

ДИДАКТИКА

УДК 37.02

DOI: 10.12737/2306-1731-2024-13-1-36-41

Сложность формул и методов решения задач по МКТ, термодинамике, оптике, физике микромира и ЧТО (частной теории относительности)**Complexity of Formulas and Methods for Solving Tasks on MKT, Thermodynamics, Optics, Microcosm Physics and STR**

Получено: 31.01.2024 / Одобрено: 08.02.2024 / Опубликовано: 25.03.2024

Майер Р.В.

ФГОУ ВО «Глазовский государственный инженерно-педагогический университет им. В.Г. Короленко», Россия, 427621, г. Глазов, ул. Первомайская, 25, e-mail: robert_maier@mail.ru

Mayer R.V.

Glazov Korolenko State Engineering and Pedagogical University, 25, Pervomayskya st., Glazov, 427621, Russia, e-mail: robert_maier@mail.ru

Аннотация. Статья посвящена проблеме определения сложности формул и методов, применяемых для решения школьных задач по молекулярной физике и термодинамике, оптике, физике микромира и частной теории относительности. В результате контент-анализа школьных учебников выписаны все формулы, относящиеся к перечисленным разделам, и выделены 17 тем, каждой из которых соответствует свой метод решения задач. С целью определения семантической сложности формулы представлены в виде утверждений, которые сохранены в текстовом файле Formuli.txt. В файл Slovar.txt помещен список понятий, обозначающих физические величины с указанием их сложностей. С помощью специальной компьютерной программы, анализирующей файл Formuli.txt, определены семантические сложности формул, их объем и коэффициент свернутости информации. Вычислены сложности методов, проанализированы распределения формул в пространстве признаков «семантическая сложность – объем». Исходя из количества формул в каждом методе и числа методов в каждом разделе, оценена сложность выбора подходящей формулы при самостоятельном решении одноформульной задачи. Показано, как учесть неопределенность выбора формул при решении двух- и трехформульных задач для нахождения их сложностей.

Ключевые слова: дидактика, методика, понятие, семантика, сложность, учебная задача, физика, формула.

Abstract. The article is devoted to the problem of determining the complexity of formulas and methods used to solve school problems in molecular physics and thermodynamics, optics, microcosm physics and the special theory of relativity. As a result of the content analysis of school textbooks, all formulas related to the listed sections were written out and 17 topics are identified, each of which corresponds to its own method of solving problems. In order to determine semantic complexity, formulas are presented in the form of statements that are stored in a text file Formuli.txt. To a file Slovar.txt the list of concepts denoting physical quantities is placed, indicating their complexities. Using a special computer program that analyzes the file Formuli.txt the semantic complexities of the formulas, their volume and the information folding coefficient are determined. The complexities of the methods are calculated, the distributions of formulas in the space of "semantic complexity - volume" signs are analyzed. Based on the number of formulas in each method and the number of methods in each section, the complexity of choosing a suitable formula for independent solving a single-formula task is estimated. It is shown how to take into account the uncertainty of the choice of formulas when solving two- and three-formula tasks to find their complexities.

Keywords: didactics, methodology, concept, semantics, complexity, educational task, physics, formula.

Введение

Большое практическое значение для педагогической практики имеет проблема оценки сложности различных дидактических объектов (ДО): учебных текстов и их фрагментов, задач, формул, рисунков. Например, определив сложность формул, можно «измерить» сложность школьных физических задач (ФЗ), а это позволит расположить их в порядке возрастания трудности решения, правильно оценить выполнение учениками самостоятельных и контрольных работ, заданий ЕГЭ и т.д.

Для определения семантической сложности (SC, от *Semantic Complexity*) ДО все его компоненты сле-

дует закодировать вербальным (словесным) кодом, а затем найти сложность получившегося текстового файла. Для этого он может быть проанализирован компьютерной программой, которая выбирает научные термины, находит в словаре их семантические сложности, а затем их складывает. В статьях [3; 4] описано применение этого метода для оценки сложности формул по механике и электродинамике.

