

ИНСТРУМЕНТЫ СОВРЕМЕННОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ

DOI: 10.12737/2306-1731-2023-12-1-54-60

Об оценке физической, математической и вычислительной сложности задач по физике

About the Assessment of Physical, Mathematical and Computational Complexity of Physics Tasks

Получено: 17.11.2022 / Одобрено: 25.11.2022 / Опубликовано: 25.03.2023

Майер Р.В.

Д-р пед. наук, доцент, профессор кафедры физики и дидактики физики, ФГБОУ ВО «Глазовский государственный педагогический институт имени В.Г. Короленко»,
Россия, 427621, г. Глазов, Первомайская, д. 25,
e-mail: robert_maier@mail.ru

Mayer R.V.

Doctor of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Physics and Didactic of Physics, The Glazov Korolenko State Pedagogical Institute, 25, Pervomayskya St., Glazov, 427621, Russia,
e-mail: robert_maier@mail.ru

Аннотация. Эффективный метод развития физического мышления учащихся состоит в решении ими специальным образом отобранных задач, предъявляемых учителем в соответствии с принципом «от простого к сложному». Поэтому разработка методов оценки дидактической сложности физических задач (ФЗ) является актуальной проблемой дидактики. Ее разрешение позволит оптимизировать учебный процесс и контроль знаний, быстро и правильно определять дидактическую сложность заданий для ЕГЭ, физических олимпиад, различных задачников и тестовых материалов. Установлено, что дидактическая сложность ФЗ складывается из физической, математической и вычислительной сложности. Для оценки перечисленных составляющих сложности необходимо: 1) сформулировать условие задачи так, чтобы оно кратко и в то же время полно отражало анализируемую физическую ситуацию; 2) выписать 5 ключевых терминов – самых сложных научных понятий, используемых при решении ФЗ; 3) записать применяемые формулы и полученный результат в общем виде; 4) создать файл, в котором физические формулы, математические рассуждения, вычисления закодированы вербально в виде отдельных предложений; 5) проанализировать текстовый файл с помощью специальной программы, определить общую семантическую сложность и коэффициент свернутости информации; 6) вычислить физическую, математическую и вычислительную сложности, просуммировав сложности соответствующих терминов и обычных слов. Это позволит определить дидактическую сложность задачи. В статье представлены примеры использования предлагаемого метода, проанализированы результаты.

Ключевые слова: дидактика, контент-анализ, физика, сложность, термин, учебная задача.

Abstract. The effective method of developing students' physical thinking consists in solving specially selected tasks presented by the teacher in accordance with the principle «from simple to complex». Therefore, the development of methods for assessing the didactic complexity of physical tasks is an urgent problem of didactics. Its resolution will optimize the learning process and knowledge control, quickly and correctly determine the didactic complexity of tasks for the Unified State Exam, physical Olympiads, various task books and test materials. It is established that the didactic complexity of the physics tasks consists of physical, mathematical and computational complexity. To evaluate the numerical components of complexity, it is necessary: 1) formulate the task condition so that it briefly and at the same time fully reflects the analyzed physical situation; 2) write out 5 key terms – the most complex scientific concepts used in solving the physics task; 3) write down the formulas used and the result obtained in general form; 4) create a file in which physical formulas, mathematical reasoning, calculations are verbally encoded in the form of separate sentences; 5) analyze the text file using the special program, determine the overall semantic complexity and the coefficient of information folding; 6) calculate the physical, mathematical and computational complexity by summing up the complexity of the corresponding terms and ordinary words. This will determine the didactic complexity of the task. The article presents examples of the proposed method use, analyzed the results.

Keywords: didactics, content analysis, physics, complexity, term, learning task/

Введение

Одна из целей обучения физике заключается в развитии у школьников физического мышления [5; 9], сущность которого состоит в умении объяснять физические явления, опираясь на законы природы и логические рассуждения. Эффективным способом

развития физического мышления является решение специально подобранных задач, предъявляемых учащимся в «правильной» последовательности, как того требует дидактический принцип «от простого к сложному». Поэтому проблема оценки сложности объяснения физической задачи (ФЗ) остается ак-

туальной проблемой теории обучения. Ее разрешение позволит оптимизировать учебный процесс и контроль знаний, быстро и правильно определять дидактическую сложность заданий для ЕГЭ, физических олимпиад, различных задачников и тестовых материалов.

