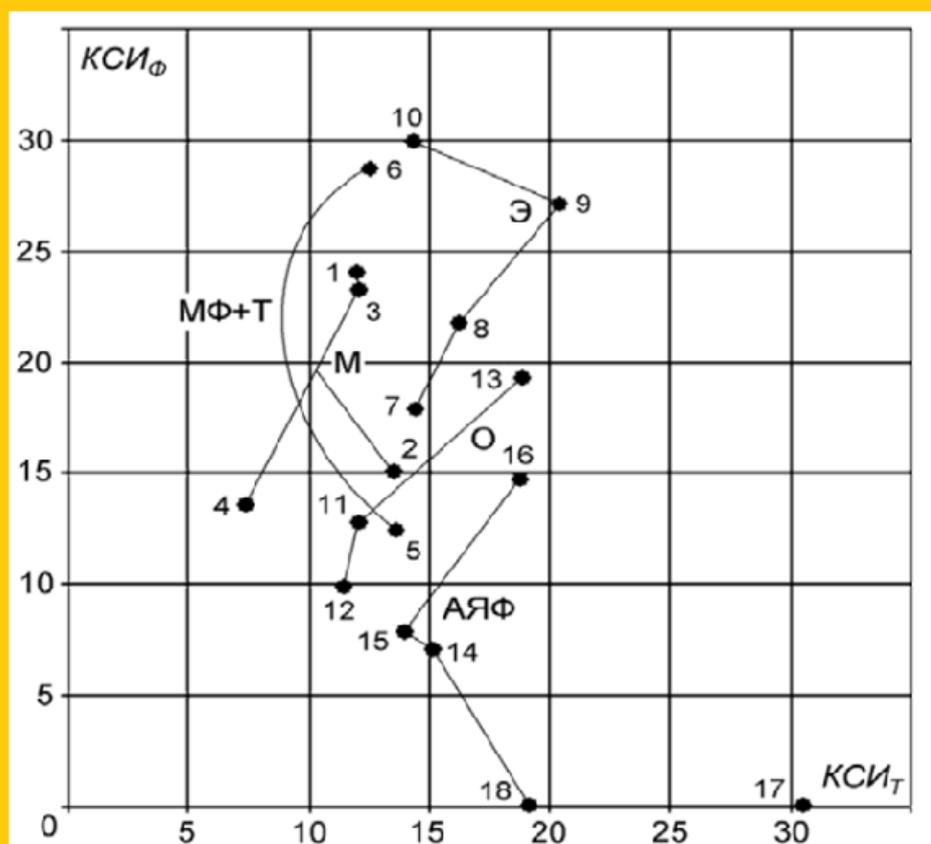


Р. В. Майер

СЛОЖНОСТЬ УЧЕБНЫХ ПОНЯТИЙ И ТЕКСТОВ



МИНИСТЕРСТВО ПРОСВЕЩЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«ГЛАЗОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ИНЖЕНЕРНО-ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени В. Г. КОРОЛЕНКО»

Р. В. Майер

**СЛОЖНОСТЬ
УЧЕБНЫХ ПОНЯТИЙ И ТЕКСТОВ**

Монография

Научное электронное издание

на компакт-диске

Глазов

ГИПУ

2024

© Майер Р. В., 2024

© ФГБОУ ВО «Глазовский государственный инженерно-педагогический университет имени В. Г. Короленко», 2024

ISBN 978-5-93008-418-4

УДК 37.02
ББК 32.81
М14

*Рекомендовано УМО по математике педвузов
и университетов Волго-Вятского региона для студентов
и преподавателей высших учебных заведений*

Рецензенты:

А. А. Мирошниченко, доктор педагогических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Глазовский государственный инженерно-педагогический университет им. В. Г. Короленко»;

Ю. А. Сауров, доктор педагогических наук, профессор, член-корреспондент РАО, профессор кафедры физики и методики обучения физике ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет»

М14 Майер, Р. В. Сложность учебных понятий и текстов : монография / Р. В. Майер. – Глазов : ГИПУ, 2024. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).

Рассмотрена актуальная проблема дидактики, заключающаяся в разработке методов оценки дидактической сложности учебных понятий и текстов. Ее решение поможет оценить сложность текстов и учебных заданий, установить закономерности распределения учебного материала и оптимизировать процесс обучения. Изучены факторы, влияющие на абстрактность и семантическую сложность учебных понятий, рассмотрены различные методы оценки сложности понятий с помощью парных сравнений, исходя из частоты употребления, с помощью шкалы Лайкерта, путем вычисления сложности, а также с помощью компьютера. Проанализированы результаты определения сложности школьных дисциплин, описаний физических опытов и теоретических моделей, распределение учебной информации в школьном и вузовском курсах физики и т. д.

Монография предназначена для ученых и работников образования, интересующихся проблемами обучения, а также студентов педвузов.

Системные требования: процессор с тактовой частотой 1,3 ГГц и выше; 256 Мб RAM; свободное место на HDD 5,7 Мб; Windows 2000/XP/7/8/10; Adobe Acrobat Reader; дисковод CD-ROM 2-скоростной и выше; мышь.

© Майер Р. В., 2024

© ФГБОУ ВО «Глазовский государственный инженерно-педагогический университет имени В. Г. Короленко», 2024

Научное электронное издание
на компакт-диске

Роберт Валерьевич Майер

**СЛОЖНОСТЬ
УЧЕБНЫХ ПОНЯТИЙ И ТЕКСТОВ**

Монография

Технический редактор, корректор М. В. Пермякова

Оригинал-макет: И. С. Леус

Подписано к использованию 15.01.2024. Объем издания 5,7 Мб.

Тираж 8 экз. Заказ № 72–2024.

ФГБОУ ВО «Глазовский государственный инженерно-
педагогический университет имени В. Г. Короленко»
427621, Россия, Удмуртская Республика, г. Глазов, ул. Первомайская, д. 25
Тел./факс: 8 (34141) 5-60-09, e-mail: izdat@mail.ru

Оглавление

ПРЕДИСЛОВИЕ

ВВЕДЕНИЕ

1. СЛОЖНОСТЬ УЧЕБНЫХ ПОНЯТИЙ

- 1.1. Абстрактность и семантическая сложность учебных понятий
- 1.2. Связь между физической сложностью объекта и семантической сложностью понятия
- 1.3. Оценка сложности понятий методом парных сравнений
- 1.4. Смысловая сложность слова и частота его употребления
- 1.5. Зависимость сложности понятия от выбора тезауруса
- 1.6. Оценка сложности понятий с помощью шкалы Лайкерта
- 1.7. Метод «вычисления» сложности понятий
- 1.8. Определение сложности математических понятий

2. СЛОЖНОСТЬ УЧЕБНЫХ ТЕКСТОВ

- 2.1. Оценивание дидактической сложности учебных текстов
- 2.2. Определение сложности школьных дисциплин и их сравнение
- 2.3. Оценка сложности физических экспериментов
- 2.4. Оценка сложности теоретических моделей атома
- 2.5. Увеличение сложности изучаемых понятий с возрастом ученика
- 2.6. Распределение учебной информации в школьном курсе физики
- 2.7. Оценка дидактической сложности разделов курса общей физики
- 2.8. Оценка сложности учебных текстов для начальной школы

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

ПРИЛОЖЕНИЕ

Список литературы

ПРЕДИСЛОВИЕ

Развивающаяся в настоящее время концепция сложности предполагает использование сложностного мышления, предусматривающего системный подход к исследуемым объектам и процессам, выявление иерархических структур, прямых и обратных связей, аттракторов и т. д. С этих позиций важной характеристикой любого дидактического объекта или процесса является его сложность, а обучение – это построение в сознании учеников достаточно сложной системы знаний, правильно объясняющей окружающие явления. Одно из условий эффективного обучения состоит в соответствии сложности изучаемых вопросов лингвистическим и когнитивным способностям учеников (то есть сложности их знаний). Изучаемый материал не должен быть очень сложным, иначе ученик не сможет адекватно его воспринять, и это приведет к снижению его мотивации к обучению. Поэтому разработка методов объективной оценки дидактической сложности учебных текстов – важная проблема дидактики. Ее решение поможет более успешно реализовать принцип «от простого к сложному» и оптимальным образом расположить элементы учебного материала, а также правильно оценить трудоемкость тестовых заданий и точнее определить уровень знаний ученика. Учебный текст – это системный многомерный объект, который может быть охарактеризован большим числом величин, поэтому проблема оценки сложности текстов относится к мягким проблемам и может быть решена различными способами. В монографии рассмотрены: 1) семантическая сложность понятий и ее связь с физической сложностью объекта, частотой употребления; 2) различные методы оценки сложности физических, математических и других понятий; 3) методы оценки дидактической сложности учебных текстов различного объема и направленности; 4) изучение закономерностей распределения учебной информации в курсе физики. Она является развитием идей и подходов, представленных в книге «Дидактическая сложность учебных текстов и ее оценка» (2020 г.).

Автор

ВВЕДЕНИЕ

Оптимизация учебного процесса предполагает систематическую оценку дидактической сложности (ДС) различных элементов учебного материала (текстов, рисунков, формул) и учет ее результатов при планировании деятельности учащихся. Чем выше сложность изучаемого вопроса, тем больше времени потребуется для его рассмотрения на уроке и тем больше усилий должен затратить школьник или студент для его изучения [12]. Поэтому разработка эффективных методов оценки ДС текста, выявление сложных для понимания вопросов – важная практическая задача, которая позволяет повысить результативность учебного процесса.

Как известно, сложность объекта характеризуется информативностью его максимально краткого и одновременно полного описания. В настоящее время точного метода измерения сложности не существует, так как не понятно, какую величину следует выбрать в качестве меры сложности. Эта величина «должна характеризовать то ли составной характер и иерархичность системы, то ли запутанность структуры, частей, элементов, то ли трудность для понимания и описания» [104].