Цель исследования: 1) оценить семантическую сложность формул, относящихся к молекулярной физике и термодинамике, оптике, физике микромира и ЧТО (частной теории относительности); 2) определить сложность различных методов реше-

ния ФЗ, учитывая неопределенность выбора используемых формул. **Методологической основой** исследования являются работы следующих ученых: В.С. Бабаев, М.В. Кулагина и Ю.Ю. Шкитина [1], А.В. Гидлевский [2], Р.В. Майер [3; 4], О.Э. Наймушина и Б.Е. Стариченко [7], И.С. Наумов и В.С. Выхованец [8], Н.Г. Рыженко [9], Н.Б. Самсонов, Е.В. Чмыхова и Д.Г. Давыдов [10], А.Л. Сакович [11], М. Нанакова [12]. В них обсуждаются различные аспекты оценки сложности учебных задач, заданий, текстов и формул. Используется метод контент-анализа, заключающийся в подсчете научных терминов в тексте и учете их семантической сложности.

Результаты исследования

Все физические формулы, входящие в школьные учебники физики [5; 6], можно разделить на две группы: 1) формулы — определения новых величин; 2) формулы, выражающие связи между величинами. Любая формула Φ_f соответствует некоторому эквивалентному ей утверждению U_f (определению или фактуальному положению) и несет определенное количество семантической информации. Например, формула $A = p\Delta V$ означает, что работа газа при изобарном расширении равна произведению давления газа на изменение объема. Семантическая сложность формулы SC_f (f — ее номер) равна содержащейся в ней смысловой информации, которая приближенно равна сумме семантических сложностей всех слов, найденных относительно тезауруса пятиклассника Z_5 , входящих в утверждение U_f . Если объяснить формулу Φ_f , используя только понятия, очевидные для пятиклассника, заменив сложные понятия простыми утверждениями, то количество слов в таком объяснении будет равно примерно SC_f .

Если формула выражает зависимость между величинами (например, $pV = \nu RT$), то ее заменяют соответствующим положением («давление умножить на объем газа равно количеству вещества умножить на постоянную R умножить на абсолютную температуру»), а затем суммируют семантические сложности SC_i всех составляющих его понятий. С формулами, выражающими определения, поступают аналогично; отличие в том, что сложность термина T_x , обозначающего определяемую величину X , считают равной 1. Например, в предложении «увеличение линзы — это отношение линейных размеров изображения к линейным размерам предмета» семантическая сложность слова «увеличение» принимается равной 1. Это связано с тем, что предложение-определение содержит повтор: до и после тире речь идет об увеличении. Иной подход (когда учи-

тывается, что SC (увеличение) ≈ 9) приведет к тому, что количество семантической информации в определении (а значит, и в формуле $\Gamma = H/h$) будет завышена почти в 2 раза. Чтобы найти объем информации V_f текста, эквивалентного формуле Φ_f , учитывают все слова, включая определяемый термин T_x .

Исходя из аналогичных соображений сложность любого коэффициента пропорциональности (k , R , e , h и др.) считается равной пяти. В качестве примера рассмотрим формулу $\bar{E} = (3/2)kT$. Если выразить постоянную k ($k = 2\bar{E}/3T$) и определить ее сложность путем подсчета суммарной сложности терминов \bar{E} , T , то сложность формулы $\bar{E} = (3/2)kT$ окажется завышенной в 1,5–2 раза. Сложность чисел «2», π и т.д. принимается равной двум. Коэффициент свернутости информации в Φ_f вычисляется так:

$$КСИ_f = SC_f / V_f.$$

Для нахождения сложности физических понятий следует учесть, что они образуют иерархическую (многоуровневую) структуру. Получается, что определение каждого нового понятия ($k + 1$)-ого уровня включает в себя ранее введенные понятия k -ого уровня. Например, опираясь на понятия «масса молекулы» m_0 , «объем» V , «постоянная Авогадро» NA , можно дать определение относительной молекулярной массе M_r , молярной массе вещества M , концентрации молекул n , количеству вещества ν и т.д. Очевидно, что понятие «молярная масса» сложнее, чем «масса», а понятие «концентрация молекул» сложнее понятием «объем газа» или «число молекул», входящих в его определение: SC (концентрация молекул) $> SC$ (объем).