Проблемой определения сложности учебных задач (УЗ) занимались различные исследователи (И.Л. Лернер, А.Н. Колмогоров, А.В. Гидлевский и др.). Например, А.Н. Колмогоров считает, что сложность задачи определяется длиной наиболее рационального алгоритма получения правильного ответа, который включает в себя кратчайший путь понимания условия; поэтому она пропорциональна количеству операций, необходимых для решения УЗ. Другие исследователи утверждают, что сложность — объективная характеристика задачи, зависящая от числа производимых действий (операций) и их видов [2; 9]. В.М. Кротов предложил таблицу сложности физических задач, учитывающую структуру решения, количество явлений, процессов и объектов, число искомых величин, явное или неявное задание требований задачи, сложность математического аппарата, способ задания условия [8].

А.В. Гидлевский использовал логический подход к оценке трудности УЗ, основанный на создании соответствующих графологических моделей [4], учете числа вершин и ребер графа, отображающего структуру решения УЗ. Другие ученые-методисты в качестве компонентов сложности УЗ называют количество и сложность элементов, связей между ними, логических действий, формул; степень абстрактности используемых понятий и моделей; наличие неявно заданных факторов, влияющих на анализируемое явление; избыточность условия УЗ; принадлежность задачи к различным темам; необходимость проведения громоздких математических преобразований и т.д. [1; 2; 11–15]. В настоящее время отсутствует эффективная методика «измерения» сложности решения учебных задач.

Существующие методы оценки дидактической сложности ФЗ имеют существенный недостаток: они, как правило, не учитывают смысловую сложность используемых понятий, физических величин, законов и т.д.

Цель исследования заключается в разработке эффективного метода определения физической, математической и вычислительной сложности решения ФЗ, основанного на контент-анализе ее объяснения и учете семантической сложности используемых терминов. При этом предполагается, что дидактическая сложность УЗ пропорциональна

количеству семантической информации в объяснении ее решения. Используется тезаурусный подход, предусматривающий выделение в объяснении УЗ элементарных смысловых единиц (научных понятий и «обычных» слов) и их подсчет [10; 17].

Методологической основой исследования являются работы следующих ученых: Г.А. Балл [2], Э.Г. Гельфман, М.А. Холодная [3] (психолого-педагогический аспект), В.С. Бабаев, М.В. Кулагина, Ю.Ю. Шкитина [1], А.В. Гидлевский, Т.В. Кокшарова [4], В.М. Кротов [8], О.Э. Наймушина, Б.Е. Стариченко [12], И.С. Наумов, В.С. Выхованец [13], Н.Г. Рыженко [14], А.Л. Сакович [15] (трудность и сложность ФЗ), Е.Я. Таршис [17] (контент-анализ текстов). Некоторые аспекты рассматриваемой проблемы обсуждаются в работах А.С. Гунасекера [5], Н.С. Журавлевой [7], Л.А. Ларченковой [9], А.П. Усольцева, Т.Н. Шамало [18] (решение задач и формирование мышления). Нами применялись общетеоретические методы познания (анализ и синтез, сравнение, классификация и т.д.), метод вербального кодирования и метод контент-анализа текста, требующий использования компьютерной программы для учета сложности научных терминов, входящих в текст.

Результаты исследования

Как известно, ФЗ — это проблемная ситуация, требующая от учащихся мыслительных и практических действий, связанных с применением законов и методов физики, разрешение которой приводит к овладению физическими знаниями и развитию мышления [2; 7; 9]. Физическая задача — многомерный объект, описываемый большим числом характеристик. Трудность ФЗ показывает количество затраченных усилий ученика, решившего данной задачу; она зависит не только от сложности ФЗ, но и от его знаний, умений и навыков [1]. Сложность УЗ — это «объективная многофакторная количественная характеристика учебного задания, отражающая число и характер мыслительных операций, необходимых для его решения нормативным способом» [12]. В процессе обучения реализуются две принципиально различные ситуации: 1) самостоятельное решение задачи учеником, в ходе которого он сам выбирает законы и формулы, соответствующие анализируемому явлению; 2) понимание готового решения, овладение логикой рассуждений, которые проводит учитель.