Учебный текст (УТ) – это многомерный объект, описывающийся большим количеством переменных, поэтому обозначенная проблема относится к слабоформализуемым и может быть решена различными способами. Важными характеристиками учебных текстов и других ДО являются **объем, общая информативность и дидактическая сложность**. Разработка методов их измерения поможет расположить изучаемые вопросы в порядке возрастания сложности, а также правильно оценить трудоемкость тестовых заданий и точнее определить уровень знаний ученика. Проблема оценки ДС различных текстов является актуальной потому, что: 1) реализация принципа «от простого к сложно-

му» требует изучения вопросов в порядке возрастания их сложности; 2) сложность изучаемого вопроса – важный фактор, влияющий на трудность понимания и усвоения; 3) сложность учебного материала должна соответствовать способностям ученика; 4) сложность (информативность) учебного материала может рассматриваться как показатель интеллектуального уровня школьника, способного его усвоить.

Цель исследования состоит в разработке, совершенствовании и апробации простых и эффективных методов оценки дидактической сложности учебных понятий и текстов. Достижение поставленной цели связано с проблемами определения когнитивной сложности различных систем, применения количественных методов в дидактических исследованиях, измерения общей информативности и средней плотности информации учебных текстов и является развитием метода, предложенного автором в работах [42–84; 123–128]. При этом нами использовались метод системного анализа, тезаурусный подход, метод контент-анализа и методология мягких систем, а также применялись компьютерные программы, написанные в среде *ABCPascal* [101]. Математическая обработка результатов осуществлялась в электронных таблицах *MS Excel*.

Методологической основой исследования являются работы ученых по следующим направлениям:

1) теория и практика обучения: Е. И. Вараксина [9], Б. М. Величковский [11], Э. Г. Гельфман и М. А. Холодная [16], М. А. Захарищева [24], А. С. Казаринов [26], В. В. Майер [41], В. А. Саранин [108], Ю. А. Сауров [109];

2) математические методы в гуманитарных исследованиях: В. В. Гучук [19], Г. Дэвид [22], В. А. Дюк [23], Е. К. Корноушенко [32], Ю. Н. Марчук [86], М. М. Невдах [95], Н. Б. Самсонов и Е. В. Чмыхова, Д. Г. Давыдов [107];

3) сложность дидактических и иных систем, сложность текстов: Р. Р. Гайсин [14], А. В. Гидлевский [17], Д. П. Клейносов [29], Е. Н. Князева [30], О. Э. Наймушина и Б. Е. Стариченко [94], С. И. Солнышкина [110], В. Davis и D. Sumara [122], Л. О. Чернейко [117], J. C. Alderson [120];

4) теория учебника, сложность и информативность учебного текста: В. П. Беспалько [6], Я. А. Микк [87], С. А. Михеева [89];

5) семантическая информация и ее измерение: В. Б. Вяткин [13], О. В. Зеркаль [25], И. П. Кузнецов [36], Д. А. Морозов и Б. Л. Иомдин [90];

6) когнитивно-лингвистический подход, характеристики текста: М. И. Солнышкина [10; 85], А. С. Кисельников [28], И. А. Стернин и З. Д. Попова [102];

7) тезаурусный подход: Ю. А. Алябышева, А. Ю. Антонов и А. А. Веряев [3], Н. В. Лукашевич [37], Вал. А. Луков и Вл. А. Луков [38; 39], А. А. Мирошниченко [88], И. Ф. Неволин и М. Б. Позина [96], И. С. Тулохонова [113];

8) метод экспертных оценок: А. И. Орлов [99], В. С. Черепанов [116], И. В. Садовников [106];

9) контент-анализ текстов: Л. Я. Аверьянов [1], В. И. Шалак [118], M. D. White, E. E. Marsh [131];

10) автоматизированная оценка сложности текстов: Т. В. Батура [5], Н. К. Криони, А. Д. Никин и А. В. Филиппова [35], М. М. Невдах [95], И. В. Оборнева [97].

Определение сложности учебных понятий и текстов является мягкой проблемой, решаемой множеством способов; при этом используется нечеткая логика, а результаты в принципе не могут быть точными. Экспериментальное изучение особенностей усвоения текста школьником сопряжено с немалыми трудностями, потому что УТ и ученик – многомерные объекты, и на их взаимодействие влияют около сотни различных факторов. Среди них: 1) средняя длина слов и предложений, доля абстрактных понятий, наличие математических абстракций, скрытой информации, о которой должен догадаться читатель, и т. д.; 2) интеллектуальный уровень ученика, 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 значений этих факторов – от-

дельная непростая задача. Для получения статистически значимых результатов, количество испытуемых (учеников) и используемых текстов должно быть велико; в противном случае результаты будут иметь значительные погрешности.

Поэтому при определении сложности УТ приходится опираться на логические рассуждения и интуицию эксперта. Подобным образом учитель оценивает знания учеников, экзаменатор – ответы студентов на экзамене, искусствовед – художественные качества произведений искусства, спортивный судья – выступление фигуристов, гимнастов и т. д. Обоснованность метода экспертных оценок подтверждается результатами его использования на практике.

Допустим, необходимо создать несложный алгоритм (метод), правильно классифицирующий объекты (тексты), разбивая их на классы различной сложности. Исследователь А, основываясь на логических и интуитивных рассуждениях, предложил алгоритм, позволяющий правильно решить задачу о классификации текстов с вероятностью 0,90. Исследователь Б считает, что предложенный метод недостаточно обоснован и поэтому его нельзя использовать. Кто из них прав? Ответ очевиден: если предложенный метод приводит к правильному ответу в 90 случаях из 100, значит, он достаточно хорош, особенно при отсутствии другой альтернативы.

Рассмотренная в монографии проблема исследования также нашла свое отражение в работах автора, посвященных следующим вопросам: 1) учебные понятия и их сложность [66; 67; 73; 74; 80]; 2) сложность математической информации [50; 51; 57; 58; 60; 64]; 3) сложность объяснения задачи [52; 78; 81; 84]; 4) оценка сложности школьных и вузовских учебников по физике [42–45; 53–56; 69–71]; 5) оценка сложности учебных текстов [49; 59; 61–63; 77]; 6) обоснованность математических моделей и научных фактов [75; 83]; 7) концептуализация понятий «энергия» и «сила» [72; 76]; 8) изучение внутрипредметных связей с помощью компьютера [79]; 9) математические модели учебного процесса [46; 47; 65].

1. СЛОЖНОСТЬ УЧЕБНЫХ ПОНЯТИЙ

1.1. АБСТРАКТНОСТЬ И СЕМАНТИЧЕСКАЯ СЛОЖНОСТЬ УЧЕБНЫХ ПОНЯТИЙ

1. Обсуждение проблемы. Когнитивная сложность дидактического объекта показывает трудность его усвоения учеником, сложность его отражения в сознании человека. Понимание текста сильно зависит от понимания составляющих его научных терминов и обычных слов. В монографии [2] показано, что **дидактическая сложность** учебного текста (УТ) определяется: 1) структурной сложностью, зависящей от средних длин слов и предложений, наличия рисунков, таблиц и фотографий; 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.

Существуют различные подходы для оценки смысловой сложности терминов, которая часто рассматривается как мера абстрактности обозначаемых объектов, свойств и отношений. Так, Л. О. Чернейко отмечает, что при создании **шкалы абстрактности** понятий необходимо учитывать сложность понимания и сложность восприятия соответствующих объектов и явлений [117]. Наименее абстрактным является конкретный объект, который воспринимается человеком во всей его целостности, то есть всеми каналами передачи информации (зрение, слух, обоняние, осязание, вкус). Такие объекты обозначаются эмпирически полными и предельно конкретными существительными, они наибо-

лее близки человеку и находятся на минимальном расстоянии от него. Примеры: пища, в меньшей степени вода, воздух, книга, вещи, люди и т. д. На следующем уровне абстракции находятся атмосферные явления: дождь, снег, гроза, ветер, гром, молния, а также названия ситуаций: беседа, пожар, взрыв, крик, школа, стадион [117]. К максимально абстрактным существительным относятся «эмпирически пустые и интеллектуально полные» термины, обозначающие идеализированные объекты; это в первую очередь математические термины: вектор, логарифм, производная, интеграл.

Л. О. Чернейко приходит к выводу, что «чем больше органов чувств активизируется в человеке в пространстве «человек – предмет», тем ближе объект к субъекту». Понимая важность зрения, она утверждает, что «человек получает о видимом мире тем более абстрактную информацию, чем большее расстояние отделяет его от воспринимаемого им объекта» [117]. То есть Солнце и Луна – это более абстрактные объекты, чем телевизор или компьютер, которые можно рассмотреть, потрогать, разобрать, использовать в работе.

Я. А. Микк предлагает все существительные делить на **три уровня абстракции** [87, с. 45]: 1) слова, «обозначающие предметы и живые существа, которые можно воспринимать органами чувств непосредственно» (например, человек, вода); 2) слова, «обозначающие явления, которые можно воспринимать органами чувств непосредственно» (например, гроза, отражение света); 3) слова, обозначающие объекты, непосредственно не воспринимаемые органами чувств (например, скорость, энергия). Другой способ установления **абстрактности слова** заключается в проверке наличия в слове абстрактного суффикса (-ость, -есть, -нность, -ие, -мость, -ание, -ение, -ние, -ество, -изм, -ация и др.) [87]. В монографиях [43; 55] для оценки сложности понятий предлагается учитывать количество слов в их определениях, встречаемость обозначаемых объектов в повседневной жизни и возможность их экспериментального изучения.