Путем подсчета количества слов в определениях и с помощью метода парных сравнений были получены следующие оценки сложности понятий относительно тезауруса пятиклассника: нормаль — 4, количество тепла — 7, абсолютная температура — 7, моль — 14, кинетическая энергия — 15, ядерные силы — 18, емкостное сопротивление — 21, антивещество — 25, коэффициент размножения нейтронов — 40 и т.д.

Для решения ФЗ необходимо владеть различными методами, каждый из которых представляет собой совокупность приемов, соответствующих той или иной теме. В ФЗ, относящихся к одной теме, используются примерно одни и те же физические модели, понятия, теоретические идеи и формулы. ФЗ по темам «Уравнение состояния газа. Изопроцессы», «Законы отражения и преломления», «Ядер-

Продолжение табл. 1

ные реакции» и т.д. решаются разными способами, предполагающими применение различных физических идей, моделей, законов и формул. В разделе «Молекулярная физика и термодинамика» школьного курса физики, нами выделены следующие темы (и соответствующие им методы решения задач): 1) количество вещества, число атомов; 2) основное уравнение МКТ, энергия молекул; 3) уравнение состояния газа. Изопроцессы; 4) влажность воздуха; 5) поверхностное натяжение; 6) работа, внутренняя энергия. Первое начало термодинамики; 7) количество теплоты. Теплообмен, плавление; 8) тепловой двигатель, КПД. Раздел «Оптика» включает в себя темы: 1) законы отражения и преломления; 2) линзы. Оптическая сила; 3) волновая оптика. Интерференция, дифракция. Раздел «Физика микромира» содержит темы: 1) фотоэффект, корпускулярная природа света; 2) теория атома водорода; 3) ядерные реакции; 4) доза излучения, эквивалентная доза излучения. Раздел «Частная теория относительности» содержит темы: 1) ЧТО: кинематика, релятивистские эффекты; 2) ЧТО: релятивистские энергия и импульс.

Для оценки сложности формулы Φ_f эквивалентное ей утверждение U_f помещают в файл *Formuli.txt*, а затем его анализируют специальной компьютерной программой, обращающейся к словарю *Slovar.txt*, который содержит список терминов с указанием их сложностей. С помощью описанного выше метода была произведена оценка сложности формул. В табл. 1 они представлены в формате: «формула (определение (о), закон или зависимость (з); SC ; V ; КСИ)». Для каждой j -ой темы i -ого раздела также определены сложность метода CM_{ij} и сложность выбора формулы CB_{ij}^{cp} .

Таблица 1

Результаты оценки сложности методов и формул

Раздел 1. МЕХАНИКА (рассмотрен в [3])
Раздел 2. МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА
Методы: 1. Количество вещества, число атомов (число формул $F_{21} = 3$, сложность метода $CM_{21} \approx 44$, сложность выбора формул $CB_{21}^{cp} \approx 2,1$): 1) относительная молекулярная масса $M_r = m_r / (m_{oc} / 12)$ (о; 52; 12; 4,3); 2) количество вещества $\nu = N / N_A$ (о; 29; 8; 3,6); 3) молярная масса $M = m_0 N_A$ (о; 50; 9; 5,6); 2. Основное уравнение МКТ, энергия молекул ($F_{22} = 6$, $CM_{22} \approx 56$, $CB_{22}^{cp} \approx 2,4$): 4) давление идеального газа $p = (1/3)m_0 n \langle v^2 \rangle$ (з; 62; 14; 4,4); 5) средняя кинетическая энергия $\bar{E} = m_0 \langle v^2 \rangle / 2$ (о; 51; 15; 3,4); 6) давление $p = (2/3)n\bar{E}$ (з; 63; 11; 5,7); 7) средняя кинетическая энергия $\bar{E} = 3kT/2$ (з; 56; 13; 4,3); 8) давление $p = nkT$ (з; 43; 10; 4,3); 9) средняя квадратическая