Ученые-методисты (например, в [1]) выделяют четыре этапа решения ФЗ: 1) осмысление ее условий, анализ рассматриваемой ситуации; 2) физический этап решения: запись системы уравнений (формул),

выражающих законы и определения физических величин; 3) математический этап решения: осуществление алгебраических преобразований и решение ФЗ в общем виде (то есть получение конечной формулы); 4) вычислительный этап решения. Поэтому логично считать, что дидактическая сложность задачи по физике складывается из: 1) физической сложности задачи (ФС) — сложности физических понятий, законов, уравнений и рассуждений, которые необходимо использовать для решения задачи; 2) математической сложности задачи (МС) — сложности математических понятий, положений, уравнений и рассуждений, требующихся для ее решения; 3) вычислительной сложности (ВС), зависящей от количества и сложности вычислительных операций.

Как известно, сложность объекта пропорциональна информативности его самого краткого и одновременно полного описания [10]. Так как вербальное кодирование является самым универсальным и позволяет закодировать любую информацию (текст, рисунок, формулы), то для оценки сложности различных компонентов решения ФЗ следует перейти к их словесному описанию, а затем оценить информативность получившихся текстов. Дидактическая сложность (DC) учебного текста равна произведению его структурной и семантической сложностей [10]: $DC = K_{стр} SC$. Структурную сложность одного предложения или текста будем вычислять по формуле: $K_{стр} = D_{сл} (1 + \ln D_{пр}) / 13$, где $D_{сл}$ — среднее число букв в слове (длина слова), $D_{пр}$ — среднее число значимых слов в предложении. Структурная сложность предложения, состоящего из 5 слов по 5 букв каждое, равна $K' = 5(1 + \ln 5) / 13 \approx 1$.

Семантическая сложность SC текста приблизительно равна сумме семантических сложностей составляющих его слов (понятий, терминов). Сложность термина T относительно некоторого тезауруса Z_0 равна суммарной сложности слов из тезауруса Z_0 , которые позволяют объяснить сущность термина T . Для оценки школьных ФЗ в качестве Z_0 следует выбрать тезаурус выпускника пятого класса, а сложность простых общеупотребительных слов («человек», «вода», «земля») считать равной 1. Нам удалось последовательно оценить ДС сначала простых, а затем сложных терминов [10]. Были получены следующие результаты: твердое тело — 4, атом — 8, длина волны — 14, электромагнитные колебания — 20, цепная ядерная реакция — 37, спектральная плотность интенсивности излучения — 55 и т.д.

Предлагаемый метод определения семантической сложности SC объяснения задачи предусматривает

применение компьютерной программы, написанной на языке *ABC Pascal*, которая анализирует входной текстовый файл. Программа обращается к файлу *Slovar.txt*, содержащему список терминов с указанием их сложностей s_i , выбирает очередной термин, определяет количество его употреблений в тексте и, учитывая s_i , находит SC текста.

Рассмотрим ученика, решающего ФЗ. Пусть в ее условии и решении некоторый термин T_i (физическая величина или математическая операция) со сложностью s_i встречается n_i раз. Если при первой встрече учащийся не сразу припоминает смысл термина T_i , то при втором, третьем упоминаниях это припоминание происходит быстрее и легче. Будем считать, что трудность термина T_i при каждом обращении уменьшается приблизительно на 30% от предыдущего значения, но не становится меньше 0,1*si*, при этом всегда превышая 2. В статье [11] показано, как это может быть учтено.

Все физические формулы подразделяются на два класса: 1) формулы-определения, в которых определяется новая физическая величина на основе других абстракций; 2) формулы, выражающие функциональные зависимости между физическими величинами. Для нахождения семантической сложности формулы, выражающей функциональную зависимость (например, $E_{ф} = hv$), вычисляют сумму семантических сложностей всех составляющих ее терминов. Если речь идет об определении некоторой физической величины (например, $C = q/U$), то семантическая сложность определяемой величины (т.е. емкости C) не учитывается. Семантическая сложность формулы-определения равна сумме семантических сложностей всех величин, входящих в формулу, за исключением определяемой величины. В случае, когда формула содержит коэффициент пропорциональности (например, $F = k\Delta l$), то его семантическая сложность считается равной 5. Другой подход, заключающийся в формулировании определения коэффициента k (жесткость равна сила делить на удлинение) и подсчете суммарной сложности всех терминов, приведет к тому, что сложность формулы $F = k\Delta l$ окажется завышенной почти в 2 раза.