Любой текст, предложение, определение понятия представимы в виде семантической сети. В научной литературе [13; 30; 94; 98] рассматриваются раз-

личные **меры когнитивной сложности** семантических сетей: 1) сложность по А. Н. Колмогорову, характеризуемая размером соответствующего файла, сжатого с помощью современных алгоритмов; 2) сложность, пропорциональная «высоте» понятия: рассматриваемая предметная область представляется с помощью орграфа без контуров, имеющего ярусно-параллельную форму, так как усвоение понятия P требует усвоения более простых понятий на низких уровнях; номер яруса, на котором находится понятие P , характеризует его сложность; 3) сложность характеризуется количеством понятий, информационно связанных с понятием P .

Различные аспекты обсуждаемой проблемы проанализированы в работах Н. Ф. Алефиренко [2], М. Я. Добря [20], Н. В. Друзиной [21], Ю. Н. Караулова [27], Вал. А. Лукова и Вл. А. Лукова [39], Я. А. Микка [87], И. Ф. Неволина и М. Б. Позиной [96], В. Ф. Петренко и А. П. Супруна [100], З. Д. Поповой и И. А. Стернина [102], О. С. Разумовского [104], С. В. Ракитиной [105], Л. О. Чернейко [117].

2. Семантическая сложность понятий. В процессе обучения в школе у ребенка формируется система знаний, включающая в себя большое число абстрактных понятий, образованных от более простых абстракций. В сознании ученика развивается **концептосфера** – система связанных между собой **концептов**, то есть дискретных ментальных образований, содержащих в себе абстрактные, конкретно-ассоциативные и эмоционально-оценочные признаки, сформированные в процессе осмысления изучаемой совокупности эмпирических и теоретических положений [102]. Однокоренные слова в сознании человека не хранятся отдельно, а образуют единое **концептополе**. Например, термины «отражение», «отраженный», «отражающий» и «отражать(ся)» связаны между собой и составляют общий концепт. Будем считать, что они имеют примерно одинаковые сложности, для определения которых достаточно оценить сложность одного термина – «отражение».

Учебное понятие – сложный многомерный объект, поэтому оценка его характеристик – непростая задача, которая может быть решена разными способами. Все используемые школьником концепты (понятия) можно разделить на базовые, не нуждающиеся в пояснении (человек, Солнце, дом, вода), и производные, то есть объясняемые с помощью других понятий. Базовые понятия формируются в детстве в результате взаимодействия с окружающими объектами и общения с людьми. Логично считать, что их семантическая сложность равна единице.

Семантическая (смысловая) сложность $SC(P, Z)$ понятия P (SC – от semantic complexity) относительно тезауруса Z приблизительно равна наименьшему количеству слов из тезауруса Z , которые надо произнести, чтобы дать понятию P определение или объяснить его значение [55]. Фактически она равна коэффициенту свернутости информации (КСИ) в соответствующем слове. Текст и понятие образуют диалектическое единство: для оценки сложности текста необходимо знать сложность составляющих его понятий; для оценки сложности абстрактного понятия требуется оценить сложность поясняющего его текста (определения, объяснения).

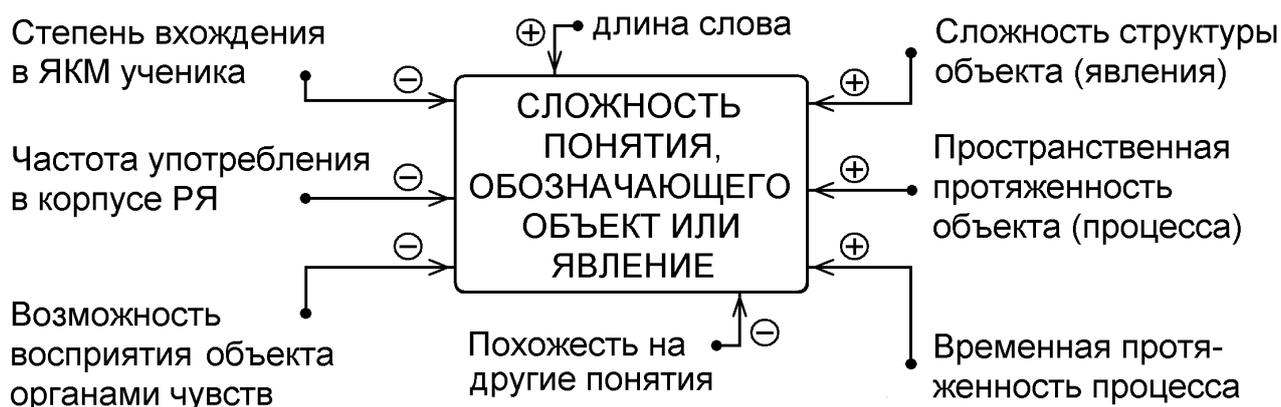


Рис. 1. Сложность понятия, обозначающего объект или явление

Сложность понятия зависит (рис. 1): 1) от степени вхождения понятия P в тезаурус (или языковую картину мира) первоклассника, пятиклассника, девятиклассника и выпускника школы; 2) длины слова, количества слогов в нем

(термин «ген» легче произнести и запомнить, чем «дезоксирибонуклеиновая»); 3) частоты использования понятия, определенной по всему корпусу русского языка; 4) возможности восприятия соответствующего объекта (процесса) органами чувств или необходимости представлять его в своем воображении; 5) структурной сложности обозначаемого объекта или процесса; 6) пространственной и временной протяженности объекта или процесса; 7) похожести научного понятия на хорошо известные слова. Последнее можно проиллюстрировать следующим примером: понятия «длина волны», «частота» усваиваются гораздо легче, чем «интерференция», «дифракция», «гистерезис», которые абсолютно не знакомы ученику. Также плохо усваиваются понятия, названия которых не отражают их суть: эффект Доплера, закон Ома, сила Магнуса и т. д. На рис. 1 представлена когнитивная сеть, показывающая основные факторы, усиливающие (знак «+») или ослабляющие (знак «-») дидактическую сложность понятия, обозначающего объект или явление.

Семантическая (смысловая) сложность термина $SC(T)$ связана со сложностью отражения в сознании ученика обозначаемого им объекта, свойства или отношения. Получается, что: 1) $SC(\text{компьютер}) < SC(\text{осциллограф})$ и $SC(\text{компьютер}) < SC(\text{микрометр})$, потому что слово «компьютер» входит в тезаурус первоклассника, он с ним часто взаимодействует, а понятия «осциллограф» и «микрометр» нуждаются в пояснении; 2) $SC(\text{телефон}) < SC(\text{галактика})$ и $SC(\text{телефон}) < SC(\text{квazar})$, потому что ученик вынужден напрягать свое воображение, чтобы представить галактику или квазар; для него это более абстрактные понятия. По мере развития науки и техники в повседневную жизнь входят новые объекты (девайсы, гаджеты и т. д.), сложность обозначающих их слов уменьшается.

Как правило, если в состав термина T входит термин T' , то $SC(T') < SC(T)$: $SC(\text{память}) < SC(\text{память компьютера})$, $SC(\text{атом}) < SC(\text{ядро атома}) < SC(\text{ядерные силы})$. Чем больше объектов обозначает слово, чем чаще употребляется, тем оно менее информативно, так как в меньшей степени снижает неопреде-

ленность наших знаний об окружающем мире. При использовании географических понятий (Китай, Лондон) ученик вынужден вспоминать глобус или географическую карту. Из-за большей протяженности Китая словосочетание «письмо из Китая» менее информативно, чем «письмо из Лондона».

Итак, семантическая сложность понятия P относительно уровня знаний Z показывает **степень концентрации информации** в нем и равна числу слов в объяснении сущности P человеку со знаниями Z . Иначе говоря, необходимо: 1) дать определение (или дефиницию) D понятию P , используя слова из Z и термины T_1' , T_2' , ..., не входящие в Z ; 2) дать определения терминам T_1' , T_2' , ..., используя слова из тезауруса Z ; 3) максимально упростить получившийся текст и сложить сложности всех составляющих его слов. Если для объяснения термина «ускорение» выпускнику 5 класса требуется произнести 8 слов, у которых $SC_5 \approx 1$, то информативность (или КСИ) этого термина относительно соответствующего тезауруса равна 8 УЕИ (усл. ед. инф.). Слова, не нуждающиеся в объяснении, имеют информативность 1 УЕИ.

Для оценки семантической сложности понятий в качестве уровня Z удобно выбрать: 1) тезаурус первоклассника Z_1 при оценке текстов для начальной школы (1–4 кл.); 2) тезаурус пятиклассника Z_5 при оценке текстов для учеников 5–11 классов; 3) тезаурус выпускника школы Z_{11} при оценке сложности вузовских учебников.

1.2. СВЯЗЬ МЕЖДУ ФИЗИЧЕСКОЙ СЛОЖНОСТЬЮ ОБЪЕКТА И СЕМАНТИЧЕСКОЙ СЛОЖНОСТЬЮ ПОНЯТИЯ

1. Сложность понятия и обозначаемого им объекта. Семантическая (смысловая) сложность существительного связана со сложностью отражения в сознании ученика обозначаемого им объекта, свойства или отношения. Она зависит от вхождения данного слова в тезаурус (или языковую картину мира) школьника, от встречаемости с обозначаемым объектом в повседневной жизни, а также от физической сложности объекта и его пространственно-временных масштабов. Как известно, сложность системы характеризуется длиной ее наиболее полного и в то же время краткого описания. При прочих равных условиях **физическая сложность системы** тем больше, чем больше число составляющих ее элементов, поэтому часть всегда проще целого. Например, компьютер устроен сложнее процессора, так как содержит большое количество других блоков и микросхем, атом сложнее ядра, молекула сложнее входящих в ее состав атомов и т. д. То есть при движении от микромира к мегамиру сложность объектов возрастает (рис. 2).



