

Роберт Валерьевич Майер

Глазовский государственный инженерно-педагогический университет им. В. Г. Короленко,
доктор педагогических наук, доцент, профессор кафедры физики и дидактики физики, Глазов, Россия
e-mail: robert_maier@mail.ru

Сложность формул и методов, применяемых при решении школьных задач (на материале электродинамики)

Аннотация. В статье описана методика оценки сложности формул и методов, используемых при решении школьных задач по электродинамике, проанализированы получающиеся результаты. На основе контент-анализа стандартных школьных учебников и задачников выделено шесть тем, каждой из которых соответствует своя совокупность формул и свой метод решения задач. Формулы были закодированы вербальным кодом и представлены в текстовом файле Formula.txt. Для каждой из 48 формул посчитано количество терминов, учтена их сложность, что позволило определить семантическую сложность и коэффициент свернутости информации. Проанализированы распределения формул и методов в пространствах «объем — сложность» и «средняя сложность — средний коэффициент свернутости информации». Исходя из количества формул в каждом методе, оценена неопределенность выбора формул и соответствующая ей сложность выбора при самостоятельном решении задач по электродинамике.

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

Robert V. Mayer

Glazov Korolenko State Engineering and Pedagogical University, Doctor of Pedagogical Sciences, Associate Professor,
Professor of the Department of Physics and Didactics of Physics, Glazov, Russia
e-mail: robert_maier@mail.ru

Complexity of Formulas and Methods Used in Solving School Tasks (The Case of Electrodynamics)

Abstract. The article describes the methodology for assessing the complexity of formulas and methods used in solving school problems in electrodynamics, analyzes the results obtained. Based on the content analysis of standard school textbooks and problem books, 6 topics have been identified, each of which corresponds to its own set of formulas and its own method of solving problems. The formulas were encoded with a verbal code and presented in a text file Formula.txt. For each of the 48 formulas, the number of terms was counted, their complexity was taken into account, which allowed to determine the semantic complexity and the coefficient of information convolution. The distributions of formulas and methods in the spaces “volume — complexity” and “average complexity — average coefficient of information convolution” are analysed. Based on the number of formulas in each method, the uncertainty of the choice of formulas and the corresponding complexity of the choice in the independent solution of problems in electrodynamics are estimated.

Keywords: didactics, method, educational task, semantics, complexity, physics, formula.

Введение (Introduction)

Электродинамика — самый большой раздел школьного курса физики, освоение которого имеет важное практическое значение. Кроме экспериментального и теоретического изучения физических явлений оно предполагает решение большого количества физических задач (ФЗ). Это способствует более глубокому усвоению физической сущности рассматриваемых процессов, пониманию логики рассуждений и связей между различными физическими величинами, овладению различными методами анализа электромагнитных явлений. В этой связи проблема определения сложно-

сти методов решения задач по электродинамике приобретает особую актуальность. Объективная оценка сложности физических задач и учебных заданий поможет расположить их в порядке возрастания трудности выполнения и правильно оценивать контрольные работы учеников.

Методика оценки сложности учебных заданий неоднократно обсуждалась в научно-методической литературе [1; 2; 3; 4; 5; 6; 7]. Обычно для этого предлагаются методы, основанные на результатах: 1) определения времени и степени выполнения заданий; 2) регистрации психофизиологических параметров мыслительных процессов

с помощью датчиков; 3) нахождения числа научных терминов, используемых учениками; 4) оценивания заданий экспертами; 5) субъективных оценок трудности заданий самими учениками. Педагогическая экспертиза сложности учебных заданий, проведение педагогических или психофизиологических экспериментов слишком трудоемки, так как требуют привлечения большого числа экспертов или учащихся. По этой причине большое практическое значение имеют методы оценки сложности ФЗ, основанные на семантическом и структурно-логическом анализе ее условия и решения [1; 3; 4; 7].

В некоторых работах (например, [3; 4]) сложность задачи связывается с логической структурой ее решения. При этом совершенно не учитывается, что: 1) сложность задачи зависит от семантической сложности используемых понятий; 2) сложность самостоятельного решения задачи учеником существенно больше сложности понимания готового решения задачи, представленного в учебнике. Последнее вызвано тем, что при самостоятельном решении ученик должен правильно определить тему, к которой относится анализируемая ситуация, выбрать подходящие формулы и теоретические модели, т. е. метод решения ФЗ.

