

# Оценка сложности уравнений вузовского курса физики

## The complexity assessment of the university physics course equations

УДК 378.016.53

DOI: 10.12737/2500-3305-2026-11-2-18-25

### Майер Р.В.

Д-р пед. наук, доцент, профессор кафедры физики и дидактики физики, ФГБОУ ВО «Глазовский инженерно-педагогический университет», г. Глазов  
e-mail: robert\_maier@mail.ru

### Mayer R.V.

Doctor of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Physics and Physics Didactics, Glazov Engineering and Pedagogical University, Glazov  
e-mail: robert\_maier@mail.ru

### Аннотация

В статье рассмотрена проблема оценки семантической сложности физических уравнений. Её решение позволяет оптимизировать процесс обучения, создавать адаптивные обучающие компьютерные системы, правильно управлять нагрузкой студентов, разрабатывать оценочные материалы и сбалансированные тесты. Предлагаемый метод оценки сложности физических уравнений заключается в следующем: уравнения записывают в словесном коде, в получившемся тексте выявляют научные термины и суммируют их сложности. При этом под сложностью научного термина понимается количество простых (очевидных для пятиклассника) слов, требующихся для определения или объяснения сущности обозначаемого понятия. Установлено, что наиболее высокую сложность имеют: нестационарное уравнение Шрёдингера в краткой записи и в декартовых координатах, стационарное уравнение Шрёдингера в декартовых координатах и уравнение теплопроводности для неоднородной среды. Из четырёх уравнений Максвелла наиболее сложным является уравнение, выражающее теорему о циркуляции магнитного поля, которое примерно в 7,8 раза сложнее закона Ома для полной цепи.

**Ключевые слова:** дидактика, нейросеть, семантика, сложность, уравнения, физика, формула.

### Abstract

The article considers the problem of estimating the semantic complexity of physical equations. Its solution makes it possible to optimize the learning process, create adaptive learning computer systems, properly manage student workload, develop assessment materials and balanced tests. The proposed method for assessing the complexity of physical equations is as follows: the equations are written in a verbal code, scientific terms are identified in the resulting text and their complexities are summarized. The complexity of a scientific term is understood as the number of simple (obvious to a fifth grader pupil) words required to define or explain the essence of the designated concept. It is established that the non-stationary Schrodinger equation in short notation and in Cartesian coordinates, the stationary Schrodinger equation in Cartesian coordinates and the equation of thermal conductivity for a inhomogeneous medium have the highest complexity.

Of Maxwell's four equations, the most complex is the equation expressing the magnetic field circulation theorem, which is about 7.8 times more complex than Ohm's law for a complete circuit.

**Keywords:** didactics, neural network, semantics, complexity, equations, physics, formula.

## Введение

Важной проблемой теории обучения является проблема оценки сложности различных элементов учебного материала (ЭУМ): текстов, понятий, рисунков, формул и т.д. Оценка сложности физических уравнений и задач необходима для: 1) рационального проектирования учебного процесса; 2) индивидуализации обучения; 3) преодоления разрыва между математической формулой и её физическим смыслом; 4) выявления факторов, повышающих трудности понимания и усвоения; 5) создания автоматизированных обучающих систем, учитывающих сложность уравнений, задач, текстов, умеющих правильно подбирать соответствующие задания, делать подсказки, прогнозировать успех учащихся.

Рассматриваемая проблема особенно актуальна для преподавания физики, то есть науки, в которой математическая форма и физическое содержание неразрывно связаны, и неправильное изучение уравнений ведёт не к пониманию, а к формализму и отчуждению от предмета. Учащиеся часто механически запоминают формулы и другие ЭУМ, плохо устанавливают связи между математическими моделями и физическими явлениями. Изучение физики требует одновременного владения физическими понятиями (энергия, поле, волна, симметрия), математическим аппаратом (производные, интегралы, векторы), интерпретационными навыками (например, когда ставят знаки «плюс» и «минус» в формуле тонкой линзы?). Необходимо научить видеть в уравнениях отражение законов природы, понимать их физический смысл. Будущим специалистам важно уметь оценивать сложность задачи (формулы, текста, системы), чтобы эффективно решать реальные проблемы.