Рис. 2. Физическая и семантическая сложность объекта (концепта)

Когда речь идет о **семантической сложности концепта**, эта закономерность не выполняется. Третьеклассник понимает слово «компьютер», но может не знать о процессоре; для него семантическая сложность слова «компьютер» меньше, чем у слова «процессор»: $SC(\text{компьютер}) < SC(\text{процессор})$. Ученик может понимать, что атом – мельчайшая частица химического элемента, но не знает о существовании ядерных сил: $SC(\text{атом}) < SC(\text{ядерные силы})$. Это объясняется тем, что термины «компьютер» и «атом» входят в состав тезауруса ученика в младших классах и используются им значительно чаще. То есть факт, что объект O_1 физически сложнее объекта O_2 , не означает, что термин T_{O_1} обязательно семантически сложнее T_{O_2} .

На семантическую сложность термина, обозначающего объект O , влияет возможность наблюдать или взаимодействовать с O в повседневной жизни. Ученик хорошо понимает, что такое собака, кошка, птица, так как видел и взаимодействовал с ними. Так как макрообъекты доступны органам чувств ученика, то соответствующие концепты входят в его тезаурус и поэтому имеют низкую семантическую сложность. При изучении объектов микромира ученик вынужден напрягать свое воображение и представлять сущности, которые трудно или невозможно увидеть. Это усугубляется тем, что макропредставления человека о макроскопических объектах и явлениях не подходят к микромиру, никаких прямых аналогов привычных нам объектов в микромире нет. Поэтому человек не может создать макроскопический образ, полностью адекватный изучаемому микрообъекту (электрону, атому, фотону). Ему трудно представить нечто, одновременно проявляющее свойства частицы и волны. Наши представления при переходе к микроскопическим объектам, которые далеки от повседневного опыта, теряют свою адекватность. Поэтому SC терминов, обозначающих объекты микромира, выше (рис. 2).

Похожим образом обстоят дела с изучением объектов мегамира. Ученик сначала узнает о существовании галактик, черных дыр, а затем знакомится с их «внутренним устройством». При этом его тезаурус обогащается такими термини-

нами, как «галактические рукава», «ядро галактики», «горизонт событий», «сингулярность». Итак, **термины, обозначающие объекты микро- и мегамира, имеют более высокую смысловую сложность, чем термины, обозначающие объекты макромира.**

2. Два подхода к формированию понятия. Обучение направлено в сторону увеличения семантической сложности используемых понятий. Атом изучается «в глубину», «от целого к частям»: сначала ученики узнают о существовании атома, а затем через несколько лет изучают его строение. При изучении живых организмов ребенок сначала узнает, что такое собака, а затем знакомится с ее частями тела, органами, кровеносной, пищеварительной, нервной и другими системами и лишь потом достигает уровня клеток и органоидов, входящих в их состав. Аналогичным образом изучается компьютер, устройство радиоприемника, строение Солнца, Земли, других небесных тел: сначала ученик знакомится с объектом, а затем через некоторое время лет изучает его структуру. Поэтому

$$SC(\text{компьютер}) < SC(\text{ОЗУ}), SC(\text{клетка}) < SC(\text{рибосома}), \\ SC(\text{лошадь}) < SC(\text{клетка}), SC(\text{человек}) < SC(\text{печень}) \text{ и т. д.}$$

Концепты «атом», «компьютер», «животное» часто встречаются в повседневной жизни и входят в тезаурус пятиклассника, поэтому они несильно затрудняют понимание учебного текста. Термины «ядро атома», «протон», «нейтрон», «глюон» изучаются в старших классах, они имеют высокую семантическую сложность и делают текст менее понятным. Семантическая сложность термина тем меньше, чем он раньше изучался и больше использовался (при чтении, восприятии на слух или произнесении) среднестатистическим выпускником школы. Например, концепт «треугольник» входит в тезаурус первоклассника, «меридиан» – пятиклассника, а «нуклон» – одиннадцатиклассника. Очевидно, что среднестатистический одиннадцатиклассник термин «треугольник» употреблял очень много раз, а термин «нуклон» – гораздо меньше. Поэтому:

$$SC(\text{треугольник}) < SC(\text{меридиан}) < SC(\text{нуклон}).$$

Возможна обратная ситуация, когда ученики сначала знакомятся с отдельными элементами системы, а затем – со всей системой в целом. Часто это относится к теоретическим знаниям. Например: 1) сначала изучают числа и арифметические действия, а затем математические выражения; 2) сначала изучают предел, а затем производные различных функций; 3) сначала – атомы химических элементов, а затем – молекулы органических веществ; 4) сначала – операторы, а затем компьютерные программы; 5) сначала – полупроводниковые приборы, а затем – работу электронных устройств и т. д. Иногда учитель делает обобщение и формирует у учеников новое понятие, обладающее более высокой степенью абстрактности. Например, собака, кошка, лошадь, птица, акула, дельфин, обезьяна – животные. При этом

$$SC(\text{лошадь}) < SC(\text{животное}), SC(\text{птица}) < SC(\text{животное}).$$

1.3. ОЦЕНКА СЛОЖНОСТИ ПОНЯТИЙ МЕТОДОМ ПАРНЫХ СРАВНЕНИЙ

1. Обсуждение проблемы. В основу метода оценки сложности понятий следует положить какой-то простой и эффективный набор правил. Предлагаемый подход учитывает: 1) степень абстрактности понятия; 2) частоту его использования по всему корпусу русского языка; 3) возможность (вероятность) наблюдения обозначаемого объекта или измерения соответствующей величины учеником. Все понятия можно разбить на **три категории**: 1) понятия, связанные с чувственным восприятием; они обозначают часто наблюдаемые объекты, встречающиеся в повседневной жизни (жидкость, кристалл), или физические величины, которые школьник неоднократно измерял (расстояние, время); 2) понятия, обозначающие редко наблюдаемые объекты (измеряемые величины), которые среднестатистический ученик может увидеть в физической лаборатории (конденсатор, сила тока); 3) абстрактные понятия, образованные от других абстрактных понятий и объясняемые чисто логически; они обозначают объекты, недоступные для наблюдения (электрон, гамма-лучи), или физические величины, никогда не измеряемые учащимся (напряженность, концентрация). Различные аспекты рассматриваемой проблемы обсуждаются в работах следующих ученых: Н. Ф. Алефиренко [2], Б. М. Величковский [11], М. Я. Добря [20], Н. В. Друзина [21], Я. А. Микк [87], З. Д. Попова и И. А. Стернин [102], О. С. Разумовский [104], Л. О. Чернейко [117].

2. Оценка сложности методом парного сравнения. В монографии [5] рассмотрены два способа оценки семантической сложности понятий, основанные на **методе парного сравнения**: 1) карточки с напечатанными на них словами раскладываются по шкале сложности; 2) слова, набранные в текстовом файле, разбиваются на несколько категорий в зависимости от уровня сложности

U . Нами установлено, что все изучаемые в школе понятия, обозначающие объекты и явления природы, могут быть уверенно разделены на 5–7 категорий так, что сложность терминов с $U = 6$ примерно в 30–35 раз больше сложности терминов с $U = 1$. Это означает, что для объяснения понятия с $U = 6$ (например, хромосома) требуется произнести 30–35 слов с $U = 1$ (вода). По **закону Вебера – Фехнера** реакция эксперта на любой раздражитель прямо пропорциональна относительному изменению воздействия. При классификации понятий воздействием является семантическая сложность SC , а реакцией – уровень сложности U , к которому эксперт относит классифицируемое понятие. Получаем: $d(SC)/SC = k dU$, $SC = A^{U+C}$. Если $U = 1$, то $SC = 1$; если $U = 6$, то $SC = 32$, поэтому получаем формулу $SC \approx 2^{U-1}$. Итак, все понятия оказываются разделенными на 6 классов, соответствующих $SC = 1, 2, 4, 8, 16, 32$.

Ниже представлены результаты разбиения 80 слов и научных понятий на 6 категорий в зависимости от их сложности относительно тезауруса Z_1 . Понятия **первой категории**, составляющие тезаурус дошкольника ($U = 1$, $SC = 1$): человек, стол, тарелка, дыхание, муха, собака, автобус, город, солнце. Ко **второй категории** ($U = 2$, $SC = 2$) относятся: металл, сердце, желудок, адрес, время, масса, метод, качество, количество, государство, существование. Понятия **третьей категории** ($U = 3$, $SC = 4$): млекопитающее, телескоп, компьютер, гуманизм, Париж, Юпитер, катет, гипотенуза, параллелограмм, световой год, кислота, координата, умножить, эволюция. В **четвертую категорию** входят ($U = 4$, $SC = 8$): атом, белки, идеология, информация, кибернетика, наследственность, популяция, щелочь, пропан, озон, вирус, микрофон, ускорение, философия, ментальность, детерминизм, рецепторы. Понятия **пятой категории** ($U = 5$, $SC = 16$): валентность, гомеостаз, гормоны, изотоп, канцерогены, лейкоциты, молярная масса, мощность, нейросеть, нейтрон, протон, процессор, континуум, экосистема. К **шестой категории** ($U = 6$, $SC = 32$) относятся: аллели, геном, ДНК, импеданс, кварк, обменное взаимодействие, орбиталь, цитозин, альдегид, мезон, гравитон, коацерваты, парсек, античастица, сингулярность.

Этот подход эффективен для научных терминов, сложность которых в десятки раз выше сложности «простых» слов «дом», «человек» и т. д., принимаемой за единицу. Он неприменим для оценки сложности «обычных» слов, составляющих тексты для 1–4 классов. Особенностью таких УТ является почти полное отсутствие скрытой (имплицитной) информации: ученик не должен вспоминать какой-нибудь закон, теорему или определение, чтобы понять текст. В текстах используется большое количество слов, которые известны младшему школьнику без дополнительных пояснений и определений. При оценивании таких УТ следует учитывать, что смысловая сложность слова тем выше, чем реже оно встречается в корпусе русского языка, то есть чем ниже его частотность.