Цель исследования: 1) на основе анализа учебников физики выделить основные методы решения задач по электродинамике и оценить семантическую сложность соответствующих формул; 2) определить среднюю сложность методов решения задач по электродинамике; 3) установить, как при определении сложности самостоятельного решения ФЗ можно учесть неопределенность выбора формулы из того или иного метода (темы).

Методы (Methods)

Методологической основой исследования стали работы по следующим направлениям: 1) теория учебных задач (Г. А. Балл [2], А. Н. Лазарев и М. В. Чистяков [8], Л. А. Ларченкова [5]); 2) методы оценки сложности учебных заданий (В. С. Бабаев, М. В. Кулагина и Ю. Ю. Шкитина [1], А. В. Гидлевский [3], В. М. Кротов [4], О. Э. Наймушина и Б. Е. Стариченко [6], И. С. Наумов и В. С. Выхованец [7]); 3) методы определения сложности учебных текстов (Р. В. Майер [9; 10], Н. Б. Самсонов, Е. В. Чмыхова и Д. Г. Давыдов [11]); 4) контент-анализ текстов (Е. Я. Таршис [12]). Используются следующие методы: анализ и синтез, логические рассуждения, ранжирование и группировка понятий по категориям сложности, элементы корреляционного анализа, изучение распределения объектов в пространстве признаков.

Методология оценки сложности дидактических объектов (ДО) подробно рассмотрена в монографии [10]. За семантическую сложность SC (от semantic complexity) ДО (текста, рисунка, формулы) примем количество смысловой информации, содержащейся в его описании. При этом все компоненты ДО следует закодировать одним кодом (удобно использовать вербальный код), а затем определить сложность полученного сообщения. С этой целью текстовый файл с описанием рассматриваемого дидактического объекта необходимо проанализировать компьютерной программой, которая выбирает научные термины и, обра-

щаясь к словарю-тезаурусу, определяет их семантические сложности, а затем всё суммирует [10].

При оценке сложности текстов и формул школьного курса физики в качестве единицы измерения семантической информации удобно взять информационную емкость слов, хорошо известных пятикласснику и входящих в его тезаурус Z_5 : человек, вода, воздух, расстояние, время и т. д. Тогда семантическая сложность абстрактного понятия P относительно тезауруса Z_5 будет равна наименьшему количеству слов из Z_5 , которые позволяют объяснить P .

Как следует из общей теории систем, любая формула — это система, состоящая из взаимосвязанных элементов: букв, обозначающих физические величины, и математических символов. Семантическая сложность формулы определяется: 1) количеством величин и связей между ними, т. е. числом букв и математических символов; 2) сложностью составляющих ее математических операций и физических величин. Чтобы определить сложность формул [9; 10]: 1) создают файл Formula.txt, в котором формулы закодированы вербально, т. е. представлены в виде предложений: $W = LI^2 / 2$ — «энергия катушки индуктивности равна индуктивность умножить на силу тока в квадрате делить на число»; 2) путем подсчета числа слов в определениях оценивают сложность терминов, входящих в формулы, и записывают результаты в файл Slovar.txt; 3) с помощью специальной компьютерной программы, написанной в ABCPascal, которая обращается к файлу Slovar.txt, анализируют файл Formula.txt и определяют суммарную сложность всех терминов, составляющих описание формулы. При этом учитывают, что если в формуле некоторый символ используется повторно, то его сложность уменьшается на 30 %. Если понятие со сложностью SC_1 встречается четыре раза, то суммарная сложность его использования равна $SC_1(1 + 0,7 + 0,7^2 + 0,7^3) = 2,53 SC_1$.

Результаты и обсуждение (Results and Discussion)

Стандартный школьный курс физики [13; 14] содержит более 110 формул, которые могут быть разделены на две группы: 1) формулы, соответствующие определениям новых физических величин, образуемых от других абстракций; 2) формулы, выражающие функциональную зависимость между физическими величинами. Таким образом, каждая формула соответствует некоторому утверждению (определению или фактуальному положению), а значит, несет определенное количество семантической информации. Например, формула $I = U/R$ означает, что сила тока прямо пропорциональна напряжению на участке цепи и обратно пропорциональна сопротивлению. Это утверждение тем сложнее, чем больше в нём семантической информации, т. е. чем больше слов из тезауруса Z_5 необходимо произвести, чтобы объяснить его сущность.