скорость $v_{cp,kl} = \sqrt{3kT/m_0}$ (з; 63; 16; 3,9); **3. Уравнение состояния газа. Изопроцессы** ($F_{23} = 4$, $CM_{23} \approx 40$, $CB_{23}^{cp} \approx 2,2$): 10) для идеального газа $pV = (m/M)RT$ (з; 73; 15; 4,9); 11) для изотермического процесса $pV = const$ (з; 23; 8; 2,88); 12) для изобарного процесса $V/T = const$ (з; 32; 9; 3,6); 13) для изохорного процесса $V/T = const$ (з; 32; 9; 3,6); **4. Влажность воздуха** ($F_{24} = 2$, $CM_{24} \approx 34$, $CB_{24}^{cp} \approx 1,9$): 14) относительная влажность $\phi = p/p_{н.п}$ (о; 37; 13; 2,9); 15) относительная влажность $\phi = \rho/\rho_{н.п}$ (о; 30; 12; 2,5); **5. Поверхностное натяжение** ($F_{25} = 2$, $CM_{25} \approx 31$, $CB_{25}^{cp} \approx 1,9$): 16) сила поверхностного натяжения $F_{пн} = \sigma l$ (з; 28; 12; 2,3); 17) энергия поверхностного натяжения $W = \sigma S$ (з; 33; 9; 3,7); **6. Работа, внутренняя энергия. Первое начало термодинамики** ($F_{26} = 3$, $CM_{26} \approx 58$, $CB_{26}^{cp} \approx 2,1$): 18) внутренняя энергия $U = (3/2)(m/M)RT$ (з; 88; 16; 5,5); 19) работа газа $A = p\Delta V$ (з; 34; 7; 4,9); 20) изменение внутренней энергии $\Delta U = A + Q$ (з; 52; 9; 5,8); **7. Количество теплоты. Теплообмен, плавление** ($F_{27} = 4$, $CM_{27} \approx 30$, $CB_{27}^{cp} \approx 2,2$): 21) количество теплоты при нагревании $Q = cm\Delta T$ (з; 34; 11; 3,1); 22) количество теплоты при парообразовании $Q = Lm$ (з; 32; 8; 4,0); 23) количество теплоты при плавлении $Q = \lambda m$ (з; 29; 8; 3,6); 24) количество теплоты при теплообмене $Q_1 + Q_2 + \dots + Q_N = 0$ (з; 26; 10; 2,6); **8. Тепловой двигатель, КПД** ($F_{28} = 2$, $CM_{28} \approx 37$, $CB_{28}^{cp} \approx 1,9$): 25) КПД теплового двигателя $\eta = A/Q$ (о; 33; 8; 4,1); 26) КПД идеального теплового двигателя $\eta = (T_H - T_X)/T_H$ (з; 42; 12; 3,5).

Раздел 3. ЭЛЕКТРОДИНАМИКА (рассмотрен в [4])

Раздел 4. ОПТИКА: 1) Законы отражения и преломления ($F_{41} = 3$, $CM_{41} \approx 37$, $CB_{41}^{cp} \approx 1,6$): 27) при отражении $\alpha = \beta$ (з; 18; 8; 2,3); 28) при преломлении $\sin \alpha / \sin \beta = n_2 / n_1$ (з; 62; 19; 3,3); 29) показатель преломления $n = c/v$ (о; 30; 10; 3,0); **2) Линзы. Оптическая сила** ($F_{42} = 3$, $CM_{42} \approx 25$, $CB_{42}^{cp} \approx 1,6$): 30) оптическая сила тонкой линзы $D = 1/f$ (о; 19; 8; 2,4); 31) для тонкой линзы $D = 1/d + 1/f$ (з; 32; 13; 2,5); 32) увеличение $\Gamma = H/h = |f/d|$ (о; 24; 16; 1,5); **3) Волновая оптика. Интерференция, дифракция** ($F_{43} = 3$, $CM_{43} \approx 72$, $CB_{43}^{cp} \approx 1,6$): 33) максимум интенсивности при интерференции наблюдается, если $\Delta d = k\lambda$, $k \in Z$ (з; 56; 11; 5,1); 34) максимум интенсивности при интерференции наблюдается, если $\Delta d = (2k + 1)\lambda$, $k \in Z$ (з; 64; 17; 3,8); 35) максимум интенсивности при дифракции на решетке, если $d \sin \phi = k\lambda$, $k \in Z$ (з; 97; 15; 6,5).