3. Оценка сложности понятий с помощью компьютера. Определение сложности УТ требует оценки семантической сложности «обычных» слов и научных понятий, составляющих текст. При этом под сложностью понятия относительно некоторого тезауруса Z (например, тезауруса пятиклассника Z_5) будем понимать величину SC , равную наименьшему количеству «простых» слов из тезауруса Z , которое необходимо произнести, чтобы объяснить сущность данного понятия. Считается, что все «обычные» слова и научные понятия, встречающиеся в школе, могут быть разделены на 6–7 категорий, которым соответствуют следующие значения сложности: 1 – 2 – 4 – 8 – 16 – 32 – 64 [55].

Обсуждаемая проблема носит более широкий характер, чем кажется, так как сравниваться и оцениваться могут не только понятия, но и другие объекты. Для ее решения удобно использовать компьютер, позволяющий предъявлять эксперту различные пары понятий (объектов), воспринимать вводимую информацию, вычислять среднее, записывать результаты оценок или парных сравнений в текстовый файл.

Предлагаемый подход предусматривает использование компьютерных программ, автоматизирующих и рандомизирующих процесс парного сравнения и оценки сложности понятий, сохраняющих результаты оценки в текстовый файл. Компьютерная программа выводит на экран оцениваемое понятие и шка-

лу сложности $1 - 2 - 4 - 8 - 16 - 32 - 64$ с указанием соответствующих опорных понятий. Эксперт, сопоставляя оцениваемое понятие с опорными, приблизительно определяет сложность SC_i понятия и вводит ее значение с клавиатуры (например, 14). Эта процедура повторяется 3–5 раз; оцениваемое понятие каждый раз сравнивается с опорными терминами, которые выбираются случайным образом и не повторяются.

Недостаток этого метода состоит в том, что эксперт запоминает значения сложности, присвоенные оцениваемому понятию на предыдущем шаге, и это влияет на последующие оценки. Для того чтобы оценки были независимыми, надо оценивать не одно, а 3–5 понятий, которые при этом чередуются. Так работает программа ПР-1 (см. Приложение), написанная в *ABCPascal*. Она в случайном порядке предъявляет сравниваемые объекты, воспринимает ответы эксперта и записывает результаты в файл. Оцениваемые понятия присваиваются переменным $W[1] - W[5]$; на каждом шаге одно из них вместе со шкалой сложности выводится на экран. Эксперт может вводить любое целое значение сложности от 1 до 120 (необязательно $1 - 2 - 4 - 8 - 16 - 32 - 64$). Программа ПР-1 запоминает 3 оценки, полученные каждым понятием, вычисляет средние значения и выводит результаты на экран.

При оценке большого количества понятий (больше 30) бывает необходимо быстро определить значения сложности родственных понятий, оцененных ранее. Для этого используется программа ПР-2 (см. Приложение), которая делает выборку из списка оцененных понятий. Она работает с файлом *slovar.txt*, который содержит список терминов (в сокращенном виде, без окончаний) с указанием их сложностей SC_i , разделенных пробелом:

```

атом 8
вещество 4
скорост 5
ускорен 8
сила 6
мом_сил 11
импульс 10
....
угол 2
угл_скор 5
0000
    
```

В последней строчке метка 0000, которую программа воспринимает как конец списка. Слова, по которым осуществляется поиск, записывают в файл *vhod_slova.txt* без окончаний, в конце списка – метка 0000. Например, так:

```

энерг
импульс
0000
    
```

Программа сравнивает слова из этих двух файлов и выводит на экран список однокоренных слов с их семантической сложностью SC_i :

```

импульс 7
внут_энерг 20
мом_импульса 12
энергия 14
пот_энергия 16
кин_энергия 16
внут_энерг 22
зак_сохр_импульса 10
зак_сохр_энергии 16
    
```

Такой же список печатается в файл *vihod.txt*. Он позволяет соотнести новое понятие с уже оцененными известными понятиями. Например, чтобы оценить сложность понятия «нейтрон», следует узнать значения SC_i понятий «частица», «микрочастица», «протон», «электрон».

1.4. СМЫСЛОВАЯ СЛОЖНОСТЬ СЛОВА И ЧАСТОТА ЕГО УПОТРЕБЛЕНИЯ

1. Обсуждение проблемы. Будем считать, что семантическая сложность (SC – от semantic complexity) слова W относительно тезауруса Z приблизительно равна суммарной сложности слов из Z , которые позволяют объяснить сущность W . Абсолютной сложностью слова W будем называть сложность W относительно тезауруса Z_1 выпускника первого класса.

Семантическая сложность слова связана с частотой его использования. Часто употребляемые слова обычно характеризуются невысокой сложностью, имеют более широкий диапазон значений и меньше контекстуальных ограничений. В [93] выявлена отрицательная корреляция между возрастом усвоения слов и их частотностью; это означает, что редко встречающиеся слова усваиваются позже. Возраст приобретения, частотность, образность связаны между собой и определяют время извлечения слова из памяти. Ранее приобретенные слова имеют бóльшую частотность и образность [129]. Исследования [121; 130] подтвердили, что возраст приобретения слова существенно влияет на простоту его припоминания, то есть на сложность слова. Различные аспекты этой проблемы рассмотрены в работах следующих ученых: Э. Г. Гельфман, М. А. Холодная [16] (психодидактика), А. Я. Вахрушева, М. И. Солнышкина, Р. В. Куприянов, Э. В. Гафиятова и И. О. Климагина [10], Е. Мартынова, А. Мерзлякова и Д. Гизатулина [85], Я. А. Микк [87] (параметры текста), Л. В. Коростелева [33], О. Н. Ляшевская и С. А. Шаров [40], О. В. Нагель, Н. Ф. Кокшарова и А. С. Буб [93] (частотность слов), Вал. А. Луков и Вл. А. Луков [38; 39] (тезаурусный подход), Д. А. Морозов и Б. Л. Иомдин [90], Е. Bates, S. D'Amico, T. Jacobsen et al. [121], С. М. Morrison, А. W. Ellis, Р. Т. Quinlan [129], Р. W. Thorn-dyke [130] (сложность слов), В. И. Шалак [118] (контент-анализ).

Почему увеличение сложности приводит к уменьшению частоты употребления слов? Потому что: 1) обсуждение любой проблемы начинается с простых вопросов и переходит к сложным, причем уровень сложности может быть низким, средним или высоким (это зависит от целевой аудитории); 2) число специалистов по конкретной проблеме всегда меньше количества неспециалистов (включая детей), которые не смогут понять сложные рассуждения.

Психологи отмечают, что во время формирования языковой системы ребенка его мышление дологическое, комплексное. Ребенок легче усваивает слова, характеризующиеся высокой наглядностью и обозначающие объекты, встречающиеся в повседневной жизни [16]. Формируются связи «образ – значение», вокруг них образуются семантические поля, возникают концепты, составляющие обыденную картину мира. Усвоенные слова активно употребляются в устной речи, то есть оказываются включенными в деятельность. При этом дошкольник часто слышит другие непонятные для него слова. Родители, воспитатели и учителя объясняют те понятия, которые ребенок способен понять и представить. Абстрактные термины, образованные от других абстракций, он узнает позже. Чем сложнее понятие, чем абстрактнее и дальше от обыденной картины мира, тем оно позднее усваивается членами общества и тем реже употребляется. Поэтому семантическая сложность слова может быть охарактеризована возрастом его усвоения или частотой использования.

2. Частотная сложность понятия. Введем частотную сложность слова F [66, 77], под ней будем понимать величину $F = \ln(10^6 / f) - 3,318$, где f – среднее число использований слова в корпусе русского языка, приходящееся на миллион слов и определяемое по частотным словарям [40]. В среднем, чем чаще используется то или иное слово, тем меньше его сложность. У часто используемых слов F близко к 0; у самых редких слов, встречающихся в словаре, $F = 10,5$.

Вообще, семантическую сложность слова можно связать с вероятностью его использования p_i так: $SC_i \approx \ln(1/p_i) = -\ln p_i$, где i – номер слова в некото-

ром словаре-тезаурусе. По закону умножения вероятностей вероятность случайного образования предложения из N слов равна $p = p_i p_j \dots p_m$, поэтому

$$\frac{1}{p} = \frac{1}{p_i p_j \dots p_m}. \text{ Прологарифмируем это уравнение:}$$

$$\ln\left(\frac{1}{p}\right) = \ln\frac{1}{p_i} + \ln\frac{1}{p_j} + \dots + \ln\frac{1}{p_m}.$$

Следовательно: $SC \approx SC_i + SC_j + \dots + SC_m$. Получается, что сложность предложения (текста) приблизительно равна сумме сложностей отдельных слов.

Большинство слов с частотной сложностью $F \leq 7$ хорошо известны ученикам 1–4 класса; они обозначают объекты, часто встречающиеся в повседневной жизни (вода, воздух, свет, Солнце), или величины, которые многократно измерялись (расстояние, площадь, объем, угол, масса). Многие из этих понятий входят в тезаурус первоклассника и являются основными, с помощью которых определяются другие, более сложные понятия [55]. Они опираются на результаты чувственного восприятия объектов, поэтому для нахождения SC нет необходимости анализировать их определения.

3. Зависимость количества слов от их частотной сложности. В частотном словаре слова упорядочены по убыванию частоты f ; каждому слову присвоен свой порядковый номер (ранг) r . В левой части табл. 1 отражена зависимость количества слов Δr , приходящихся на единичный интервал частотной сложности $[F; F + 1]$, от величины F . Также рассчитаны значения $\ln(\Delta r)$.

В правой части табл. 1 представлена зависимость ранга (номера) слова r в частотном словаре (и его логарифма $\ln(r)$) от частотной сложности F . На рис. 3 приведены графики зависимостей $\ln(\Delta r)$ и $\ln(r)$ от F ; они похожи на возрастающие прямые. Установлено, что количества Δr слов с F от 0 до 1, от 1 до 2 и т. д. возрастают по почти экспоненциальному закону. Словарь имеет ограниченный объем и не содержит узкоспециализированных терминов, поэтому проследить выполнение этой закономерности можно только для $F < 11$.