На уроках физики школьники осваивают различные методы решения физических задач [15; 16]. Каждый метод — это совокупность приемов, применяемых при решении ФЗ по данной теме; в таких задачах используются примерно одни и те же физические модели, понятия, теоретические идеи и формулы. ФЗ по темам «Цепи постоянного тока», «Работа и мощность электрического тока», «Электромагнитные

колебания» и т. д. решаются разными способами, предполагающими использование соответствующих физических идей, моделей, законов и выражающих их формул. В разделе «Электродинамика» школьного курса физики нами выделены следующие темы (и соответствующие им методы решения задач):

1. Электростатика, напряженность, потенциал.
2. Конденсатор, емкость.
3. Цели постоянного тока.
4. Работа и мощность электрического тока.
5. Магнитное поле. Электромагнитная индукция.
6. Электромагнитные колебания, переменный ток.

Если формула выражает зависимость между величинами (например, $E = kq / r^2$), то ее заменяют соответствующим положением («напряженность поля точечного заряда прямо пропорциональна величине заряда и обратно пропорциональна квадрату расстояния»), а затем суммируют семантические сложности всех входящих в него понятий. Если формула выражает определение некоторой физической величины X , то поступают аналогично с той лишь разницей, что сложность термина, обозначающего величину X , считают равной 1. Например, в предложении «напряжение — это разность потенциалов» семантическая сложность слова «напряжение» принимается равной одному. Это вызвано тем, что предложение-определение содержит повтор: до и после тире речь идет о напряжении. Иной подход (когда учитывается, что S (напряжение) = 24) приведет к тому, что количество семантической информации в определении (а значит и формулы $U = \varphi_1 - \varphi_2$) будет завышена почти в два раза. При определении объема информации V , равного числу слов в тексте, описывающем формулу, счету подлежат все слова, включая определяемый термин.

По аналогичным причинам сложность любого коэффициента пропорциональности (k , G , c и др.) считается равной пяти. В качестве примера рассмотрим формулу $F = kq_1q_2 / r^2$. Если выразить постоянную k ($k = F r^2 / q_1q_2$) и определить ее сложность путем подсчета суммарной сложности терминов F , r , q_1 , q_2 , то сложность формулы $F = kq_1q_2 / r^2$ окажется завышенной в 1,5–2 раза. Сложность чисел «2», π , e и т. д. принимается равной двум.

Чтобы оценить сложность физических понятий, обозначающих физические объекты, явления и величины, учтем следующее. Система понятий является иерархической, многоуровневой: определение каждого нового понятия ($k + 1$)-ого уровня опирается на ранее введенные абстракции k -ого уровня. На рисунке 1.1 показано, что, исходя из ранее определенных понятий (заряд q , сила F , время t , потенциальная энергия W , работа A , момент силы M и площадь S), можно дать определение остальным электродинамическим величинам: напряженности E , силе тока I , сопротивлению постоянному R и переменному Z току, потенциалу φ , напряжению U , ЭДС, индукции B магнитного поля, магнитному потоку Φ и индуктивности L . Очевидно, что понятие «потенциал» сложнее, чем «потенциальная энергия», а «напряжение»

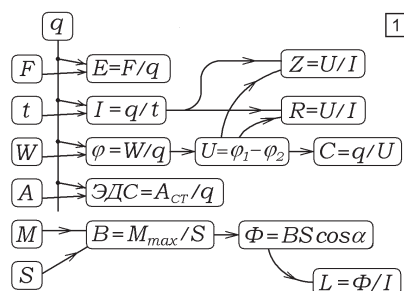


Рис. 1. Связь понятий электродинамики. Фрагмент таблицы Excel

| № | ФОРМУЛЫ | SC | V | KCI |
|---------|-------------------------|-----|-----|-----|
| ... | ... | ... | ... | ... |
| Метод 5 | | | | |
| 30 | $F_A = IB \sin \alpha$ | 59 | 15 | 3,9 |
| 31 | $F_A = qvB \sin \alpha$ | 58 | 14 | 4,1 |
| ... | ... | ... | ... | ... |
| 37 | $W = LI^2/2$ | 79 | 11 | 7,2 |
| Метод 6 | | | | |

сложнее, чем «потенциал»: SC (потенциальная энергия) < SC (потенциал) < SC (напряжение).