1. Оценка физической сложности ФЗ. Для оценки физической сложности задачи следует: 1) сформулировать условие так, чтобы оно кратко и в то же время полно отражало анализируемую физическую ситуацию и содержало перечисление всех физических объектов; 2) выписать 5 ключевых терминов — самых сложных научных понятий, используемых при решении ФЗ; 3) записать исходные формулы и по-

лученный результат в общем виде (то есть конечную формулу); 4) создать файл F1.txt, в котором исходные и конечная формулы закодированы вербально и представлены в виде отдельных предложений, содержащих названия объектов, физических величин и математических операций. Например: $W = CU^2/2$ — «энергия конденсатора равна емкость умножить на напряжение квадрат, делить на число». Или $E = F/q$ — «напряженность электрического поля равна сила делить на заряд»; 5) с помощью компьютерной программы проанализировать файл F1.txt, определить общую семантическую сложность SC_1 ; 6) вычислить физическую сложность ΦC как сумму сложностей всех терминов и обычных слов.

2. Оценка математической сложности ΦZ . Из анализа школьных задачник [6; 16] следует, что для решения ΦZ применяются методы, предполагающие: 1) использование формул элементарной геометрии: $L = 2\pi R$, $S = \pi R^2$, $V = abc$ и т.д.; 2) сложение и вычитание векторов, проецирование векторных уравнений на оси координат; 3) решение системы уравнений; 4) решение квадратного уравнения; 5) применение теоремы Пифагора, теоремы косинусов, теоремы подобия и других теорем геометрии; 6) использование тригонометрических формул; 7) сложные алгебраические преобразования и вычисления со степенями, корнями, логарифмами и т.д.; 8) нахождение производных и интегралов. В этом списке отсутствуют такие универсальные методы, как чтение, письмо, рисование, осуществление элементарных математических преобразований и вычислений. Они формируются в 1–5 классах и при определении MC не учитываются.

Математическая сложность ΦZ зависит от: 1) количества и сложности используемых математических функций (показательная, синус, логарифм и т.д.); 2) количества величин (постоянных и переменных) в уравнениях; 3) сложности применяемых математических операций, формул, теорем, правил, утверждений. Для оценки MC задачи следует: 1) решить задачу максимально простым способом; 2) сосчитать количество переменных и коэффициентов p , чисел c , знаков равенства r , операций сложения или вычитания s , умножения или деления u ; 3) создать текстовый файл F2.txt, содержащий закодированные формулы и формулировки математических правил и теорем, применяемых при решении ΦZ ; 4) проанализировать файл F2.txt с помощью компьютерной программы и определить его сложность SC_2 как сумму сложностей математических понятий и «обычных» слов; 4) вычислить математическую сложность:

$$MC \approx 3p + 2c + 2r + \sum_i n_i s_i + SC_2,$$

где n_i — число использований i -ой операции O_i , s_i — ее сложность, а коэффициенты перед p , c и r равны сложностям понятий «переменная», «число» и «равно» соответственно. Сложность математических операций O_i может быть оценена так: 1) сложение или вычитание: $s_1 = 2$; 2) умножение или деление: $s_2 = 3$; 3) возведение в квадрат или куб $s_3 = 3$; 4) извлечение корня $s_4 = 4$; 5) подстановка одной формулы в другую $s_5 = 4$ и т.д.

3. Оценка вычислительной сложности ΦZ . Для оценки BC необходимо в конечную формулу (или формулы) подставить числовые значения и произвести вычисления на калькуляторе. Вычислительная сложность зависит от: 1) количества нажатий на кнопки калькулятора; 2) семантической сложности SC_3 всех понятий, обозначающих математические функции (корень, синус, логарифм и т.д.), входящие в конечную формулу. Так как для осуществления вычислений на калькуляторе не требуется вспоминать определения этих функций, то при нахождении SC_3 будем считать, что их сложность лежит в интервале от 4 до 6. Вычислительная сложность задачи $BC \approx 2k + SC_3$.

В качестве примера рассмотрим применение предлагаемого метода для оценки сложности трех задач из ЕГЭ [6].