Таблица 1. Результаты анализа частотного словаря

F	F+1	Δr	$\ln(\Delta r)$	F	r	$\ln(r)$
0	1	6	1,79	0,5	3	1,10
1	2	14	2,64	1,5	13	2,56
2	3	36	3,58	2,5	33	3,50
3	4	89	4,49	3,5	93	4,53
4	5	258	5,55	4,5	226	5,42
5	6	836	6,73	5,5	701	6,55
6	7	1989	7,60	6,5	2025	7,61
7	8	4153	8,33	7,5	4941	8,51
8	9	7417	8,91	8,5	10538	9,26
9	10	11587	9,36	9,5	20137	9,91
10	11	24292	10,10	10,5	35458	10,48

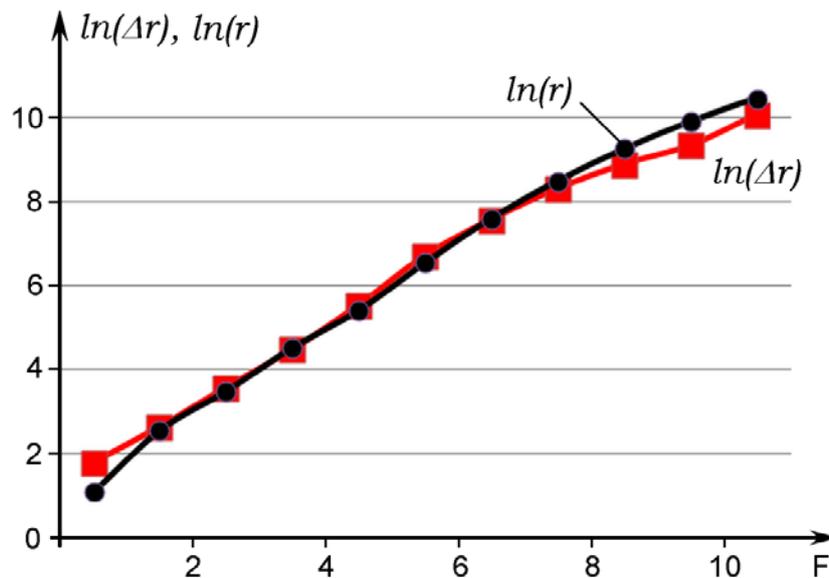


Рис. 3. Зависимость количества слов от их частотной сложности

Ранг слова r равен количеству слов, частотная сложность которых меньше F . Так как $\ln(r)$ прямо пропорционален F , то можно записать: $aF + b = \ln(r)$. Методами регрессионного анализа было установлено, что $a = 0,943$, $b = 1,18$. Все это соответствует закону Ципфа – Мандельброта:

$$F = (\ln(r) - b) / a = \ln(10^6 / f) - 3,318, \quad \ln(r) = \ln(10^6 / f)^a - 3,318 a + b,$$

$$\ln(r) \approx \ln(10^6 / f)^a - \ln 7,02, \quad r \approx 64813 / f^{0,943}.$$

По мере развития ребенка наблюдается рост числа усвоенных слов, причем в первую очередь усваиваются слова с высокой частотой употребления f (низкой частотной сложностью F). Окружающий мир бесконечно разнообразен, научная картина мира, характеризующая наиболее существенные и изученные аспекты объективной реальности, сложна. В процессе обучения происходит отражение многомерных научных знаний в сознании ученика, что приводит к развитию его языковой картины мира. Увеличение детализации отображения научной КМ в сознании ученика связано с изучением новых объектов, сочетающих в себе различные элементарные признаки (атрибуты). Чем больше слов ученик усвоил к i -му году обучения, тем больше элементарных идей и понятий, основанных на их комбинациях, он может усвоить в следующем $(i + 1)$ -м году. Количество возможных комбинаций признаков объектов (а значит, и отображающих их терминов) по мере усложнения изучаемых идей возрастает по экспоненциальному закону. Обучение сопровождается увеличением жизненного опыта, расширением словарного запаса и совокупности усвоенных идей. Эти рассуждения лишь приблизительно объясняют наблюдаемую тенденцию, так как между множествами слов, часто употребляемых пятилетним ребенком и взрослым человеком, нет точного совпадения.

1.5. ЗАВИСИМОСТЬ СЛОЖНОСТИ ПОНЯТИЯ ОТ ВЫБОРА ТЕЗАУРУСА

1. Обсуждение проблемы. В процессе обучения происходит увеличение тезауруса обучаемого. На рис. 4 показано, что в тезаурус студента Z_C входит тезаурус одиннадцатиклассника Z_{11} , который включает тезаурус выпускника 5 класса Z_5 , а тот содержит в себе тезаурус первоклассника Z_1 . При этом каждый из них включает в себя концепты, относящиеся к объектам микромира, макромира, мегамира, математические абстракции (треугольник, число, логарифм) и нематематические абстракции (нравственность, собственность, производительность).

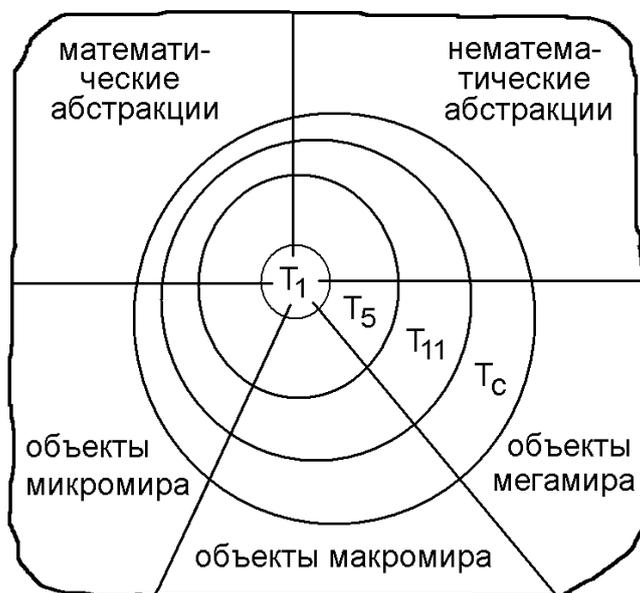


Рис. 4. Увеличение тезауруса по мере обучения

Говоря о сложности понятий, следует указывать, относительно какого тезауруса она определяется. Каждое понятие можно объяснить максимально кратким способом так, чтобы использовались слова из тезауруса Z_{11} . Слож-

ность Π относительно Z_{11} обозначим через $SC_{11}(\Pi)$. Допустим, что для объяснения понятия «производная» требуется около 60 слов из тезауруса Z_{11} , то есть $SC_{11}(\text{производная}) \approx 60$. При этом используются термины «предел», «аргумент», «функция»: производная = D (предел, аргумент, функция, ...), где D – оператор определения (дефиниции). Если объяснять понятие «производная», используя слова из тезауруса Z_9 , то потребуется 89 слов ($SC_9(\text{производная}) \approx 89$), потому что придется определять понятие «предел». Для нахождения сложности того же понятия относительно Z_5 потребуется еще больше слов, так как необходимо будет дать определение понятиям «предел» и «функция» и т. д.

Для общности рассуждений школьников и студентов вузов будем называть k -учениками, где k – число лет обучения, отсчитываемое с поступления в школу. Тогда студенты 1, 2 и 5-го курсов будут называться так: 12-ученик, 13-ученик и 16-ученик. Сложность понятия Π относительно тезауруса k -ученика (обозначается $SC_k(\Pi)$) равна минимальному количеству слов из тезауруса Z_k , которое позволяет объяснить сущность понятия Π . Вероятность того, что понятия со сложностью SC_{11} принадлежат тезаурусу Z_k среднестатистического k -ученика, обозначим через $P_k(SC)$. В принципе она может быть определена следующим образом: 1) создается список из 100 слов со сложностью $SC \pm \Delta SC$ ($\Delta SC \ll SC$); 2) из генеральной совокупности k -учеников делается репрезентативная выборка; допустим, отбирают 1000 учеников; 3) путем тестирования определяется вероятность правильного объяснения отобранными учениками выбранных слов.

2. Зависимость сложности понятия от выбора тезауруса. По мере увеличения сложности слов SC вероятность $P_k(SC)$ их вхождения в тезаурус Z_k убывает; соответственно уменьшается вероятность понимания текста. «Мозговой декодер» k -ученика, занимающийся семантической переработкой поступающей информации, фактически является каналом связи с ограниченной пропускной способностью. Его коэффициент передачи (вероятность понимания)

$P_k(SC)$ зависит от сложности SC поступающих понятий, а также от степени обученности ученика b . Ученик с высокой вероятностью понимает простые термины ($P_k = 1$) и с низкой вероятностью – сложные ($P_k \rightarrow 0$). Логично предположить, что чем выше сложность термина SC_k , тем ниже коэффициент понимания:

$$P_k = \frac{1}{1 + \exp(a(SC_k - b))}.$$

Если $SC = b$, то $P_k = 0,5$. На рис. 5.1 изображены графики $P_k(SC)$ при $a = 10$ и $b = 0, 0,2, 0,4, 0,6, 0,8$ (кривые 1, 2, 3, 4 и 5). В процессе обучения развиваются способности ученика декодировать (то есть понимать) сообщаемую ему информацию. При этом b увеличивается, график $P_k(SC)$ смещается вправо, пропускная способность «мозгового декодера» растет. Можно условно считать, что кривая 1 соответствует уровню 1-ученика, а кривая 5 – уровню 16-ученика.