**Цель статьи:** оценить сложность наиболее важных уравнений вузовского курса физики, используя метод подсчета терминов и учёта их семантической сложности. **Методологической основой** являются работы следующих ученых: В.С. Бабаев, М.В. Кулагина и Ю.Ю. Шкитина [1], Г.А. Балл [2] (трудность и сложность физических задач), А.С. Кисельников [3], Р.В. Майер [4; 5], Н.Б. Самсонов, Е.В. Чмыхова и Д.Г. Давыдов [8] (дидактическая сложность учебных понятий и текстов), О.Э. Наймушина и Б.Е. Стариченко [6], И.С. Наумов и В.С. Выхованец [7] (оценка сложности учебных заданий), С.Д. Manning, Р. Raghavan и Н. Schütze [10], D. S. McNamara, A. C. Graesser, P. McCarthy и Z. Cai [11], В. Соловьев, М. Солнышкина, М. Андреева, А. Данилов и Р. Замалетдинов [12] (анализ текста методами компьютерной лингвистики).

**1. Методы оценки сложности ЭУМ.** Для оценки сложности различных элементов учебного материала используются следующие подходы:

**1. Объективные методы,** основанные на качественно-количественном анализе структуры материала без привлечения экспертов: а) анализ структуры ЭУМ, учёт числа понятий, формул и степени их взаимосвязи; б) оценка математической сложности, основанная на определении уровня используемого математического аппарата (арифметика – алгебра – тригонометрия – дифференциальное и интегральное исчисление – тензорный анализ), количества операций, степени вложенности функций, типов переменных (скаляр, вектор, тензор); в) лингвистический анализ текста или словесного кода уравнения, учитывающий среднюю длину слов и предложений, индекс читаемости, частоту использования терминов; г) информационный подход, согласно которому сложность ЭУМ пропорциональна количеству содержащейся в нём семантической информации, то есть снятой неопределённости.

**2. Субъективные методы,** основанные на оценках учителей, методистов и экспертов: а) экспертная оценка ЭУМ по различным шкалам абстрактности (например, по шкале Лайкерта), учитывающая требуемый уровень предварительных знаний; б) анализ учебных программ и стандартов, определение положения анализируемого ЭУМ в учебной программе, построенной по принципу нарастания сложности; в) метод Дельфи, в рамках которого

эксперты анонимно оценивает сложность ЭУМ, а затем обсуждают расхождения и вырабатывают общее решение.

**3. Эмпирические методы,** предусматривающие регистрацию реакции учащихся на задания теста (они требуют сбора данных, временных затрат): а) учёт доли правильных ответов: чем она ниже – тем сложнее задание; б) измерение времени выполнения задания; в) анализ совершённых ошибок; г) определение когнитивной нагрузки «в реальном времени» с помощью субъективных шкал (учащийся оценивает усилия по шкале от 1 до 10); д) применение физиологических методов, отслеживающих движения глаз, активность мозга и т.д.

**4. Гибридные подходы,** предполагающие применение информационных технологий для: а) вычисления вероятности правильного решения в зависимости от сложности задания и способностей учащихся; б) анализа больших данных, касающихся истории взаимодействия учащихся с рассматриваемыми ЭУМ; в) картирование знаний, выявление вопросов, которые вызывают затруднения у конкретного обучаемого.

**2. Результаты оценки сложности уравнений.** Семантическая сложность уравнений зависит от числа переменных, типа математических операций (алгебраические преобразования, интегральное и дифференциальное исчисление, векторный анализ), уровня абстракции (скаляры, вектора, матрицы), сложности физических терминов. Для оценки сложности формул нами применялись объективные методы, предусматривающие выявление научных терминов и учёт их семантической сложности. Семантическую сложность  $SC$  (от semantic complexity) математического или иного высказывания будем считать равной количеству семантической информации в нём, которое определяется следующим образом. За семантическую единицу информации (1 СЕД) примем количество информации, содержащейся в обычных словах, хорошо известных пятикласснику: вода, воздух, человек, Солнце и т.д. Тогда семантическая сложность  $SC$  абстрактных терминов будет равна сумме семантических сложностей слов, входящих в его определение или объяснение. Нижний уровень  $SC_{\min}$  может быть найден как сумма сложностей всех научных терминов и обычных слов, взятых по одному разу. Верхний уровень  $SC_{\max}$  равен аналогичной сумме с учетом количества использований слов и терминов.

