

УДК 37.02

Оценка дидактической сложности учебных текстов по биомеханике

Майер Роберт Валерьевич, доктор педагогических наук, доцент
Глазовский инженерно-педагогический университет, г. Глазов

Аннотация.

Цель исследования – разработка метода оценки дидактической сложности учебных текстов по биомеханике, основанного на учете их структурных и семантических особенностей, и его апробации на практике.

Методы исследования: анализ научной и методической литературы, создание компьютерной программы на ABCPascal, контент-анализ учебных текстов с помощью компьютерных программ, использование онлайн-ресурсов для измерения параметров текстов.

Результаты исследования. Проанализирована проблема оценки дидактической сложности текстов по биомеханике, которая может быть найдена как произведение их структурной и семантической сложности. Предложен метод, заключающийся в вербальном кодировании формул и рисунков с последующим применением компьютерной программы, выявляющей научные термины и суммирующей их сложности. Произведена оценка дидактической сложности, объема и коэффициента свернутости информации у пяти текстовых фрагментов, содержащих формулы и рисунки.

Выводы. Разработанный метод имеет научную новизну и практическую значимость: результаты его использования позволяют сравнить различные элементы учебного материала по дидактической сложности, что важно для создания учебников и учебно-методических пособий по биомеханике, для разработки новых тестов и оценивания ответов студентов.

Ключевые слова: дидактика, биомеханика, понятие, семантика, учебные тексты.

The didactic complexity assessment of educational texts on biomechanics

Mayer Robert Valerievich, doctor of pedagogical sciences, associate professor
Glazovsky Engineering and Pedagogical University, Glazov

Abstract.

The purpose of the study is to develop a method for assessing the didactic complexity of educational texts on biomechanics, based on the consideration of their structural and semantic features, and to test it in practice.

Research methods include the analysis of scientific and methodological literature, the creation of a computer program in ABCPascal, content analysis of educational texts using computer programs, and the use of online resources to measure text parameters.

Research results. The problem of assessing the didactic complexity of texts on biomechanics has been analyzed, which can be found as a product of their structural and semantic complexities. A method has been proposed that involves verbal coding of formulas and illustrations, followed by the application of a computer program that identifies scientific terms and summarizes their complexities. An assessment of didactic complexity, volume, and information compression coefficient has been conducted on five text fragments containing formulas and illustrations.

Conclusions. The developed method has scientific novelty and practical significance: the results of its application allow for the comparison of various elements of educational material based on didactic complexity, which is important for the creation of textbooks and educational-methodological aids in biomechanics, for the development of new tests, and for the assessment of student responses.

Keywords: didactics, biomechanics, concept, semantics, educational texts.

ВВЕДЕНИЕ. Подготовка учителей физкультуры включает в себя изучение основ биомеханики, формирование умения использовать полученные знания в работе с учащимися [1]. Развитие методики преподавания биомеханики, создание новых учебников и учебных пособий требуют совершенствования объективных методов определения информативности и дидактической сложности (ДС) различных элементов учебного материала (ЭУМ) [2].

Оценка сложности учебных текстов по биомеханике относится к категории мягких плохоформализуемых проблем, которые могут быть решены различными способами. Экспериментальное определение трудности усвоения текста студентом является непростой задачей, так как УТ и студент – многомерные объекты, и на их взаимодействие влияют около сотни различных факторов. Среди них: 1) средняя длина слов и предложений, доля абстрактных понятий, наличие скрытой информации и т. д.; 2) общий интеллектуальный уровень студента, его уровень знаний по той или иной теме, интересы, мотивация, владение математическим аппаратом; 3) время и периодичность работы с текстом, ведение записей, обращение к дополнительным источникам информации и т. д.

Оценка степени важности перечисленных факторов сопряжено с немалыми трудностями. Для получения статистически значимых результатов эксперимента, количество испытуемых и используемых текстов должно быть велико. Поэтому необходимо разработать более простой и менее затратный метод оценки сложности учебных текстов по биомеханике, основывающейся на его структурных и семантических особенностях, который не требует привлечения большого количества испытуемых или экспертов. Актуальность рассматриваемой проблемы в первую очередь обусловлена тем, что ДС является важной характеристикой ЭУМ, от которой зависит последовательность изучения материала и результат обучения [3].

Задачи исследования: 1) разработать метод оценки дидактической сложности учебных текстов по биомеханике, основанный на учете их структурных и семантических особенностей; 2) апробировать этот метод на практике, тем самым подтвердить его практическую значимость.

МЕТОДИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ. Методологической основой настоящего исследования являются работы Л.Я. Аверьянова [4], Н.К. Криони, А.Д. Никина и А.В. Филипповой [5], Р.В. Майера [6], Ю.Н. Марчука [7], Л.О. Чернейко [8], В. Davis и D. Sumara [9], M. D. White и E.E. Marsh [10]. Их анализ позволяет утверждать, что когнитивная сложность учебного текста характеризует трудность его понимания, которое сильно зависит от понимания студентами используемых в нем научных терминов и обычных слов.

Дидактическая сложность учебного текста (УТ) определяется: 1) структурной сложностью, зависящей от средних длин слов и предложений, наличия рисунков, таблиц и т.д.; 2) терминологической сложностью текста, которая зависит от разнообразия и абстрактности используемых научных понятий и показывающей сложность качественных описаний и объяснений; 3) математической сложностью, зависящей от сложности используемых формул, абстракций и разнообразия математических моделей. Для удобства использования компьютерных программ при оценке сложности УТ следует: 1) его текстовую, графическую и формульную составляющие закодировать вербальным (словесным) кодом; 2) количество информации измерять не в битах, а семантических единицах (СЕД); 3) применять эвристические методы и рассуждения, основанные на нечеткой логике; 4) не ожидать высокой точности от получающихся результатов.

ДС получившегося текста может быть найдена, как произведение структурной S_{STR} и семантической S_{SEM} сложностей: $ДС = S_{STR} * S_{SEM}$. Структурная сложность

УТ рассчитывается по формуле [2]: $S_{STR}=D_{СЛ}*\ln(1+ D_{ПР})$, где $D_{СЛ}$ – средняя длина слов в слогах (число гласных), $D_{ПР}$ – среднее число слов в предложениях. Эти параметры могут быть определены в режиме онлайн на сайте <https://sd1.su/online-service/text-index.php>. Семантическая сложность текста складывается из смысловой сложности текстовой составляющей, сложности рисунков и сложности формул.

Метод оценки семантической сложности текста состоит в следующем:

1) из текста удаляют повторы и стоп-слова, а если текст напряженный, добавляют поясняющие предложения, снимающие недопонимание читателя;

2) с помощью Word определяют объем текста V (количество значимых слов);

3) с помощью программы Text_analyzer.exe (скачана из Интернета) создают текстовый файл slovar.txt, содержащий список из используемых в УТ научных терминов;

4) методами, рассмотренными в монографии Р.В. Майера [6], оценивают сложности терминов и их также записывают в файл slovar.txt;

5) с помощью компьютерной программы, обращающейся к файлу slovar.txt, анализируют файл с текстом vhod.txt, подсчитывают количество упоминаний каждого термина и их суммарную сложность;

6) вычисляют коэффициент свернутости информации $KСИ = S_{SEM} / V$, характеризующий информационную плотность текста;

7) чтобы учесть информативность формул или рисунков, заменяют их максимально кратким описанием и оценивают его сложность тем же методом;

8) определяют $D_{СЛ}$, $D_{ПР}$ и вычисляют структурную сложность S_{STR} УТ и его дидактическую сложность ДС [6].

За семантическую единицу (СЕД) примем сложность простых понятий, хорошо известных первокласснику: вода, воздух, рука, кошка, автомобиль, которые не нуждаются в объяснении [2, 3]. Для нахождения сложности абстрактного понятия Π следует:

1) записать его определение O , получив предложение, состоящее из менее сложных понятий Π_1, Π_2, Π_3 ;

2) заменить Π_1, Π_2, Π_3 их определениями O_1, O_2, O_3 ;

3) повторять операцию 2 пока все абстрактные термины не будут заменены простыми понятиями;

4) сосчитать общее количество слов, учитывая, что некоторые термины используются более 1 раза.

Будем считать, что если одно и то же понятие Π сложностью S используется многократно, то каждое следующее использование Π увеличивает сложность текста на $dS = 0,7^{n-1}S$ (n – число употреблений). Так, если понятие Π встречается 5 раз, то его вклад в сложность текста составляет $S+0,7S+0,7^2S+0,7^3S+0,7^4S = 2,77S$. Так как даже часто встречающееся понятие вносит определенный вклад в общую сложность текста, величина dS не должна быть меньше 2. Этот метод подробно описан в монографии Майера Р.В. [6].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ. Разработанная нами компьютерная программа написана в среде ABCPascal. Она определяет сложность текста в файле vnod.txt по рассмотренному выше алгоритму [3]. Она содержит:

1) два массива $w[i]$ и $o[i]$, в которых записаны названия сложных понятий и их определения (i -ое понятие определяется с помощью предыдущих 1, 2, ..., ($i-1$)-ых понятий);

2) блок считывания из словаря slovar.txt слов с невысокой сложностью;

3) блок замены сложных терминов в определении O_i соответствующими определениями O_j ($j = 1, 2, \dots, i$);

4) блок подсчета слов в получившемся «тексте» и определения сложности понятий, записанных в массиве $w[i]$;

5) блок замены сложных терминов в каждой строчке файла vnod.txt соответствующими определениями $o[i]$ до тех пор, пока не останутся только простые слова;

6) блок подсчета слов в получившемся «мешке слов», в котором учитывается количество использований терминов из словаря и их сложность.

Файл slovar.txt содержит слова без окончаний с указанием сложности в следующем формате: «биомеханик 9, свойств 2, гониометрия 4, тензометрия 5, акселерометр 5, электромиограф 6, кибернетическ 3, деформац 3, сухожил 3 и т.д.»

Допустим, $w[11] =$ «кинетическая энергия» и $o[11] =$ «энергия движущегося тела». Программа заменяет термин «энергия» в $o[11]$ его определением, в котором присутствует слово «работа», затем заменяет это слово определением «произведение силы на перемещение и косинус угла между ними», затем заменяет понятия «сила» и «вектор» их определениями. В результате получается «мешок слов»: «*величина изменение которой равно произведение величина характеризующаяся длиной направлением характеризующий интенсивность взаимодействия тел перемещение косинус угла между ними совершаемая системой движущегося тела*». Программа суммирует сложности всех слов с учетом количества употреблений и выдает S_{SEM} с погрешностью 10 %. После округления получаются результаты: вектор =6, скорость =14, ускорение =25, сила =15, плечо_силы =20, момент_силы =35, работа =30, энергия =40, мощность =35, интенсивность =53, потенц_энерг =43, кинетич_энерг =43 и т.д.

Пусть файл vnod.txt содержит текст: «Рассмотрим камень, брошенный под углом к горизонту с некоторой скоростью». На выходе программы получается «мешок слов»: «*рассмотрим камень брошенный углом горизонту некоторой отношение величина характеризующаяся длиной направлением перемещения промежутку времени*». Программа совершает несколько проходов, заменяя термины «скорость», «ускорение», «вектор» их определениями, и находит S_{SEM} . В качестве примера оценен ДС нескольких фрагментов УТ по биомеханике.

Фрагмент 1: «Мышца – основная анатомическая единица мышечной системы человека; она состоит из вытянутых волокон, способных к сокращению, то есть к укорочению своей длины. Мышцы сокращаются под влиянием импульсов, поступающих от центральной нервной системы по мотонейронам. Результатом являются движения в суставных сочленениях и всего скелета в целом. Синергия – это

согласованное действие нескольких факторов, результат которого превосходит простую сумму действий каждого фактора по отдельности. Мышечные синергии – это сотрудничество нескольких мышц, участвующих в реализации движения. Например, одновременное сокращение нескольких жевательных мышц, при котором челюсти сжимаются.» Предлагаемый метод дает следующие результаты: семантическая сложность $S_{SEM} = 182$, объем текста $V = 65$, коэффициент сложности КСИ = 2,8, средняя длина предложений $D_{ПР} = 11,85$, средняя длина слов $D_{СЛ} = 2,89$, структурная сложность $S_{STR} = 7,4$, дидактическая сложность $ДС = 1347$.

Фрагмент 2: «Равноускоренное прямолинейное движение – это движение, при котором точка движется по прямой, а вектор скорости за любые равные промежутки времени изменяется на равные величины. Когда скорость увеличивается (уменьшается) вектора скорости и ускорения сонаправлены (противоположно направлены) друг другу. Используются формулы:

$$\begin{aligned}\vec{r}(t) &= \vec{r}_0 + \vec{v}_0 t + \vec{a} t^2 / 2, & \vec{v}(t) &= \vec{v}_0 + \vec{a} t, & \vec{a} &= const, \\ x(t) &= x_0 + v_{0x} t + a_x t^2 / 2, & v_x(t) &= v_{0x} + a_x t, \\ S_x &= x_2 - x_1 = (v_{2x}^2 - v_{1x}^2) / (2a_x).\end{aligned}$$

Формулы следует закодировать вербальным кодом; например, так: «вектор скорости равно вектор начальной скорости плюс вектор ускорения умножить на время». Получившиеся предложения следует добавить в текстовый файл. Результаты оценки: семантическая сложность $S_{SEM} = 980$, объем текста $V = 117$, коэффициент свернутости информации КСИ = 8,4, средняя длина предложений $D_{ПР} = 14,88$, средняя длина слов $D_{СЛ} = 2,76$, структурная сложность $S_{STR} = 7,2$, дидактическая сложность текста $ДС = 7056$.