Задача 1. Груз массой 0,4 кг подвешен на пружине жесткостью 100 Н/м к потолку лифта. Лифт из состояния покоя равноускоренно поднимается вверх на расстояние 5 м в течение 2 с. Каково удлинение пружины, когда колебания груза затухнут? Применяются формулы: $\vec{F}_{\text{упр}} + m\vec{g} = m\vec{a}$, $F_{\text{упр}} = kx$, $S = at^2/2$. После преобразований получается окончательная формула $x = m(g + 2S/t^2) / k$. Произведем вычисления:

$$x = \frac{0,4(9,8 + 2 \cdot 5 / 2^2)}{100} \approx 0,049 \text{ (м)}.$$

Перечислим ключевые термины: тело, равноускоренное движение, жесткость, удлинение, колебания. Семантическая сложность условия задачи и ключевых слов, исходных и конечных формул (т.е. физическая сложность) составляет $\Phi C = 172$. В решении используются $p = 30$ переменных и коэффициентов, $c = 4$ числа, $r = 7$ уравнений (знаков «равно»). Математические операции: 1) сложение (вычитание) — $n_1 = 5$ раз; 2) умножение (деление) — $n_2 = 16$ раз; 3) подстановка одной формулы в другую — $n_3 = 2$ раза. Их сложность составляет 174.

Также применяются правила: 1) «если левую и правую части истинного равенства умножить (разделить) на одно и то же число, то равенство останется истинным» — 2 раза; 2) «если вектор сонаправлен с осью координат, то его проекция на ось положительна, а если противоположно направлен — отрицательна» — 3 раза. Их сложность, определенная с помощью компьютерной программы $SC_2 \approx 99$. В результате математическая сложность этой ФЗ равна: $MC \approx 174 + 99 = 273$. Чтобы произвести вычисления, необходимо $k = 21$ раз нажать на кнопки калькулятора и использовать понятие «квадрат», поэтому $BC \approx 45$. Если результаты оценки сложности записать в формате: (физическая сложность, математическая сложность, вычислительная сложность), то получится так: (172; 273; 45). Этой матрице соответствует точка в трехмерном пространстве, образованном осями ФС, МС, ВС. Если из текста удалить союзы, предлоги и определить среднюю длину слов и предложений, то можно вычислить структурную сложность решения задачи. При этом список ключевых слов и каждая формула рассматриваются как отдельные предложения. Получается, что $K_{стр} \approx 1,89$. Дидактическая сложность задачи

$$DC = K_{стр} (\Phi C + MC + BC) \approx 930.$$

Задача 2. *Ион с зарядом $q = 3,2 \cdot 10^{-19}$ Кл и массой $m = 1,5 \cdot 10^{-25}$ кг проходит ускоряющую разность потенциалов $U = 10^3$ В и после этого попадает в однородное магнитное поле, в котором движется по окружности радиусом $R = 0,3$ м. Определить модуль индукции магнитного поля.* Применяются формулы: $K = mv^2/2$, $A = K_2 - K_1$, $A = qU$, $F = ma$, $F_{л} = qvB$, $a = v^2/R$. Решим эту систему уравнений относительно B :

$$A = qU = \frac{mv^2}{2}, \quad qvB = m \frac{v^2}{R}, \quad v = \sqrt{\frac{2qU}{m}}, \quad B = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{2mU}{q}}.$$

Последняя формула является конечной. Выполним вычисления:

$$B = \frac{1}{0,3} \sqrt{\frac{2 \cdot 1,5 \cdot 10^{-25} \cdot 10^3}{3,2 \cdot 10^{-19}}} \approx 10,2 \text{ (Тл)}.$$

Перечислим ключевые термины: ион, заряд, магнитное поле, индукция магнитного поля, потенциал. Семантическая сложность условия задачи и ключевых слов, исходных и конечных формул (т.е. физическая сложность) составила $\Phi C \approx 350$. В решении используются: $p = 39$ переменных, $c = 2$