Предлагаемая методика определения количества семантической информации в физических уравнениях и формулах состоит в следующем: 1) выбирают не менее 10 формул (простых и сложных); 2) заменяют каждую формулу словесным описанием, кодируя её вербальным кодом (для этого можно использовать нейросеть, результат редактируют); 3) объединяют все описания в один текстовый файл, загружают в нейросеть и дают ей задание: перечислить все научные термины в анализируемой совокупности уравнений; 4) загружают в нейросеть получившийся список научных терминов и ставят перед ней задачу разделить их на 7-8 категорий сложности, используя примеры подобной классификации (эталонные термины, ранее отклассифицированные по сложности); 5) по одному разу суммируя сложности научных терминов, используемых в тех или иных уравнениях, определяют нижнюю границу сложности  $SC_{\min}$ ; 6) суммируя сложности научных терминов, входящих в уравнения, с учётом количества употреблений, находят верхнюю границу сложности  $SC_{\max}$ ; 7) вычисляют среднее арифметическое:  $SC = (SC_{\min} + SC_{\max})/2$ . Получающиеся результаты имеют погрешность около 10%.

В результате анализа вузовских учебников физики (например, [9]) нами были выбраны 14 уравнений. Они представлены ниже вместе со словесным описанием (вербальным кодом), который выделен курсивом:

1. Основной закон динамики: *Ускорение тела равно векторной сумме действующих сил делить на массу тела:*

$$\vec{a} = \vec{F} / m.$$

2. Закон всемирного тяготения: *Сила гравитационного притяжения между двумя частицами равна произведению гравитационной постоянной на массу первой частицы и массу второй частицы, делённому на квадрат расстояния между ними:*

$$F = GmM / r^2.$$

3. Уравнение распределения молекул по скоростям: *Функция распределения молекул по скоростям равна произведению числа на число  $n$ , умножить на массу молекулы делить на произведение числа, числа  $n$ , постоянной Больцмана и абсолютной температуры в степени число, умножить на скорость молекулы квадрат, умножить на экспоненту в степени минус масса молекулы умножить на квадрат скорости молекулы, делить на произведение числа, постоянной Больцмана и абсолютной температуры:*

$$f(v) = 4\pi \left( \frac{m_0}{2\pi kT} \right)^{3/2} v^2 \exp\left( -\frac{m_0 v^2}{2kT} \right).$$

4. Уравнение теплопроводности: *Для каждой точки двумерной среды в каждый момент времени произведение удельной теплоёмкости, плотности материала и частной производной температуры по времени равно сумме частной производной по  $x$  от коэффициента теплопроводности, умноженного на частную производную температуры по  $x$ , частной производной по  $y$  от коэффициента теплопроводности  $k$ , умноженного на частную производную температуры по  $y$  и объёмной плотности мощности источника тепла:*

$$c\rho \frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left( k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( k \frac{\partial T}{\partial y} \right) + q(x, y).$$

5. Закон Ома для полной цепи: *Сила тока равна ЭДС источника разделить на сумму внутреннего сопротивления источника и сопротивления нагрузки:*

$$I = E / (R + r).$$

6. Уравнение Пуассона: *Для каждой точки пространства сумма второй частной производной электрического потенциала по координате  $x$  и второй частной производной электрического потенциала по координате  $y$  равна минус объёмной плотности электрического заряда делить на произведение диэлектрической проницаемости среды и электрической постоянной:*

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} = -\frac{\rho(x, y)}{\epsilon \epsilon_0}$$

7. Связь напряженности электрического поля с потенциалом: *Вектор напряженности электрического поля равен минус произведение частной производной электрического потенциала по координате  $x$  и орта  $\vec{i}$  и минус произведение частной производной электрического потенциала по координате  $y$  и орта  $\vec{j}$ :*

$$\vec{E} = -\frac{\partial \varphi}{\partial x} \vec{i} - \frac{\partial \varphi}{\partial y} \vec{j}.$$

8. Первое уравнение Максвелла (закон Гаусса для электрического поля): *Интеграл по замкнутой поверхности  $S$  от скалярного произведения вектора напряженности электрического поля и вектора  $dS$  равен суммарному заряду в объеме, ограниченном этой поверхностью. Вектор  $dS$  – вектор, направленный перпендикулярно бесконечно малой площадке  $dS$  наружу поверхности  $S$ , модуль которого равен элементарной площади площадки  $dS$ :*