Раздел 5. ФИЗИКА МИКРОМИРА: 1. Фотоэффект, корпускулярная природа света ($F_{51} = 3$, $CM_{51} \approx 57$, $CB_{51}^{cp} \approx 1,7$): 36) энергия фотона $E = h\nu$ (з; 49; 13; 3,8); 37) для фотоэффекта $h\nu = A + mv_m^2/2$ (з; 76; 17; 4,5); 38) длина волны Бройля $\lambda = h/p$ (з; 46; 10; 4,6); **2. Теория атома водорода** ($F_{52} = 2$, $CM_{52} \approx 78$, $CB_{52}^{cp} \approx 1,5$): 39) энергия фотона $h\nu = E_n - E_m$ (з; 74; 13; 5,7); 40) энергия атома водорода $E_n = -k^2 me^2 / (2\hbar^2 n^2)$ (з; 83; 24; 3,5); **3. Ядерные реакции** ($F_{53} = 5$, $CM_{53} \approx 63$, $CB_{53}^{cp} \approx 2,0$): 41) для ядерной реакции $A_1 + A_2 = const$, $Z_1 + Z_2 = const$ (з; 75; 16; 4,7); 42) число нераспавшихся атомов $N = N_0 2^{-t/T}$ (з; 49; 15; 3,3); 43) массовое число атома $A = Z + N$ (з; 47; 9; 5,2); 44) энергия связи ядра $E_{св} = (Zm_p + Nm_n - M_{я})c^2$ (з; 115; 24; 4,8); 45) удельная энергия связи ядра $E_{уд} = E_{св}/N$ (о; 55; 10; 5,5); **4. Доза излучения, эквивалентная доза излучения** ($F_{54} = 2$, $CM_{54} \approx 37$, $CB_{54}^{cp} \approx 1,5$): 46) поглощенная доза излучения $D = E/m$ (о; 46; 11; 4,2); 47) эквивалентная доза поглощенного излучения $H = Dk$ (о; 28; 12; 2,3).

Раздел 6. ЧАСТНАЯ ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ: 1) ЧТО: кинематика, релятивистские эффекты ($F_{61} = 3$,

Окончание табл. 1

$SM_{61} \approx 57$, $CB_{61}^{cp} \approx 1,4$); 48) длина движущегося стержня $l = l_0 \sqrt{1 - v^2/c^2}$ (з; 43; 17; 2,5); 49) промежуток времени между событиями $\tau = \tau_0 \sqrt{1 - v^2/c^2}$ (з; 43; 16; 2,7); 50) скорость частицы относительно неподвижной системы отсчета $v = (v_1 + v_2) / (1 + v_1 v_2 / c^2)$ (з; 85; 30; 2,8); 2) ЧТО: релятивистские энергия и импульс ($F_{62} = 4$, $SM_{62} \approx 54$, $CB_{62}^{cp} \approx 1,5$); 51) энергия покоя $E = mc^2$ (з; 34; 9; 3,8); 52) релятивистский импульс $\vec{p} = m\vec{v} / \sqrt{1 - v^2/c^2}$ (з; 63; 19; 3,3); 53) релятивистская энергия частицы $E = c\sqrt{p^2 + m^2 c^2}$ (з; 58; 15; 3,9); 54) релятивистская энергия частицы $E = mc^2 / \sqrt{1 - v^2/c^2}$ (з; 61; 19; 3,2).