чисел, $r = 11$ уравнений. Математические операции: $n_1 = 1$, $n_2 = 21$, $n_3 = 4$, $n_4 = 3$, $n_5 = 5$ раз. Применяются правила: 1) «Если левую и правую части истинного равенства умножить (разделить) на одно и то же число, то равенство останется истинным» — 3 раза; 2) правило: «Если из левой и правой частей равенства извлечь корень, то равенство останется истинным» — 1 раз. Их сложность $SC_2 \approx 68$. Получаем, что математическая сложность $MC \approx 320$. Чтобы произвести вычисления, необходимо 36 раз нажать на кнопки калькулятора и использовать понятие «извлечение корня», поэтому BC равна $BC \approx 76$. Если результаты оценки сложности записать в формате: (физическая сложность, математическая сложность, вычислительная сложность), то получится так: (350; 320; 76). Структурная сложность $K_{стр} \approx 1,89$, дидактическая сложность $DC = K_{стр} (\Phi C + MC + BC) \approx 1410$. Коэффициент свернутости информации $KСИ = \Phi C / N_{слов} \approx 3,64$, где $N_{слов}$ — объем (число слов без предлогов и союзов) физической составляющей решения задачи.

Задача 3. Сколько фотонов с длиной волны 0,45 мкм попадает на сетчатку глаза за 2 с, если мощность поглощенного сетчаткой излучения на этой длине волны составляет $1,98 \cdot 10^{-17}$ Вт? Исходные формулы: $E_{изл} = Pt$, $E_{изл} = Nh\nu$, $\nu = c/\lambda$. Конечная формула: $N = Pt\lambda/hc$. Ключевые термины: фотон, длина волны, мощность, энергия, излучение. Физическая сложность задачи $\Phi C = 218$. В решении используются: $p = 22$ переменных, $r = 5$ уравнений (знаков «равно»). Математические операции: умножение — $n_2 = 12$, подстановка — $n_5 = 2$. Применяется правило: «если левую и правую части истинного равенства умножить (разделить) на одно и то же число, то равенство останется истинным» — 2 раза. Получается $SC_2 \approx 32$, математическая сложность $MC \approx 152$. Вычислительная сложность 86. Получаем матрицу: (218, 152, 86). Структурная сложность: $K_{стр} \approx 1,79$. Дидактическая сложность равна $DC = K_{стр} (\Phi C + MC + BC) \approx 820$.

В качественных задачах, а также заданиях, требующих выбора правильных утверждений без вывода формул и вычислений, математическая и вычислительная сложности равны нулю. Рассмотрим пример задания из ЕГЭ [6, с. 22]. Выберите все верные утверждения о физических явлениях, величинах и закономерностях: 1) *атмосферное давление возрастает с высотой над поверхностью Земли;* 2) *при неизменной температуре нагревателя КПД идеальной тепловой машины повышается с понижением температуры холодильника;* 3) *одноименные точечные электрические заряды отталкиваются друг*

от друга, разноименные точечные заряды притягиваются друг к другу; 4) период гармонических электромагнитных колебаний в идеальном контуре, состоящем из катушки индуктивности и конденсатора, уменьшается при сближении пластин конденсатора; 5) альфа-излучение отклоняется в магнитном поле. В тексте 513 букв, 58 слов, 6 предложений. Физическая сложность текста $\Phi C \approx 206$, структурная сложность (надо удалить все предлоги и нумерацию) $K_{\text{стр}} \approx 2,22$, поэтому дидактическая сложность $DC = K_{\text{стр}} \Phi C \approx 460$. Коэффициент свернутости информации

$$\text{КСИ} = \Phi C / N_{\text{слов}} \approx 3,61.$$

Заключение

В статье показано, что дидактическая сложность физической задачи равна произведению структурной сложности на сумму физической, математической и вычислительной сложностей. Впервые предложен метод оценки перечисленных выше компонентов

сложности. Его сущность состоит в вербальном кодировании условия и решения задачи с последующим определением семантической сложности различных этапов (или составляющих) ее решения. Для этого используется специальная компьютерная программа, обращающаяся к словарю научных терминов и вычисляющая семантическую сложность текста. С помощью предложенного метода произведена оценка 3 физических задач и одного качественного задания, встречающихся на ЕГЭ по физике. Полученные оценки ДС фактически характеризуют сложность понимания учеником готового решения ФЗ. Если ученик решает задачи самостоятельно, то он должен сам выбрать «правильные» формулы, соответствующие анализируемому явлению. Поэтому ДС, найденную рассмотренным выше методом, следует увеличить на величину, зависящую от неопределенности выбора формул. Некоторые темы («Кинематика», «Основы молекулярной физики», «Цепи постоянного тока») содержат большое количество формул, поэтому эта неопределенность довольно велика.