$$\oint_V \vec{E} d\vec{S} = Q.$$

9. Второе уравнение Максвелла (закон Гаусса для магнитного поля): *Интеграл по замкнутой поверхности  $S$  от скалярного произведения вектора напряженности магнитного поля и вектора  $dS$  равен нулю. Вектор  $dS$  – вектор, направленный перпендикулярно бесконечно малой площадке  $dS$  наружу поверхности  $S$ , модуль которого равен элементарной площади площадки  $dS$ :*

$$\oint_V \vec{H} d\vec{S} = 0.$$

10. Третье уравнение Максвелла (закон Фарадея): *Интеграл по замкнутому контуру  $L$  от скалярного произведения вектора напряженности электрического поля и вектора  $d\vec{l}$  равен минус произведение магнитной проницаемости среды, магнитной постоянной и интеграла по поверхности  $S$ , ограниченной контуром  $L$ , от скалярного произведения частной производной вектора напряженности магнитного поля по времени и вектора  $dS$ . Вектор  $dS$  – вектор, направленный перпендикулярно бесконечно малой площадке  $dS$  наружу поверхности  $S$ , модуль которого равен элементарной площади площадки  $dS$ . Вектор  $d\vec{l}$  – вектор бесконечно малой длины, направленный по касательной к контуру  $L$ :*

$$\oint_L \vec{E} d\vec{l} = -\mu\mu_0 \int_S \frac{\partial \vec{H}}{\partial t} d\vec{S}.$$

11. Четвертое уравнение Максвелла (теорема о циркуляции магнитного поля): *Интеграл по замкнутому контуру  $L$  от скалярного произведения вектора напряженности магнитного поля и вектора  $d\vec{l}$  равен интегралу по поверхности  $S$ , ограниченной контуром  $L$ , от суммы вектора плотности тока и произведения диэлектрической проницаемости среды, электрической постоянной и частной производной вектора напряженности электрического поля по времени, скалярно умноженной на вектор  $dS$ . Вектор  $dS$  – вектор, направленный перпендикулярно бесконечно малой площадке  $dS$  наружу поверхности  $S$ , модуль которого равен элементарной площади площадки  $dS$ . Вектор  $d\vec{l}$  – вектор бесконечно малой длины, направленный по касательной к контуру  $L$ :*

$$\oint_L \vec{H} d\vec{l} = \int_S \left( \vec{j} + \epsilon\epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \right) d\vec{S}.$$

12. Нестационарное уравнение Шрёдингера (краткая запись): *Произведение мнимой единицы, постоянной Планка и частной производной от волновой функции микрочастицы по времени равно оператору Гамильтона, применённому к волновой функции. Оператор Гамильтона равен сумме оператора кинетической энергии частицы и оператора потенциальной энергии:*

$$i\hbar \frac{\partial \Psi}{\partial t} = \hat{H}\Psi. \quad \hat{H} = \hat{T} + \hat{U}.$$

13. Нестационарное уравнение Шрёдингера в декартовых координатах: *Произведение мнимой единицы, постоянной Планка и частной производной от волновой функции микрочастицы по времени равно минус постоянная Планка квадрат делить на произведение числа и массы частицы умножить на в скобках сумму второй частной производной от волновой функции по координате  $x$ , второй частной производной от волновой функции по координате  $y$  и второй частной производной от волновой функции по координате  $z$  плюс произведение потенциальной энергии в этой точке пространства на волновую функцию:*

$$i\hbar \frac{\partial \Psi}{\partial t} = -\frac{\hbar^2}{2m} \left( \frac{\partial^2 \Psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Psi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \Psi}{\partial z^2} \right) + U(x, y, z, t) \Psi.$$

14. Стационарное уравнение Шрёдингера в декартовых координатах: Минус постоянная Планка квадрат делить на произведение числа и массы частицы, умножить на в скобках сумму второй частной производной от волновой функции по координате  $x$ , второй частной производной от волновой функции по координате  $y$  и второй частной производной от волновой функции по координате  $z$ , плюс произведение потенциальной энергии в этой точке пространства на волновую функцию равно произведению энергии частицы на волновую функцию:

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \left( \frac{\partial^2 \Psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Psi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \Psi}{\partial z^2} \right) + U(x, y, z) \Psi = E \Psi.$$

Описания всех формул были объединены в один файл и проанализированы с помощью нейросети Qwen. Запрос выглядел так: «Дан текст: «Ускорение тела равно векторной сумме действующих сил делить на массу тела ... (словесный код всех формул)». Перечисли все научные термины, которые в нём присутствуют». В результате был получен список из 223 используемых терминов.