На рис. 1.1 представлено распределение формул из школьного курса физики по механике (М), молекулярной физике и термодинамике (МФ + Т), электродинамике (Э) на плоскости $V - SC$. Видно, что: 1) с ростом объема V семантическая сложность SC формул, относящихся к одному разделу, в среднем растет; 2) формулы по молекулярной физике и термодинамике (квадратики) занимают промежуточное положение между формулами по механике (точки) и формулами по электродинамике (кружки).

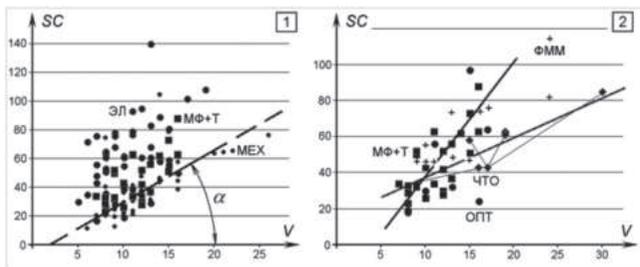


Рис. 1. Распределение физических формул в пространстве признаков

На рис. 1.2 приведено соответствующее распределение школьных формул по молекулярной физике и термодинамике (квадратики), оптике (кружки), физике микромира (крестики) и ЧТО (ромбы). Если вычислить коэффициенты линейной регрессии для формул из некоторых разделов, то получается так: механика — 3,17, молекулярная физика и термодинамика — 4,16, ЧТО — 2,45. Эти значения приблизительно равны тангенсу угла наклона α между усредненной прямой, вокруг которой группируются точки, и горизонтальной осью V .

Трудность понимания и усвоения формул зависит от средней сложности понятий SC_{Π}^{cp} и средней сложности формул SC_{Φ}^{cp} , которые равны: 1) механика: $SC_{\Pi}^{cp} \approx 3,28$, $SC_{\Phi}^{cp} \approx 40,1$; 2) молекулярная физика и термодинамика: $SC_{\Pi}^{cp} \approx 3,97$, $SC_{\Phi}^{cp} \approx 43,3$; 3) электродинамика: $SC_{\Pi}^{cp} \approx 5,65$, $SC_{\Phi}^{cp} \approx 60,4$; 4) оптика: $SC_{\Pi}^{cp} \approx 3,44$, $SC_{\Phi}^{cp} \approx 44,7$; 5) физика микромира: $SC_{\Pi}^{cp} \approx 4,27$, $SC_{\Phi}^{cp} \approx 61,9$; 6) ЧТО: $SC_{\Pi}^{cp} \approx 3,10$, $SC_{\Phi}^{cp} \approx 55,3$. Видно, что самыми сложными разделами являются электродинамика и физика микромира;

в них используются формулы и понятия с высокими SC .

Решение ФЗ состоит из физической, математической и вычислительной составляющих, поэтому можно говорить о физической, математической и вычислительной сложности. Физическая сложность самостоятельного решения задачи зависит: 1) от сложности исходных формул, выражающих связи между известными и искомыми физическими величинами; 2) степени неопределенности их выбора.

При решении одноформульных задач (ФЗ, требующих применения одной формулы) реализуются всевозможные ситуации, находящиеся между двумя крайностями: 1) ученик раньше решал эту ФЗ, поэтому просто вспоминает ее решение; 2) ученик впервые анализирует данную ФЗ, т.е. решает ее в прямом смысле этого слова. Если ученик помнит метод решения, то сложность выбора формулы минимальна: $CB_{\min} = 1$. Если он впервые решает ФЗ, то он должен выбрать подходящую формулу. Сложность этого выбора зависит от: 1) неопределенности выбора метода решения; 2) неопределенности выбора формулы из всего множества формул, относящихся к данному методу (теме). Промежуточной ситуации соответствует среднее арифметическое от CB^{\max} и $CB^{\min} = 1$; оно равно $CB^{cp} = (1 + CB^{\max}) / 2$.

