар», «вода» и т.д. Чтобы избежать ошибок, программа учитывает, что в тексте перед некоторыми терминами имеются пробелы; такие термины в словаре представлены в виде «_пар», «_вода». Для нахождения суммарного числа слов N_{cl} в тексте достаточно общее количество символов разделить на 6,3 (средняя длина слова, включая пробел).

Результаты оценки дидактической сложности учебников физики

Результаты оценки физической и математической сложности различных тем представлены в таблице, в которой для каждого ученика указано:

- 1) количество слов N_{cl} в текстовой выборке;
- 2) суммарная сложность $S_{sum} = s_1 + s_2 + \dots$ всех понятий в текстовой выборке;
- 3) количество понятий N_{non} ;
- 4) количество понятий $N_{s>1}$, сложность которых больше 1;
- 5) средняя сложность текста $S_{cp} = S_{sum} / (5N_{cl})$ из интервала $[0; 1]$, равная отношению суммарной сложности всех понятий к общему количеству слов в тексте, деленная на 5;
- 6) доля понятий $D = N_{non} / N_{cl}$, то есть отношение количества всех научных понятий к общему количеству слов в тексте;
- 7) доля сложных понятий $D_{s>1} = N_{s>1} / N_{cl}$, равная отношению числа сложных понятий с $s_j = 2, 3, 4, 5$ к общему количеству слов;
- 8) средняя сложность текста $ST_{s>1} = (S_{sum} - N_{non}) / (4N_{cl})$, учитывающая только сложные понятия с $s_j > 1$;
- 9) средняя сложность сложных понятий $S_{s>1} = (S_{sum} - N_{non}) / (4N_{s>1})$, равная отношению суммы сложностей всех понятий с $s_j > 1$ к их количеству, деленная на 4;
- 10) терминологическая сложность текста ST ;
- 11) математическая сложность текста SM ;
- 12) дидактическая сложность текста DS .

Так как у самых простых понятий $s_j = 1$, то разность $S_{sum} - N_{non}$ равна суммарной сложности всех терминов с $s_j > 1$.

Из таблицы видно, что доля понятий D находится в узком интервале 0,32–0,38, в то

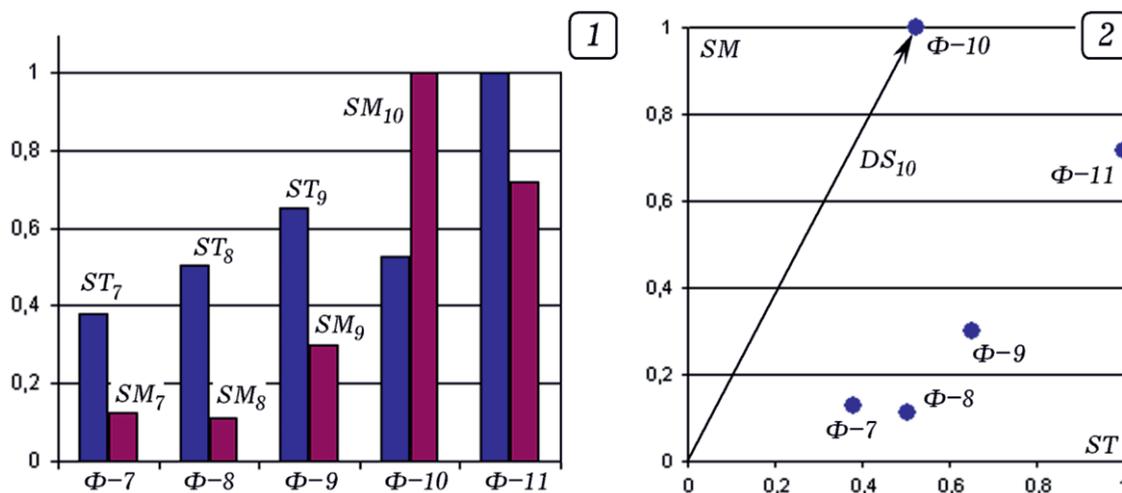
время как доля сложных понятий $D_{S>1}$ изменяется в 1,7 раза от 0,148 до 0,254. Наилучшей характеристикой терминологической сложности является величина $ST_{S>1}$, которая изменяется в 2,64 раза от 0,039 до 0,103. Средняя сложность $ST_{S>1}$ понятий с $s > 1$ в 7–9 классах возрастает, затем резко падает, возрастая в 10–11 классах. Это вызвано тем, что школьный курс физики состоит из двух циклов: сначала в 7–9 классах изучаются все разделы (механика, теплота, электродинамика, оптика, атомная физика) в порядке возрастания сложности, а в 10–11 классах. Эти же разделы изучаются на более высоком теоретическом уровне. Нормированная терминологическая сложность текста равна $ST_i = ST_{S>1,i} / 0,103$. Получается: $ST_7 = 0,38$, $ST_8 = 0,51$, $ST_9 = 0,65$, $ST_{10} = 0,52$, $ST_{11} = 1$.