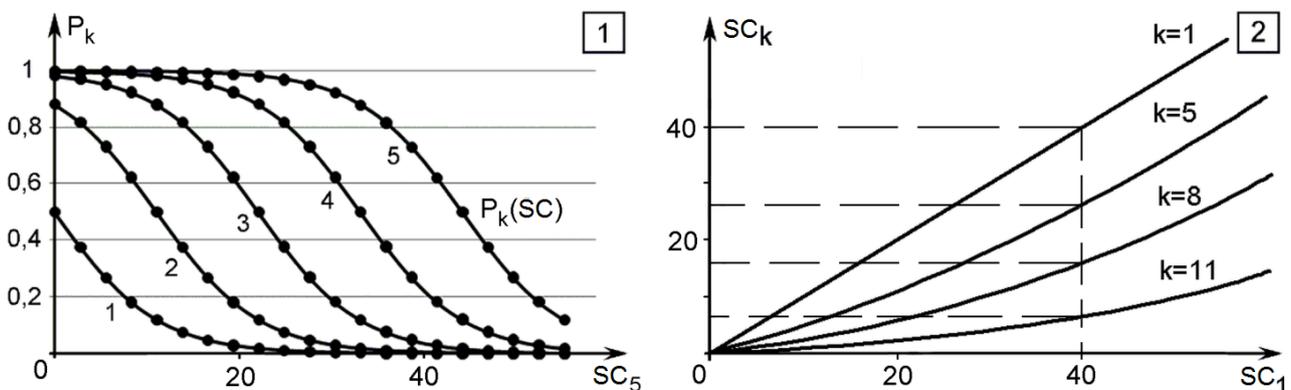


Рис. 5. К вопросу о понимании текста и сложности понятий

Ученик – это нелинейная обучаемая система: после 5–10 осмысленных использований того или иного понятия он прочно усваивает его суть. Понятие переходит в разряд знакомых и запоминается на долгие годы. Поэтому такие понятия, как «частное», «произведение» и т. д., неизвестные 1-ученикам, после 5 лет обучения хорошо усваиваются, их сложность относительно тезауруса Z_5 около 2–3. То есть сложность понятий SC_k с абсолютной сложностью SC_1 по

мере обучения (с ростом k) уменьшается. На рис. 5.2 представлены графики зависимости сложности SC_k различных понятий относительно тезауруса k -ученика от абсолютной сложности SC_1 . При $k=1$ графиком $SC_k = f(SC_1)$ является биссектриса, при $k=5, 8, 11$ кривые $SC_k = f(SC_1)$ приближаются к оси абсцисс. Например, понятие с $SC_1 \approx 40$ для 5-ученика имеет сложность $SC_5 \approx 27$, для 8-ученика $SC_8 \approx 18$, для 11-ученика $SC_{11} \approx 8$. Подобным образом изменяется сложность элементарных идей.

1.6. ОЦЕНКА СЛОЖНОСТИ ПОНЯТИЙ С ПОМОЩЬЮ ШКАЛЫ ЛАЙКЕРТА

1. Обсуждение проблемы. Каждое понятие является абстрактным объектом, который характеризуется набором атрибутов, или признаков. Можно предположить, что, оценив эти признаки, удастся правильно определить семантическую сложность понятия $SC(\Pi)$, например, относительно Z_5 . Нами выявлены следующие **атрибуты понятий**, влияющие на их семантическую сложность: 1) невозможность наблюдения обозначаемого объекта в повседневной жизни x_1 ; 2) невозможность наблюдения объекта в школьной лаборатории x_2 ; 3) невозможность восприятия обозначаемого объекта органами чувств x_3 ; 4) физическая сложность объекта, зависящая от числа составляющих элементов и связей между ними x_4 ; 5) степень вхождения понятия в тезаурусы выпускников 1, 5, 11 классов x_5 , x_6 и x_7 . Для оценки этих атрибутов разработана шкала (табл. 2) с пятью градациями: «определенно нет», «скорее нет, чем да», «ни да, ни нет», «скорее да, чем нет», «определенно да», что соответствует значениям – 2, –1, 0, 1, 2. Это биполярная шкала Лайкерта, которая часто применяется в психолого-педагогических исследованиях [114]. Для оценки сложности также необходимо учитывать частоту f использования рассматриваемого понятия в русском языке: обычно чем ниже f , тем выше $SC(\Pi)$ и его информативность для школьника или студента.

В качестве восьмой характеристики выберем **частотную сложность** F ; она зависит от частотности слова f , определенной по частотным словарям [40; 115], и рассчитывается по формуле:

$$F = \ln(10^6 / f) - 3,318,$$

где f – среднее число использований слова, приходящееся на миллион слов. Словарь [40] содержит 32,5 тыс. наиболее употребительных слов русского язы-

ка, расположенных в порядке убывания частоты их использования; в Интернете можно найти соответствующий pdf-файл. У наиболее часто используемых слов F близко к 0; у самых редких слов, встречающихся в словаре, $F = 10,5$. Будем считать, что слова, не вошедшие в словарь (то есть употребляемые очень редко), имеют частотную сложность $F \approx 15$.

Таблица 2. Шкала Лайкерта для оценки признаков понятий

	Обозначаемый объект ...	ОЦЕНКА					Обозначаемый объект ...
		-2	-1	0	1	2	
X_1	Легко пронаблюдать в повседневной жизни (вода, почва, человек, солнце)	-2	-1	0	1	2	Нельзя пронаблюдать в повседневной жизни (атом, ген, квазар, кварк)
X_2	Легко пронаблюдать в школьной лаборатории (магнит, червяк, цветок, пружина)	-2	-1	0	1	2	Нельзя пронаблюдать в школьной лаборатории (атом, протон, ген, ДНК, нейрон)
X_3	Легко воспринимается органами чувств (книга, муха, металл, линейка, кошка)	-2	-1	0	1	2	Не воспринимается органами чувств (атом, фотон, нуклон, орбиталь, хромосома)
X_4	Имеет простое строение (вода, песок, туча, ложка)	-2	-1	0	1	2	Имеет сложное строение (компьютер, телевизор, ДНК, организм)
X_5	Хорошо известно выпускнику 1 кл. (книга, собака, дом, человек)	-2	-1	0	1	2	Не известно выпускнику 1 кл. (диод, ион, кварк, нуклон)
X_6	Хорошо известно выпускнику 5 кл. (компас, экватор, сердце, желудок)	-2	-1	0	1	2	Не известно выпускнику 5 кл. (индуктивность, позитрон, домен, митохондрии)
X_7	Хорошо известно выпускнику 11 кл. (атом, микроскоп, монитор, клетка)	-2	-1	0	1	2	Не известно выпускнику 11 кл. (ЯМР, спин, волновая функция, фазометр)

2. Результаты оценки признаков понятий и их анализ. Для изучения влияния атрибутов понятий на их сложность выбрано 80 понятий различной сложности (от простых – «гриб», «море», до сложных – «адрон», «ДНК»), образующих совокупность Ω . Методом парных сравнений дважды произведена их разбивка на 6–7 категорий сложности одним и тем же экспертом, то есть для каждого понятия определены U_1 и U_2 . С помощью электронных таблиц Excel вычислен коэффициент корреляции между ними; он оказался равным 0,92. Это

доказывает относительную устойчивость оценок, даваемых экспертом. С использованием разработанной шкалы (табл. 2) была произведена оценка характеристик x_1, x_2, \dots, x_7 для всех слов из совокупности Ω .

Для 80 понятий полученные значения перечисленных выше атрибутов x_i ($i = 1, 2, \dots, 7$) и F были введены в таблицу Excel, что позволило вычислить коэффициенты корреляции и линейной регрессии (табл. 3). В правой верхней части таблицы представлены коэффициенты корреляции между x_i, F и U . Видно, что: 1) атрибуты x_1, x_2, x_3, x_5 и x_6 тесно связаны между собой; соответствующие коэффициенты корреляции выше 0,7; 2) частотная сложность F достаточно хорошо коррелирует с признаками x_1, x_5, x_6 и x_7 ; 3) уровень сложности U понятия тесно связан с x_1, x_2, x_3, x_5, x_6 ; 4) уровень сложности U понятия тесно связан с F , коэффициент корреляции 0,847; 5) признак x_4 (физическая сложность обозначаемого объекта) слабо коррелирует с остальными атрибутами и **уровнем сложности U** . Последнее означает, что на семантическую сложность понятия не очень сильно влияет физическая сложность объекта: слова «телевизор», «компьютер» обозначают сложные объекты, но их семантическая сложность даже для первоклассника невелика, т. е. он хорошо понимает значение этих слов.

Таблица 3. Коэффициенты корреляции и линейной регрессии

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	F	U
x_1	1	0,902	0,835	0,255	0,892	0,873	0,569	0,729	0,855
x_2		1	0,807	0,227	0,721	0,766	0,584	0,685	0,791
x_3			1	0,198	0,759	0,751	0,403	0,584	0,791
x_4				1	0,311	0,220	0,101	0,088	0,317
x_5					1	0,931	0,512	0,718	0,867
x_6						1	0,645	0,840	0,910
x_7							1	0,706	0,689
F								1	0,847
U	0,720	0,598	0,550	0,321	0,717	0,740	1,358	0,301	1

В нижней строчке таблицы представлены коэффициенты линейной регрессии между всеми атрибутами понятий и уровнем сложности U . Если ограничиться линейной моделью, то после подбора коэффициентов получается, что уровень сложности хорошо коррелирует с величиной U' , рассчитанной по формуле: $U' = 0,7x_1 + x_5 + x_6 + 1,5x_7 + 0,4F + 7$.