Как известно, все понятия, обозначающие изучаемые в школе и вузе объекты, явления природы, а также физические величины, могут быть уверенно разделены на 7-8 категорий  $U=1, 2, \dots, 8$  так, что сложность терминов из  $U$ -ой категории примерно в  $2^{U-1}$  раза больше сложности слов из 1-ой категории [5]. Это означает, что для объяснения понятия с  $U=6$  (светимость тела) требуется произнести 30 – 35 слов с  $U=1$  (вода). Каждому значению  $U$  соответствует семантическая сложность, вычисляемая по формуле:

$S_{sem} = 2^{U-1}$  (СЕД). Получается приблизительная шкала:  $S_{sem} = 1 - 2 - 4 - 8 - 16 - 32 - 64 - 128$  (СЕД).

Для оценки сложности научных понятий нами применялась нейросеть Qwen. Запрос к нейросети не должен превышать 5000 символов и может выглядеть так: «Дан список терминов: "кинетическая энергия, потенциальная энергия, волновая функция, микрочастица, мнимая единица, ...". Классифицируй их по дидактической сложности, разделив на 8 категорий. Учти примерную классификацию:

- 1) (самые простые, входят в тезаурус дошкольника) гриб, животное, карандаш, книга, молния, море, тарелка, облако, огонь, птица, Солнце;
- 2) вещество, время, город, компьютер, Луна, телевизор, холодильник;
- 3) испарение, кислота, кристалл, линза, микрофон, млекопитающее, пищеварение, ракета, сердце, телескоп;
- 4) Вселенная, конденсатор, магнитное поле, молекула, процессор, радиоволны, рецепторы, УФ-лучи, электрическое поле;
- 5) альфа-частица, атом, бактерия, вирус, галактика, индукция, коацерваты, лейкоциты, нейтрон, пропан, протон, экосистема, ядро атома;
- 6) (изучаются в 11 классе и университете) адрон, античастица, бензольное кольцо, геном, глюон, гравитон, ДНК, изотоп, кварк, масс-спектрограф, орбиталь, парсек, сингулярность, спин, ядерная реакция;
- 7) (изучаются в университете) эффект Мессбауэра, ядерный магнитный резонанс, эффект Зеемана;
- 8) (самые сложные, изучаются в университете) тензор, функционал, вариация, дивергенция, ротор функции, градиент».

Результаты оценки нейросетью сложности выявленных терминов были скопированы в Excel, подкорректированы и упорядочены по возрастанию SC. Получился список из 223 понятий: SC=2: время, объём, температура, ...; SC=4: энергия, плотность материала,

сила, ускорение ...;  $SC=8$ : экспонента, сила тока, потенциальная энергия, удельная теплоёмкость, масса молекулы, ...;  $SC=16$ : вектор напряжённости электрического поля, вектор напряжённости магнитного поля, плотность тока, потенциал (электрический), ЭДС (электродвижущая сила), объёмная плотность электрического заряда, ...;  $SC=32$ : мнимая единица, вектор  $dS$ , вектор  $dl$ , скалярная функция, ...;  $SC=64$ : интеграл, объёмная плотность мощности источника тепла, функция распределения молекул по скоростям, ...;  $SC=128$ : волновая функция, частная производная, оператор Гамильтона, градиент ... На основе этого списка была осуществлена приблизительная оценка количества семантической информации, содержащейся в выбранных уравнениях; она и равна их семантической сложности (табл. 1).

Таблица 1

### Результаты оценки сложности физических уравнений

	Название уравнения	$SC_{min}$	$SC_{max}$	$SC_{cp}$
1	Основной закон динамики	26	28	27
2	Закон всемирного тяготения	30	43	36,5
3	Распределение молекул по скоростям	113	168	140,5
4	Уравнение теплопроводности	248	792	520
5	Закон Ома для полной цепи	49	61	55
6	Уравнение Пуассона	207	357	282
7	Связь напряжённости с потенциалом ЭП	182	330	256
8	Закон Гаусса для электрического поля	154	190	172
9	Закон Гаусса для магнитного поля	150	186	168
10	Закон Фарадея	324	466	395
11	Теорема о циркуляции магнитного поля	354	500	427
12	Нестационарное уравнение Шрёдингера	543	805	674
13	Нестационарное УШ в декартовых координатах	366	1288	827
14	Стационарное УШ в декартовых координатах	306	1084	695