Фрагмент 3: «Метатель молота бросает молот под углом к горизонту с некоторой скоростью. На молот действует сила тяжести и сила сопротивления воздуха. Когда молот поднимается, сила тяжести совершает отрицательную работу, и скорость уменьшается, кинетическая энергия уменьшается, потенциальная энергия увеличивается. При опускании молота сила тяжести совершает положительную работу, скорость увеличивается, кинетическая энергия растет, потенциальная энергия уменьшается. Сила сопротивления направлена против скорости и совершает отрицательную работу, механическая энергия уменьшается». Получается так: семантическая сложность $S_{SEM} = 732$, объем текста $V = 58$, коэффициент свернутости информации КСИ=12,6, средняя длина предложений $D_{ПР} = 16,25$, средняя длина слов $D_{СЛ} = 3,44$, структурная сложность $S_{STR} = 9,8$, дидактическая сложность $ДС = 7174$.

Фрагмент 4 включает в себя: 1) текст «Биомеханика — это раздел биофизики, изучающий механические свойства тканей, органов и систем живого организма в целом, а также механические явления, сопровождающие процессы жизнедеятельности»; 2) рисунок 1, на котором указаны цели биомеханики, изучаемые объекты и процессы, ее разделы и используемые методы. Чтобы оценить $ДС$ этого фрагмента, необходимо заменить рисунок 1 текстом, содержащим все указанные на нем термины, затем оценить семантическую и структурную сложности фрагмента.

Предлагаемый метод дает следующие результаты: семантическая сложность текста $S_{SEM} = 371$, его объем $V = 110$, коэффициент свернутости КСИ = 3,4,

средняя длина предложений $D_{\text{ПР}} = 14,25$, средняя длина слов $D_{\text{СЛ}} = 3,8$, структурная сложность $S_{\text{STR}} = 10,4$, дидактическая сложность $ДС = 3858$.



Рисунок 1 – Цели, содержание, разделы и методы биомеханики

Фрагмент 5 включает в себя рисунок 2 и пояснение: «На рис. 2 показан человек, качающий пресс, и действующие на него силы тяжести m_1g , m_2g и m_3g , силы реакции R_1 и R_2 , действующие со стороны опоры и трубы (внешние силы). Также изображены силы F_1 и F_2 , действующие со стороны мышц пресса (внутренние силы), вызывающие подъем верхней части туловища».

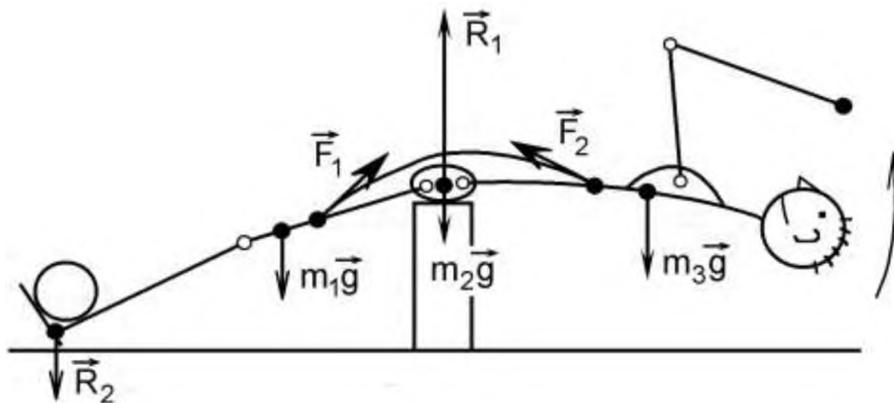


Рисунок 2 – Силы, действующие на спортсмена, качающего пресс

К этому тексту добавим описание рисунка: «Человек лежит на опоре, зацепившись ногами за трубу, и качает пресс. На него действуют силы тяжести, приложенные к тазу, верхней и нижней частям тела и направленные вниз, направленная вверх сила реакции опоры, направленная вниз сила реакции трубы, а также силы, действующие со стороны брюшного пресса». Применение рассмотренного выше метода даёт следующие результаты: семантическая сложность $S_{\text{SEM}} = 422$, объем $V = 79$, коэффициент свернутости информации $КСИ = 5,3$, средняя длина предложений $D_{\text{ПР}} = 30,66$, средняя длина слов $D_{\text{СЛ}} = 2,60$, структурная сложность $S_{\text{STR}} = 9,0$, дидактическая сложность текста $ДС = 3798$ (погрешность 10 %).