Во втором разделе курса физики МФ + Т применяется 8 методов ($M_2 = 8$); сложность выбора подходящего метода равна $CBM_2 = \ln(M_2) = \ln(8) \approx 2,08$. Сложность правильного выбора формулы из j -го метода составляет $CB\Phi_{2j} = \ln(F_{2j})$. Суммируя эти величины, получаем максимальную сложность выбора формулы для решения одноформульной ФЗ по этой теме:

$$CB_{2j}^{\max} = CBM_2 + CB\Phi_{2j} = \ln(M_2) + \ln(F_{2j}).$$

При расчете физической сложности задачи сложность используемой формулы SC_j следует увеличить в $CB^{cp} = (1 + CB_{ij}^{\max}) / 2$ раз. Например, во втором методе 6 формул, поэтому $CB\Phi_{22} = \ln(6) \approx 1,79$. Поэтому $CB_{22}^{\max} \approx 2,08 + 1,79 = 3,87$, $CB_{22}^{cp} \approx 2,4$. При оценке физической сложности двух- или трехформульной ФЗ необходимо семантическую сложность SC_f каждой формулы увеличить в CB_{ij}^{cp} раз, а затем все сложить. Вычисленные значения CB_{ij}^{cp} и SM_{ij} приведены в табл. 1. Сложность (i, j) -метода SM_{ij} вычисляется как среднее арифметическое сложностей SC_f всех формул, относящихся к этому методу.

Заключение

Рассмотрена проблема оценки сложности формул и методов, применяемых при решении школьных

задач по молекулярной физике и термодинамике, оптике, физике микромира, частной теории относительности. В результате анализа школьных учебников по физике получен список формул по перечисленным разделам. Выделены 17 методов решения задач; каждому методу соответствует своя тема, например, «Влажность воздуха», «Линзы. Оптическая сила», «Ядерные реакции» и т.д. Все формулы заменены словесными описаниями, помещенными в файле *Formuli.txt*; и проанализированы специальной компьютерной программой, обращающейся к словарю *Slovar.txt*, содержащему список терминов с указанием их сложностей. Это позволило: 1) для

каждой формулы определить семантическую сложность и коэффициент свернутости информации; 2) изучить распределение формул из различных разделов в пространстве их признаков «объем — семантическая сложность»; 3) для каждого раздела оценить средние сложности формул и входящих в них понятий; 4) оценить сложность каждого метода решения ФЗ; 5) учитывая количество формул в каждом методе, оценить неопределенность их выбора при самостоятельном решении одноформульной задачи. Обсужден вопрос об учете неопределенность выбора формул при решении двух- и трехформульных задач.

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. *Гидлевский А.В.* Исчисление трудности дидактической задачи [Текст] / А.В. Гидлевский // Вестник Омского университета. — 2010. — № 4. — С. 241–246.
3. *Майер Р.В.* Оценка сложности формул и методов, применяемых при решении школьных задач по механике [Текст] / Р.В. Майер // Стандарты и мониторинг в образовании. — 2023. — Т. 11. — № 6. — С. 39–45.
4. *Майер Р.В.* Сложность формул и методов, применяемых при решении школьных задач (на материале электродинамики) [Текст] / Р.В. Майер // Вестник Омского государственного педагогического университета. — 2023. — № 4. — С. 181–186.
5. *Мякишев Г.Я.* Физика. 10 класс [Текст]: учеб. для общеобразоват. организаций: базовый уровень / Г.Я. Мякишев, Б.Б. Буховцев, Н.Н. Сотский. — М.: Просвещение, 2016. — 416 с.
6. *Мякишев Г.Я.* Физика. 11 класс [Текст]: учеб для общеобразоват. организаций: базовый и углубл. уровни / Г.Я. Мя-
7. *Наймущина О.Э.* Многофакторная оценка сложности учебных заданий [Текст] / О.Э. Наймущина, Б.Е. Стариченко // Образование и наука. — 2010. — № 2. — С. 58–70.
8. *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.
9. *Рыженко Н.Г.* Сложность и трудность структуры решения 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.
10. *Самсонов Н.Б.* Разработка и апробация лингвистической методики оценки когнитивной сложности научно-учебного текста [Текст] / Н.Б. Самсонов, Е.В. Чмыхова, Д.Г. Давыдов // Психологические исследования. — 2015. — № 8. — 6 с.
11. *Сакович А.Л.* Сложность физических задач и их уровни [Текст] / А.Л. Сакович // Фізика. Проблеми викладання. — 2004. — № 1. — С. 33–40.
12. *Hanakova M.* The complexity of physics and mathematics in analysis for (more) suitable assessment in physics olympiad // EDULEARN18 Proceedings, 2018, pp. 7685–7692.