Литература

1. Бабаев В.С. Определение трудности и сложности физических задач [Текст] / В.С. Бабаев, М.В. Кулагина, Ю.Ю. Шкитина // Физическое образование в вузах. — 2005. — Т. 11. — № 4. — С. 93–101.
2. Балл Г.А. Теория учебных задач: психолого-педагогический аспект [Текст] / Г.А. Балл. — М.: Педагогика, 1990. — 184 с.
3. Гельфман Э.Г. Психодидактика школьного учебника. Интеллектуальное воспитание учащихся [Текст] / Э.Г. Гельфман, М.А. Холодная. — СПб.: Питер, 2006. — 384 с.
4. Гидлевский А.В. Особенности применения субъект-предикатного подхода к оценке трудности дидактических тестовых заданий [Текст] / А.В. Гидлевский, Т.В. Кокшарова // Омский научный вестник. — № 4. — 2010. — С. 177–180.
5. Гунасекара А.С. Физические задачи как средство развития интуитивного мышления учащихся [Текст] / А.С. Гунасекара // Известия РГПУ им. А.И. Герцена: Аспирантские тетради. Ч. II. (Педагогика и психология, теория и методика обучения). — 2008. — № 33. — С. 46–49.
6. ЕГЭ. Физика типовые экзаменационные варианты 30 вариантов [Текст] / под ред. М.Ю. Демидовой. — М.: Национальное образование, 2022. — 400 с.
7. Журавлева Н.С. Учебно-познавательное умение — решать физические задачи [Текст] / Н.С. Журавлева // Инновационное развитие науки и образования. — 2017. — С. 65–79.
8. Кротов В.М. К вопросу о сложности (трудности) физических задач [Текст] / В.М. Кротов // Фізика: проблеми викладання. — 1999. — № 3. — С. 69–74.
9. Ларченкова Л.А. Образовательный потенциал учебных физических задач в современной школе [Текст]: автореф. дис. ... д-ра пед. наук / Л.А. Ларченкова. — СПб.: РГПУ им. А.И. Герцена, 2014. — 387 с.
10. Майер Р.В. Дидактическая сложность учебных текстов и ее оценка [Текст]: монография / Р.В. Майер. — Глазов: Изд-во ГГПИ, 2020. — 149 с.
11. Майер Р.В. Компоненты дидактической сложности математической задачи и их оценка [Текст] / Р.В. Майер // НИР. Социально-гуманитарные исследования и технологии. — 2022. — № 2. — С. 36–41.
12. Наймушина О.Э. Многофакторная оценка сложности учебных заданий [Текст] / О.Э. Наймушина, Б.Е. Стариченко // Образование и наука. — 2010. — № 2. — С. 58–70.
13. Наумов И.С. Оценка трудности и сложности учебных задач на основе синтаксического анализа текстов [Текст] / И.С. Наумов, В.С. Выхованец // Управление большими системами: сб. тр. — 2014. — Вып. 48. — С. 97–131.
14. Рыженко Н.Г. Сложность и трудность структуры решения текстовой задачи [Текст] / Н.Г. Рыженко // Математика и информатика: наука и образование: Межвуз. сб. науч. тр.: Ежегод. Вып. 4. — Омск: Изд-во ОмГПУ, 2004. — С. 89–92.
15. Сакович А.Л. Сложность физических задач и их уровни [Текст] / А.Л. Сакович // Фізика. Проблеми викладання. — 2004. — № 1. — С. 33–40.
16. Рымкевич А.П. Задачник. 10–11 кл. [Текст]: пособие для общеобразоват. учреждений / А.П. Рымкевич. — М.: Дрофа, 2013. — 192 с.
17. Таршис Е.Я. Контент-анализ: Принципы методологии (Построение теоретической базы. Онтология, аналитика и феноменология текста. Программы исследования) [Текст] / Е.Я. Таршис. — М.: ЛИБРОКОМ, 2013. — 176 с.
18. Усольцев А.П. Требования к физическим задачам в контексте формирования функциональной грамотности школьников [Текст] / А.П. Усольцев, Т.Н. Шамало // Школа будущего. — 2021. — № 2. — С. 316–323.