ВЫВОДЫ. В статье предложен новый метод оценки дидактической сложности различных фрагментов учебных текстов по биомеханике, содержащих фор-

мулы и рисунки. Он предусматривает использование компьютерной программы, которая анализирует текст, выявляет термины и приближённо находит его суммарную семантическую сложность. Зная среднее число слов в предложениях и среднее количество слогов в словах, вычисляют структурную сложность текста. Это позволяет определить его дидактическую сложность и коэффициент свернутости информации, характеризующий трудность понимания текста. Разработанный метод имеет научную новизну и практическую значимость: результаты его использования позволяют сравнить различные элементы учебного материала по дидактической сложности. Это важно для создания учебников и учебно-методических пособий по биомеханике, для разработки новых тестов и оценивания ответов студентов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Курьсь В. Н. Биомеханика. Познание телесно-двигательного упражнения. Москва : Советский спорт, 2013. 368 с. ISBN 978-5-9718-0629-5. EDN: VRTBSD.
2. Майер Р. В. Дидактическая сложность учебных текстов и ее оценка : монография. Глазов : ГГПИ, 2020. 149 с. ISBN 978-5-93008-305-7. EDN: WEERPS.
3. Майер Р. В. Об оценке семантической сложности физических понятий // Педагогическое образование. 2022. Т. 3, № 4. С. 241–247. EDN: LHCOPE.
4. Аверьянов Л. Я. Контент-анализ : монография. Москва : РГИУ, 2007. 286 с.
5. Криони Н. К., Никин А. Д., Филиппова А. В. Автоматизированная система анализа сложности учебных текстов // Вестник УГАТУ. Уфа, 2008. Т. 11, № 1 (28). С. 101–107. EDN: JXECAB.
6. Майер Р. В. Сложность учебных понятий и текстов : монография. Глазов : ГИПУ, 2024. 132 с. ISBN 978-5-93008-418-4. EDN: XWDТОК.
7. Марчук Ю. Н. Компьютерная лингвистика. Москва : АСТ : Восток-Запад, 2007. 317 с. EDN: VQNRPR.
8. Чернейко Л. О. Лингвофилософский анализ абстрактного имени : монография. 2-е изд. Москва : ЛИБРОКОМ, 2010. 272 с.
9. Davis B., Sumara D. Complexity and Education: Inquiries Into Learning, Teaching, and Research. Mahwah, New Jersey, London, 2006. 201 p.
10. White M. D., Marsh E. E. Content analysis: A flexible methodology. DOI: 10.1353/lib.2006.0053 // Library trends. 2006. Vol. 55. № 1. pp. 22–45.

REFERENCES

1. Kurys' V. N. (2013), "Biomechanics. Cognition of bodily and motor exercises: a textbook", M., Sovetskij sport, 368 p.
2. Mayer R. V. (2020), "Didactic complexity of educational texts and its assessment: a monograph", Glazov, GGPI, 149 p.
3. Mayer R. V. (2022), "On the assessment of the semantic complexity of physical concepts", *Pedagogicheskoe obrazovanie*, V. 3, № 4, pp. 241–247.
4. Aver'janov L. Ja. (2007), "Content analysis: monograph", M., RGIU, 286 p.
5. Krioni N. K., Nikin A. D., Filippova A. V. (2008), "Automated system for analyzing the complexity of educational texts", *Vestnik UGATU*, Ufa, V. 11, № 1 (28), pp. 101–107.
6. Mayer R. V. (2024), "The complexity of educational concepts and texts: a monograph", Glazov, GIPU, 132 p.
7. Marchuk Ju. N. (2007), "Computational linguistics", M., AST, Vostok-Zapad, 317 p.
8. Chernejko L. O. (2010), "Linguophilosophical analysis of an abstract name", monograph, M., LIBROKOM, 272 p.
9. Davis B., Sumara D. (2006), "Complexity and Education: Inquiries Into Learning, Teaching, and Research", Mahwah, New Jersey, London, 201 p.
10. White M. D., Marsh E. E. (2006), "Content analysis: A flexible methodology", *Library trends*, Vol. 55, № 1, pp. 22–45.

Информация об авторе:

Майер Р.В., профессор кафедры физики и дидактики физики; ORCID: 0000-0001-8166-9299; robert_maier@mail.ru.

Поступила в редакцию 11.12.2024.

Принята к публикации 09.01.2025.