References

1. *Babaev V.S., Kulagina M.V., Shkитina Ju.Ju.* Opredelenie trudnosti i slozhnosti fizicheskikh zadach [Determination of the difficulty and complexity of physical tasks] // Fizicheskoe obrazovanie v vuzah, 2005, vol. 11, no. 4, pp. 93–101.
2. *Gidlevskij A.V.* Ischislenie trudnosti didakticheskoy zadachi [Calculus of the difficulty of a didactic problem] // Vestnik Omskogo universiteta, 2010, no. 4, pp. 241–246.
3. *Mayer R.V.* Ocenka slozhnosti formul i metodov, primenjajemykh pri reshenii shkol'nykh zadach po mehanike [Estimation of the complexity of formulas and methods used in solving school problems in mechanics] // Standarty i monitoring v obrazovanii, 2023, vol. 11, no. 6, pp. 39–45.
4. *Mayer R.V.* Slozhnost' formul i metodov, primenjajemykh pri reshenii shkol'nykh zadach (na materiale jelektrodinamiki) [The complexity of formulas and methods used in solving school problems (based on the material of electrodynamics)] // Vestnik Omskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta, 2023, no. 4, pp. 181–186.
5. *Mjakishev G.Ja., Buhovcev B.B., Sotskij N.N.* Fizika. 10 klass: ucheb. dlja obshheobrazovat. organizacij: bazovyy uroven' [Physics. 10th grade: textbook for general education. organizations: basic level]. M.: Prosveshhenie, 2016. 416 p.
6. *Mjakishev G.Ja., Buhovcev B.B., Charugin V.M.* Fizika. 11 klass: ucheb dlja obshheobrazovat. organizacij: bazovyy i uglubl. urovni [Physics. 11th grade: textbook for general education. organizations: basic and advanced levels]. M.: Prosveshhenie, 2019. 445 p.
7. *Najmushina O.Je., Starichenko B.E.* Mnogofaktornaja ocenka slozhnosti uchebnykh zadaniy [Multifactorial assessment of the complexity of educational tasks] // Obrazovanie i nauka, 2010, no. 2, pp. 58–70.
8. *Naumov I.S., Vyhovanec V.S.* Ocenka trudnosti i slozhnosti uchebnykh zadach na osnove sintaksicheskogo analiza tekstov [Assessment of the difficulty and complexity of educational tasks based on syntactic analysis of texts] // Upravlenie bol'shimi sistemami: sb. tr. 2014. Vyp. 48, pp. 97–131.
9. *Ryzenko N.G.* Slozhnost' i trudnost' struktury reshenija zadachi [Complexity and difficulty structures of solving the task] // Matematika i informatika: nauka i obrazovanie: Mezhevuz. sb. nauch. tr.: Ezhegod. Vyp. 4. Omsk: Izd-vo OmGPU, 2004, pp. 89–92.

10. Samsonov N.B., Chmyhova E.V., Davydov D.G. Razrabotka i aprobacija lingvisticheskoj metodiki ocenki kognitivnoj slozhnosti nauchno-uchebnogo teksta [Development and approbation of a linguistic methodology for assessing the cognitive complexity of a scientific and educational text] // Psihologicheskie issledovanija, 2015, no. 8, 6 p.
11. Sakovich A.L. Slozhnost' fizicheskikh zadach i ih urovni [The complexity of physical problems and their levels] // Fizika. Problemy vykladannja, 2004, no. 1, pp. 33–40.
12. Hanakova M. The complexity of physics and mathematics in analysis for (more) suitable assessment in physics olympiad // EDULEARN18 Proceedings, 2018, pp. 7685–7692.