References

1. Babaev B.C., Kulagina M.V., Shkitina Ju.Ju. Opredelenie trudnosti i slozhnosti fizicheskikh zadach // Fizicheskoe obrazovanie v vuzah. 2005. T. 11. № 4. Pp. 93–101.
2. Ball G.A. Teorija uchebnyh zadach: psihologo-pedagogicheskij aspekt. M.: Pedagogika, 1990. 184 p.
3. Gel'fman Je.G., Holodnaja M.A. Psihodidaktika shkol'nogo uchebnika. Intellektual'noe vospitanie uchashhihsja. SPb.: Piter, 2006. 384 p.
4. Gidlevskij A.V., Koksharova T.V. Osobennosti primeneniya sub'ekt-predikatnogo podhoda k ocenke trudnosti didakticheskikh testovyh zadaniy // Omskij nauchnyj vestnik. 2010. № 4. Pp. 177–180.
5. Gunasekera A.S. Fizicheskie zadachi kak sredstvo razvitiya intuitivnogo myshlenija uchashhihsja // Izvestija RGPU im. A.I. Gercena: Aspirantskie tetrady. Ch. II. (Pedagogika i psihologija, teorija i metodika obuchenija). 2008. № 33. Pp. 46–49.
6. EGJe. Fizika tipovye jekzamenacionnye varianty 30 variantov / pod red. M.Ju. Demidovoj. M.: Nacional'noe obrazovanie, 2022. 400 p.
7. Zhuravleva N.S. Uchebno-poznavatel'noe umenie — reshat' fizicheskie zadachi // Innovacionnoe razvitie nauki i obrazovanija. 2017. Pp. 65–79.
8. Krotov V.M. K voprosu o slozhnosti (trudnosti) fizicheskikh zadach // Fizika: problemy vykladannja. 1999. № 3. Pp. 69–74.
9. Larchenkova L.A. Obrazovatel'nyj potencial uchebnyh fizicheskikh zadach v sovremennoj shkole: avtoref. dis. ... d-ra ped. nauk. Sankt-Peterburg: RGPU im. A.I. Gercena, 2014. 387 p.
10. Mayer R.V. Didakticheskaja slozhnost' uchebnyh tekstov i ee ocenka: monografija. Glazov: GGPI, 2020. 149 p.
11. Mayer R.V. Komponenty didakticheskoi slozhnosti matematicheskoi zadachi i ih ocenka // NIR. Social'no-gumanitarnye issledovanija i tehnologii. 2022. № 2. Pp. 36–41.
12. Najmushina O.Je., Starichenko B.E. Mnogofaktornaja ocenka slozhnosti uchebnyh zadaniy // Obrazovanie i nauka. 2010. № 2. Pp. 58–70.
13. Naumov I.S., Vyhovanec V.S. Ocenka trudnosti i slozhnosti uchebnyh zadach na osnove sintaksicheskogo analiza tekstov // Upravlenie bol'shimi sistemami: sb. tr. 2014. Vyp. 48. Pp. 97–131.
14. Ryzhenko N.G. Slozhnost' i trudnost' struktury reshenija tekstovoi zadachi // Matematika i informatika: nauka i obrazovanie: Mezhvuz. sb. nauch. tr.: Ezhegod. vyp. 4. Omsk: Izd-vo OmGPU, 2004. Pp. 89–92.
15. Sakovich A.L. Slozhnost' fizicheskikh zadach i ih urovni // Fizika. Problemy vykladannja. 2004. № 1. Pp. 33–40.
16. Rymkevich A.P. Zadachnik. 10–11 kl.: posobie dlja obshheobrazovatel'nyh uchrezhdenij. M.: Drofa, 2013. 192 p.
17. Tarshis E.Ja. Kontent-analiz: Principy metodologii (Postroenie teoreticheskoi bazy. Ontologija, analitika i fenomenologija teksta. Programmy issledovanija). M.: LIBROKOM, 2013. 176 p.
18. Usol'cev A.P., Shamalo T.N. Trebovanija k fizicheskim zadacham v kontekste formirovanija funkcional'noj gramotnosti shkol'nikov // Shkola budushhego. 2021. № 2. Pp. 316–323.