В результате подсчета количества слов в определенных и парных сравнений различных понятий были получены следующие оценки сложности: заряд — 6, сила тока — 13, потенциальная энергия — 15, индукция магнитного поля — 18, потенциал — 21, напряжение — 24, емкость — 26, магнитный поток — 27, сопротивление — 28, индуктивность — 32 и т. д.

С помощью упомянутой выше компьютерной программы удалось оценить семантическую сложность 48 школьных формул по электродинамике, изучаемых в 10-м и 11-м классах [13; 14]. Для каждой формулы был вычислен коэффициент свернутости информации $KCI = SC / V$, где V — объем информации (количество слов) в предложении, заменяющем формулу. Полученные значения KCI показывают степень концентрации информации в терминах, т. е. среднее число слов из тезауруса Z_5 , которое требуется для объяснения основных величин третьего раздела физики — электродинамики. Чем выше KCI , тем труднее понять соответствующий текст, предложение или формулу. Все результаты были сведены в таблицу Excel, фрагмент которой представлен на рисунке 1.2. Ниже они приводятся в следующем формате: «формула (определение (о), закон или зависимости (з); SC ; V ; KCI)»:

1) электростатика, напряженность, потенциал (число формул $F_{31} = 9$): 1) в электрически изолированной системе $q_1 + q_2 + q_3 = const$ (з; 28; 9; 3,1); 2) сила Кулона $F = kq_1q_2 / r^2$ (з; 39; 11; 3,6); 3) напряженность электрического поля $\vec{E} = \vec{F}/q$ (о; 20; 10; 2,0); 4) при наложении нескольких электрических полей $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3$ (з; 61; 13; 4,7); 5) напряженность электрического поля точечного заряда $E = kq / r^2$ (з; 55; 10; 5,5); 6) потенциальная энергия взаимодействия заряда и электрического поля $W = qEd$ (з; 63; 8; 7,9); 7) потенциал электрического поля $\varphi = W/q$ (о; 28; 8; 3,5); 8) напряжение между точками электрического поля $U = \varphi_1 - \varphi_2$ (о; 31; 5; 6,2); 9) напряженность электрического поля $E = U/d$ (з; 56; 7; 8,0);

2) конденсатор, емкость ($F_{32} = 5$): 10) емкость конденсатора $C = q/U$ (о; 36; 6; 6,0); 11) емкость конденсатора $C = \epsilon \epsilon_0 S/d$ (з; 61; 12; 5,1); 12) энергия конденсатора $W = CU^2/2$ (з; 78; 9; 8,7); 13) при параллельном соединении конденсаторов $C = C_1 + C_2$ (з; 51; 8; 6,4); 14) при последовательном соединении конденсаторов $1/C = 1/C_1 + 1/C_2$ (з; 60; 14; 4,3);

3) цепи постоянного тока ($F_{33} = 10$): 15) сила тока $I = q/t$ (о; 18; 7; 2,6); 16) сила тока $I = qv n S$ (з; 68; 13; 5,2); 17) сопротивление $R = U/I$ (о; 49; 7; 7,0); 18) сила тока $I = U/R$ (з; 76; 7; 10,9); 19) сопротивление $R = \rho l/S$ (з; 62; 10; 6,2); 20) при последовательном соединении резисторов $R = R_1 + R_2$ (з; 76; 9; 8,4); 21) при параллельном соединении резисторов $1/R = 1/R_1 + 1/R_2$ (з; 89; 14; 6,4); 22) сила тока $I = \mathcal{E}DC / (R + r)$ (з; 93; 11; 8,5); 23) удельное сопротивление $\rho = \rho_0(l + \alpha t)$ (з; 54; 15; 3,6); 24) масса выделяющегося вещества $m = kIt$ (з; 39; 10; 3,9);

4) работа и мощность электрического тока ($F_{34} = 5$): 25) работа тока $A = IUt$ (з; 68; 9; 7,6); 26) количество теплоты $Q = IRt$ (з; 62; 10; 6,2); 27) мощность $P = A/t$ (о; 30; 6; 5,0); 28) мощность тока $P = UI = IR^2$ (з; 72; 13; 5,5); 29) электродвижущая сила $\mathcal{E}DC = A/q$ (о; 37; 8; 4,6);