На основе этих данных построена гистограмма (рисунок), из которой видно, что учебники Ф–7 и Ф–8 имеют низкую математическую сложность, а учебник Ф–10 – самую высокую. Это объясняется исполь-

зованием математических моделей при изучении механических и тепловых явлений. Для учебника Ф–10 SM почти в 2 раза превосходит ST , а для других учебников $SM < ST$. Наибольшую терминологическую сложность имеет учебник Ф–11, что обусловлено изучением электромагнитных колебаний и волн, явлений волновой оптики и квантовой физики. С ростом номера класса терминологическая сложность в среднем растет, но при переходе от первой ступени (7–9 кл.) ко второй ступени (10–11 кл.) снижается. На рисунке представлено распределение учебников физики за 7–11 классы в пространстве признаков «терминологическая сложность ST – математическая сложность SM ». Дидактическая сложность i -го учебника примерно равна длине вектора, соединяющего начало координат с i -й точкой: $DS_i = (ST_i^2 + SM_i^2)^{0,5}$ (таблица). Степень различия между двумя учебниками определяется расстоянием между соответствующими им точками в пространстве признаков ST и SM .

Результаты оценки сложности учебников физики

Уч.	N_{cl}	S_{sum}	$N_{пон}$	$N_{S>1}$	S_{sp}	D	$D_{S>1}$	$ST_{S>1}$	$S_{S>1}$	ST	SM	DS
Ф–7	3691	1765	1188	547	0,096	0,322	0,148	0,039	0,264	0,379	0,127	0,28
Ф–8	3680	2091	1332	654	0,114	0,362	0,178	0,052	0,290	0,505	0,110	0,37
Ф–9	3674	2175	1187	687	0,118	0,323	0,187	0,067	0,360	0,650	0,299	0,51
Ф–10	3956	2290	1429	717	0,116	0,361	0,181	0,054	0,300	0,524	1,000	0,80
Ф–11	3717	2955	1423	944	0,159	0,383	0,254	0,103	0,406	1,000	0,716	0,87



Результаты оценки дидактической сложности учебников физики

Заключение

В статье рассмотрена проблема оценки дидактической сложности учебников физики, которая зависит от абстрактности текста (терминологической сложности) и сложности математических моделей. В результате проведенного контент-анализа было определено количество терминов, формул и рисунков с изображениями математических абстракций и учтена их сложность. Полученные результаты позволили оценить дидактическую сложность учебников физики за 7–11 класс (0,28; 0,37; 0,51; 0,80; 0,87) и проанализировать их распределение в пространстве признаков «терминологическая – математическая сложность». Предложенная методика оценки дидактической сложности позволяет произвести сравнительный анализ различных учебных пособий. Результаты подобной экспертизы могут быть учтены при написании учебников нового поколения, а также в работе учителей. Хорошо известно, что учащиеся имеют неодинаковые способности к усвоению различных видов информации. Определив терминологическую и математическую сложности учебника, можно спрогнозировать,

какие школьники лучше усвоят тот или иной материал.

Список литературы

1. Аверьянов Л.Я. Контент-анализ. – Монография. – М.: РГИУ, 2007. – 286 с.
2. Беспалько В.П. Теория учебника: Дидактический аспект. – М.: Педагогика, 1988. – 160 с.
3. Иудин А.А., Рюмин, А.М. Контент-анализ текстов: компьютерные технологии: Учебное пособие. – Нижний Новгород, 2010. – 37 с.
4. Майер Р.В. Автоматизированный метод количества различных видов информации и ее сложности в физическом тексте с помощью ПЭВМ // Известия высших учебных заведений. – 2014. – № 3(31). – С. 200–209.
5. Майер Р.В. Классификация тем школьного курса физики на основе оценки их физической и математической сложности // Инновации в образовании. – 2014. – № 9. – С. 29–38.
6. 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>.
7. Майер Р.В. Оценка дидактической сложности различных учебников физики // Современные научные исследования и инновации. – Май 2014. – № 5 [Электронный ресурс]. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2014/05/34429>.
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.