Рассмотренный выше подход принципиально отличается от методов оценки сложности, рассмотренных учёными-лингвистами в [3; 8; 11; 12]. Например, группа специалистов под руководством D.S. McNamara, исследуя методы измерения лингвистических характеристик текстов, выявили пять индикаторов, характеризующих сложность понимания текста: повествовательность, синтаксическая простота, конкретность слов, лексическая связность и семантическая связность [11]. Это позволило разработать автоматизированный инструмент Coh-Metrix, размещённый в Интернете. Немалый интерес представляют собой работы М.И. Солнышкиной, в которых оценивается лингвистическая сложность учебных текстов путём учёта их читабельности, абстрактности, нарративности, связности и лексического многообразия [12]. Под её руководством создан программный комплекс RuLingva, позволяющий определить сложность текста и степень его связности. Следует отметить, что рассмотренные методы предназначены для оценки сравнительно простых текстов, не содержащих таких сложных терминов, как производная, интеграл, интенсивность волны, спектральная светимость и т.д. Если применять шкалу абстрактности от 1 до 3, то оценки абстрактности понятий «скорость» и «интеграл» оказываются довольно близкими. Согласно используемому нами подходу, дидактическая сложность этих понятий, определяемая путём подсчёта слов в определениях, отличается примерно в 10 раз. Поэтому при анализе сложных текстов следует использовать предлагаемый метод, предусматривающий выявление в них научных терминов и учёт количества содержащейся в них семантической информации.

**Заключение.** Оценка сложности физических уравнений — это важная проблема дидактики физики. Её решение позволит определить последовательность изучения тем, соответствующую постепенному нарастанию трудности понимания, адаптировать методику обучения под разные уровни подготовки студентов, дифференцировать учебные материалы (базовый или профильный уровень), правильно регулировать учебную нагрузку студентов, разработать диагностические и оценочные материалы, помогающие определять уровень физических знаний.

В статье представлены результаты приблизительной оценки семантической сложности 14 часто используемых физических уравнений. Предлагаемый метод основан на выявлении научных терминов и суммировании их сложностей. Показано, что наиболее высокую сложность имеют нестационарное уравнение Шрёдингера в краткой записи и в декартовых координатах, стационарное уравнение Шрёдингера в декартовых координатах и уравнение теплопроводности для неоднородной среды. Из четырёх уравнений Максвелла наиболее сложным является уравнение, выражающее теорему о циркуляции магнитного поля, которое примерно в 7,8 раза сложнее закона Ома для полной цепи.

### 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. – Т. 11, № 4. – 2005. – С. 93-101.
2. Балл Г.А. Теория учебных задач: психолого-педагогический аспект [Текст]. – М.: Педагогика, 1990. – 184 с.
3. Кисельников А.С. К проблеме характеристик текста: читабельность, понятность, сложность, трудность [Текст] // Филологические науки. Вопросы теории и практики. Тамбов: Грамота, 2015. – № 11(53): в 3-х ч. Ч. II. – С. 79-84.
4. Майер Р.В. Дидактическая сложность учебных текстов и ее оценка: монография [Текст]. – Глазов: ГГПИ, 2020. – 149 с.
5. Майер Р.В. Сложность учебных понятий и текстов: монография [Текст]. – Глазов: ГИПУ, 2024. – 132 с.
6. Наймушина О.Э. Многофакторная оценка сложности учебных заданий [Текст] / О.Э. Наймушина, Б.Е. Стариченко // Образование и наука. – 2010. № 2 (70). – С. 58-70.
7. 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.
8. 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(41), 6.
9. Сивухин Д.В. Общий курс физики: Учеб пособие для вузов. В 5 т. [Текст] – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 544 с.
10. Manning C.D. at all. An Introduction to Information Retrieval / C.D. Manning, P. Raghavan, H. Schütze. Cambridge University Press. 2008.
11. McNamara D.S. at all. Automated Evaluation of Text and Discourse with Coh-Metrix // D.S. McNamara, A.C. Graesser, P. McCarthy, Z. Cai. Cambridge: Cambridge University Press. 2014.
12. Solovyev V. at all. Text Complexity and Abstractness: Tools for the Russian Language // V. Solovyev, M. Solnyshkina, M. Andreeva, A. Danilov, R. Zamaletdinov / International Conference "Internet and Modern Society" (IMS-2020). CEUR Proceedings. – pp. 75-87.