5) магнитное поле, электромагнитная индукция ($F_{35} = 8$): 30) сила Ампера $F_A = IB \sin \alpha$ (з; 59; 15; 3,9); 31) сила Лоренца $F_L = qvB \sin \alpha$ (з; 58; 14; 4,1); 32) магнитный поток $\Phi = BS \cos \alpha$ (о; 35; 12; 2,9); 33) ЭДС индукции $\mathcal{E}DC = -\Delta\Phi / \Delta t$ (з; 77; 11; 7,0); 34) ЭДС индукции $\mathcal{E}DC = vBl \sin \alpha$ (з; 81; 15; 5,4); 35) индуктивность соленоида $L = \Phi / I$ (о; 44; 7; 6,3); 36) ЭДС индукции $\mathcal{E}DC = -L \Delta I / \Delta t$ (з; 95; 12; 7,9); 37) энергия катушки индуктивности $W = LI^2 / 2$ (з; 79; 11; 7,2);

6) электромагнитные колебания, переменный ток ($F_{36} = 11$): 38) энергия колебательного контура $W = LI^2 / 2 + q^2 / 2C$ (з; 102; 17; 6); 39) энергия колебательного контура $W = LI_m^2 / 2 = q_m^2 / 2C$ (з; 108; 19; 5,7); 40) для колебательного контура $q'' + (1/LC)q = 0$ (з; 140; 13; 11); 41) период колебаний в колебательном контуре $T = 2\pi\sqrt{LC}$ (з; 83; 13; 6,4); 42) мгновенное значение переменного тока $i = I_m \sin \omega t$ (з; 56; 15; 3,7); 43) действующее значение переменного тока $I = I_m / \sqrt{2}$ (з; 42; 10; 4,2); 44) действующее значение переменного напряжения $U = U_m / \sqrt{2}$ (з; 61; 8; 7,6); 45) полное сопротивление переменному току $Z = U/I$ (о; 54; 8; 6,8); 46) емкостное сопротивление конденсатора

$X_C = 1 / \omega C$ (з; 61; 10; 6,1); 47) индуктивное сопротивление конденсатора $X_L = \omega L$ (з; 65; 8; 8,1); 48) коэффициент трансформации $K = U_2 / U_1$ (о; 50; 16; 3,1).

Получающиеся результаты можно сопоставить с оценками семантической сложности формул по механике, которые получены аналогичным методом. Чтобы проанализировать распределение формул в пространстве признаков «объем V — семантическая сложность SC », поставим точки на координатной плоскости « $V - SC$ ». На рисунке 2.1 показаны два облака точек, соответствующих формулам по механике (точки) и электродинамике (квадраты). Видно, что в среднем формулы по электродинамике имеют более высокую семантическую сложность. Средний KCI для формул по механике равен 3,3, а по электродинамике — 5,2.

Семантическая сложность SC формул электродинамики изменяется от 18 до 140, т. е. в 7,8 раза. К самым простым относятся формулы $q_1 + q_2 + q_3 = const$, $I = q/t$, $P = A/t$. Самой сложной является формула $q'' + (1/LC)q = 0$. Между объемом и семантической сложностью формул существует слабая стохастическая связь: коэффициент корреляции между V и SC для формул по электродинамике составляет 0,44. Это объясняется тем, что чем больше слов в предложении, тем выше SC .

Зная V и SC для формул, можно определить среднюю семантическую сложность SC_{CP} и средний коэффициент свернутости информации KCI_{CP} для каждого метода (темы). На рисунке 2.2 представлено распределение методов решения задач по механике (точки) и по электродинамике (квадраты) в пространстве признаков «средняя семантическая сложность — средний KCI ». Большие значения средней семантической сложности SC_{CP} означают, что формулы рассматриваемых методов несут значительный объем информации. Высокий KCI_{CP} показывает значительную информационную насыщенность терминов, что затрудняет понимание формул учащимися. Методы решения задач по электродинамике объективно сложнее, о чём свидетель-

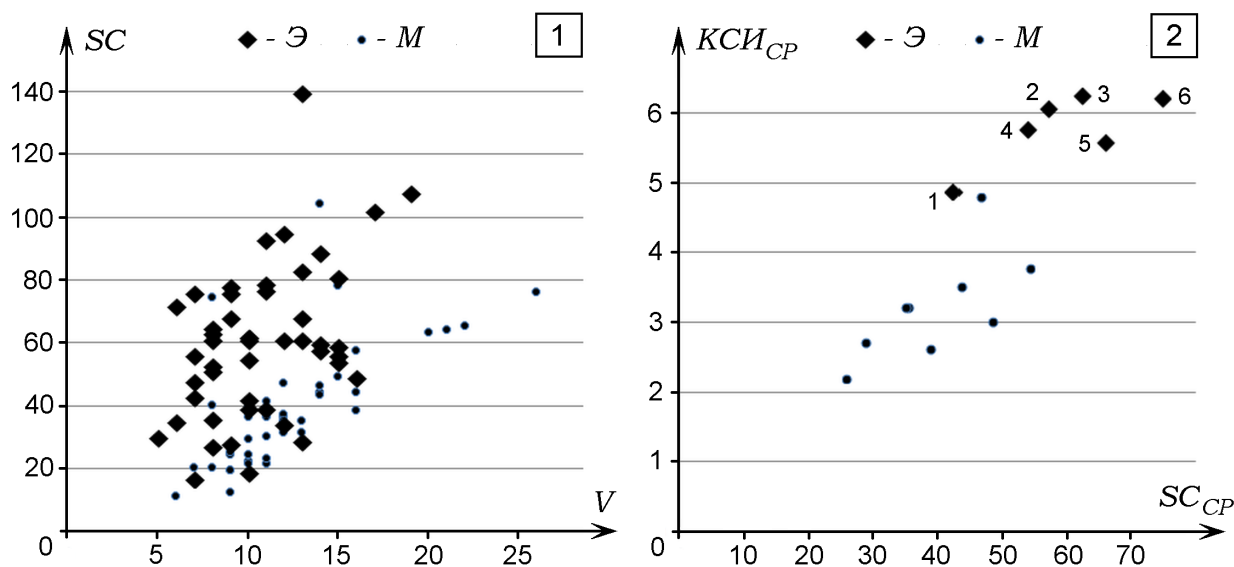


Рис. 2. Облака точек, соответствующих формулам (1) и методам (2)

стует большая удаленность соответствующих точек от начала координат (рис. 2.2).

Обычно решение физической задачи состоит из физической, математической и вычислительной составляющих. Физическая сложность самостоятельного решения задачи зависит: 1) от сложности исходных формул, выражающих связи между известными и искомыми физическими величинами; 2) сложности или степени неопределенности их выбора.

Допустим, ученик решает задачу, требующую применения одной физической формулы (такие задачи будем называть одноформульными). При этом реализуются всевозможные варианты, заключенные между следующими 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. Для решения задачи необходимо из совокупности известных формул выбрать подходящую. Если ученик помнит метод решения, то сложность выбора формулы минимальна и равна $CB^{min} = 1$. Если он впервые решает ФЗ, то сложность выбора формулы максимальна и зависит: 1) от неопределенности выбора метода или темы, к которой относится ФЗ; 2) неопределенности выбора формулы из всей совокупности формул, относящихся к данному методу (теме). Рассмотрим промежуточную ситуацию и возьмем среднее арифметическое от CB^{max} и $CB^{min} = 1$; получается так: $CB^{cp} = (1 + CB^{max}) / 2$.

В третьем разделе курса физики «Электродинамика» шесть методов; сложность выбора подходящего метода характеризуется величиной $CBM_3 = \ln(M_3)$, где $M_3 = 6$. Сложность правильного выбора формулы из j -метода можно оценить так: $CB\Phi_{3,j} = \ln(F_{3,j})$. Суммируя эти величины, получаем максимальную сложность выбора формулы для решения одноформульной ФЗ по электродинамике: $CB_{3,j}^{max} = CBM_3 = CB\Phi_{3,j} = \ln(M_3) + \ln(F_{3,j})$. При расчете физической сложности задачи сложность используемой формулы следует увеличить в $(1 + CB_{3,j}^{max}) / 2$ раз.

В третьем разделе «Электродинамика» шесть методов, поэтому $CBM_3 = \ln(6) \approx 1,79$; метод 1 содержит девять формул, а метод 2 — пять формул, поэтому: $CB\Phi_{3,1} = \ln(9) \approx 2,20$ и $CB\Phi_{3,2} = \ln(5) \approx 1,61$. Средние сложности выбора для методов 1 и 2: $CB_{3,1}^{cp} \approx (1,79 + 2,2 + 1) / 2 \approx 2,5$ и $CB_{3,2}^{cp} \approx (1,79 + 1,61 + 1) / 2 \approx 2,2$. В случае двух- или трехформульной ФЗ необходимо семантическую сложность каждой формулы увеличить в $CB_{3,j}^{cp}$ раз (j — номер метода), а затем сложить.

Заключение (Conclusion)

В статье проанализирована проблема оценки сложности формул и методов, применяемых при решении школьных задач по электродинамике. Особый интерес представляют собой методы оценки сложности физической задачи, которые основаны на анализе ее условия и решения, а также учитывают семантическую сложность используемых терминов. Проанализированы школьные учебники и задачки по физике, выписаны все формулы по электродинамике. Выделены шесть методов решения задач; каждому методу соответствует своя тема: «Электростатика, напряженность, потенциал», «Конденсатор, электроемкость», «Цепи постоянного тока» и т. д. Все формулы были закодированы вербальным кодом в текстовом файле. С помощью специальной компьютерной программы, обращающейся к словарю, определена семантическая сложность каждой формулы и коэффициент свернутости информации. Для оценки сложности отдельных терминов использовался метод подсчета слов в определениях. Всё это позволило: 1) сравнить формулы по сложности; 2) оценить сложность методов решения задач по электродинамике; 3) изучить распределение формул и методов в пространстве их признаков («объем — сложность» и «средняя сложность — средний коэффициент свернутости информации»); 4) учитывая количество формул в каждом методе, оценить неопределенность их выбора при самостоятельном решении одноформульной задачи. Обсужден вопрос об учете неопределенности выбора формул при решении двух- и трехформульных задач.

Библиографический список

1. Бабаев В. С., Кулагина М. В., Шкитина Ю. Ю. Определение трудности и сложности физических задач // Физическое образование в вузах. 2005. Т. 11, № 4. С. 93–101.
2. Балл Г. А. Теория учебных задач: психолого-педагогический аспект. М.: Педагогика, 1990. 184 с.
3. Гидлевский А. В. Исчисление трудности дидактической задачи // Вестн. Ом. ун-та. 2010. № 4. С. 241–246.
4. Кротов В. М. К вопросу о сложности (трудности) физических задач // Фізика: проблеми викладання. 1999. № 3. С. 69–74.
5. Ларченкова Л. А. Образовательный потенциал учебных физических задач в современной школе: дис. ... д-ра пед. наук. СПб., 2014. 388 с.
6. Наймушина О. Э., Стариченко Б. Е. Многофакторная оценка сложности учебных заданий // Образование и наука. 2010. № 2 (70). С. 58–70.
7. Наумов И. С., Выхованец В. С. Оценка трудности и сложности учебных задач на основе синтаксического анализа текстов // Управление большими системами: сб. тр. 2014. Вып. 48. С. 97–131.
8. Лазарев А. Н., Чистяков М. В. Теория и практика решения задач по физике // Педагогический поиск. 2021. № 12. С. 5–11.
9. Майер Р. В. Дидактическая сложность различных тем школьного курса физики и ее оценка // Стандарты и мониторинг в образовании. 2022. № 2. С. 26–33.
10. Майер Р. В. Дидактическая сложность учебных текстов и ее оценка: моногр. Глазов: Глазов. гос. пед. ин-т, 2020. 149 с.
11. Самсонов Н. Б., Чмыхова Е. В., Давыдов Д. Г. Разработка и апробация лингвистической методики оценки когнитивной сложности научно-учебного текста // Психологические исследования. 2015. Т. 8, № 41. 6 с. DOI: 10.54359/ps.v8i41.548

ПЕДАГОГИКА

12. Таршис Е. Я. Контент-анализ: Принципы методологии (Построение теоретической базы. Онтология, аналитика и феноменология текста. Программы исследования). М. : ЛИБРОКОМ, 2013. 176 с.
13. Мякишев Г. Я., Буховцев Б. Б., Сотский Н. Н. Физика. 10 класс : учеб. для общеобразоват. организаций : базовый уровень. М. : Просвещение, 2016. 416 с.
14. Мякишев Г. Я., Буховцев Б. Б., Чаругин В. М. Физика. 11 класс : учеб. для общеобразоват. организаций : базовый и углубл. уровни. М. : Просвещение, 2019. 445 с.
15. Рымкевич А. П. Физика. Задачник. 10–11 кл. : пособие для общеобразоват. учреждений. М. : Дрофа, 2013. 192 с.
16. ЕГЭ. Физика: типовые экзаменационные варианты. 30 вариантов / под ред. М. Ю. Демидовой. М. : Национальное образование, 2022. 400 с.