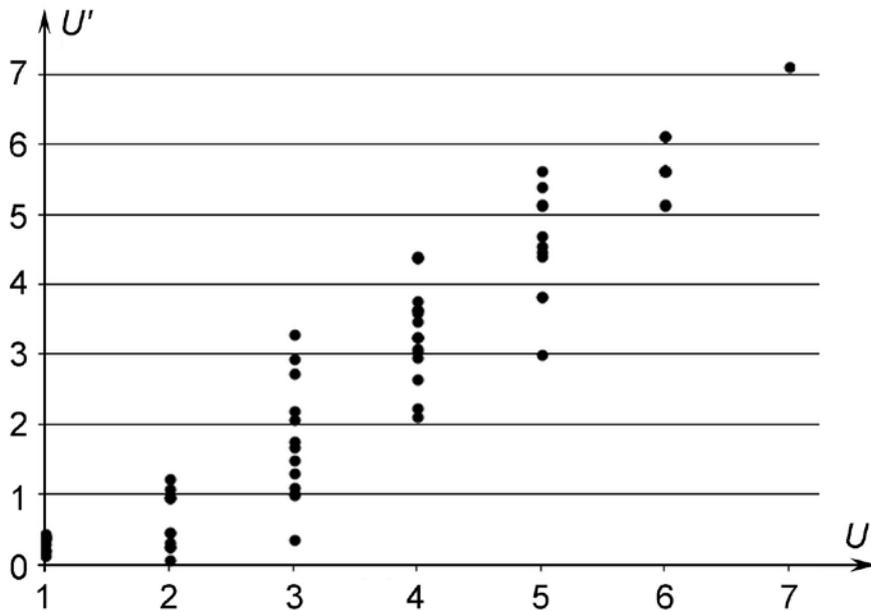


Рис. 6. Облако понятий в пространстве, образованном U и U'

На рис. 6 представлено распределение понятий в пространстве U и U' . Видно, что понятия концентрируются внутри вытянутого эллипса с учетом того, что U принимают целочисленные значения, а U' – рациональные положительные из интервала $[0; 7]$. **Коэффициент корреляции** между U и U' равен 0,94, то есть довольно высок, однако связь не является функциональной. Из рис. 6 видно, что понятия с одинаковыми $U = 4$ имеют U' из интервала от 2 до 4,5, а понятиям с $U = 5$ соответствуют U' от 3 до 5,7 и т. д. Поэтому оценка атрибутов x_1, x_5, x_6, x_7, F и вычисление U' не позволяют точно определить категорию сложности понятия U . Также следует учесть, что оценки атрибутов x_i осуществляются приблизительно, в то время как частотная сложность F определяется точно с помощью частотного словаря.

В свете проведенных рассуждений оценка семантической сложности понятий из совокупности Ω может быть произведена следующим образом:

1. Для каждого слова определяют частотную сложность F . Считается, что термины, не вошедшие в частотный словарь [40], имеют частотную сложность 15.

2. Из Ω выбирают слова, для которых $F \leq 7$; большинство из этих слов знает первоклассник. В текстовом файле выбранные слова разбивают на три-четыре группы, соответствующие $U = 1, 2$ или 3, реже 4.

3. Из Ω выбирают слова, вошедшие в частотный словарь, для которых F больше 7, но меньше 10,5. Разбивают их на три-четыре группы, соответствующие $U = 3, 4$ или 5.

4. Из Ω выбирают слова, не вошедшие в частотный словарь, для которых $F > 10,5$. Используя метод парных сравнений, разбивают эти слова на три группы сложности с $U = 5$ и 6, реже 4. Очень сложные научные термины, не изучаемые в школе (например, «эффект Мессбауэра»), относят к $U = 7$.

5. Объединяют образовавшиеся группы слов так, чтобы совокупность Ω была разделена на 6–7 категорий, соответствующих различным **уровням сложности** U . При этом используют метод парных сравнений, учитывая сложность объяснения данного понятия школьнику, число произносимых слов, степень абстрактности обозначаемого объекта и т. д. Слова из одной категории должны отличаться по сложности в меньшей степени, чем слова из разных категорий.

С помощью рассмотренного выше алгоритма была произведена классификация 80 обычных слов и научных терминов. Получилось так: $U = 1$ ($SC = 1$): гриб, животное, карандаш, картошка, книга, корова, молния, море, тарелка, облако, огонь, птица, солнце; $U = 2$ ($SC = 2$): белок, вещество, время, город, желудок, компьютер, Луна, телевизор, холодильник; $U = 3$ ($SC = 4$): испарение, кислота, кристалл, линза, микрофон, млекопитающее, пищеварение, ракета, сердце, телескоп; $U = 4$ ($SC = 8$): Вселенная, гормон, клетка (биол.), конденсатор, магнитное поле, молекула, озон, процессор, радиоволны, рецепторы,

УФ-лучи, щелочь, электрическое поле, Юпитер; $U = 5$ ($SC = 16$): альфа-частица, атом, бактерия, вирус, галактика, индукция, коацерваты, лейкоциты, нейтрон, пропан, протон, экосистема, ядро атома; $U = 6$ ($SC = 32$): адрон, аллель, альдегид, античастица, бензольное кольцо, гамета, геном, глюон, гравитон, ДНК, изотоп, кварк, масс-спектрограф, орбиталь, парсек, сингулярность, спин, цитозин, ядерная реакция; $U = 7$ ($SC = 64$): эффект Мессбауэра, ядерный магнитный резонанс. В ходе оценки семантической сложности понятий и их атрибутов осуществлялась коррекция соответствующих значений x_i , что позволило уточнить разбиение понятий по уровням сложности U .

Итак, нами проанализирована проблема оценки и учета атрибутов понятий при определении их семантической сложности. Установлено, что семантическая сложность понятия тем меньше, чем выше возможность наблюдения обозначаемого объекта в повседневной жизни и степень его вхождения в тезаурусы выпускников 1, 5 и 11 классов, а также чем чаще данное понятие употребляется в русском языке. Произведена оценка атрибутов понятий, построена математическая модель, связывающая их с **категорией сложности U** . Обнаружено, что определить сложность понятий на основе экспертных оценок их атрибутов довольно затруднительно, потому что: 1) точность оценки атрибутов невелика; 2) связь между атрибутами и сложностью имеет стохастический характер. Для оценки семантической сложности необходимо, учитывая частоту использований понятий в русском языке, распределить исходную совокупность слов Ω по трем группам; понятия в каждой группе следует разделить на 3–4 категории сложности, применяя метод парных сравнений; затем объединить получившиеся классы понятий так, чтобы они соответствовали $SC = 1 - 2 - 4 - 8 - 16 - 32$. Созданная математическая модель помогает уточнить полученные оценки по сложности. Представленные результаты оценивания семантической сложности 80 понятий могут быть использованы в качестве опорных точек для определения сложности других понятий.

1.7. МЕТОД «ВЫЧИСЛЕНИЯ» СЛОЖНОСТИ ПОНЯТИЙ

1. Обсуждение проблемы. Рассмотрим совокупность всех физических понятий из курса физики. Каждое понятие можно объяснить максимально кратким способом так, чтобы использовались слова из тезауруса Z_k ученика k -го класса. Семантическую сложность понятия Π относительно Z_k обозначим через $SC_k(\Pi)$; она равна количеству простых слов из тезауруса Z_k в определении Π . По мере обучения объем тезауруса школьника увеличивается, сложные понятия становятся менее сложными. Поэтому можно утверждать следующее: 1) если $SC_1(\Pi_1) < SC_1(\Pi_2)$, то $SC_k(\Pi_1) \leq SC_k(\Pi_2)$, $k = 2, 3, \dots, 11$, то есть функция $SC_k = f(SC_1)$ является неубывающей; 2) если $k > m$, то $Z_k > Z_m$ и $SC_k(\Pi) \leq SC_m(\Pi)$ ($k, m = 1, 2, \dots, 11$).

Так как физика изучается в старших классах, то сложность понятий будем оценивать относительно тезауруса Z_5 пятиклассника. За **единицу измерения** семантической сложности примем сложность слов, хорошо известных ученику 5 класса и входящих в его тезаурус Z_5 : человек, вода, воздух, стол и т. д. Тогда семантическая сложность абстрактного понятия Π относительно тезауруса Z_5 будет равна наименьшему количеству простых слов из Z_5 , которые позволяют объяснить Π . В табл. 4 приведены примеры понятий 1, 2 и 3-й категорий и соответствующие им интервалы семантической сложности SC , полученные в результате оценок сложности различных понятий.

Таблица 4. Сложность физических понятий

Наблюдаемость	1. Часто	2. Редко	3. Никогда
Объекты, явления	Вода, свет, магнит	Интерференция	Ядерная реакция
Физ. величины	Время, расстояние	Напряжение	Энергия связи
Сем. сложность	$SC \leq 5$	$SC \approx 5 - 25$	$SC \approx 25 - 75$

Ранее был введен новый показатель: **частотная сложность слова** F . Она рассчитывается по формуле: $F = \ln(10^6 / f) - 3,318$, где f – среднее число использований слова в корпусе русского языка, приходящееся на миллион слов и определяемое по частотным словарям [40; 115]. Как правило, чем чаще используется то или иное слово (при прочих равных условиях), тем меньше его сложность. У часто используемых слов F близко к 0; у самых редких слов, встречающихся в словаре, $F = 10,5$.

Установлено, что большинство слов с частотной сложностью $F \leq 7$ хорошо известны ученикам 1–4 класса; они обозначают объекты, часто встречающиеся в повседневной жизни (вода, воздух, свет, Солнце), или величины, которые многократно измерялись (расстояние, площадь, объем, угол, масса). Их сложность для ученика 5 класса считается равной 1–3. Многие из этих понятий входят в тезаурус первоклассника и являются основными, с помощью которых определяются другие, более сложные понятия. Они опираются на результаты чувственного восприятия объектов, поэтому нет необходимости анализировать их определения. Также существуют понятия с $F = 6–7$, образованные путем перечисления составляющих их единичных объектов, встречающихся в повседневной жизни, например: «металлы», «животные», «растения». Будем считать, что их сложность относительно Z_5 равна $SC = 2–5$. Сложность абстрактных понятий, обозначающих измеряемые школьником величины и имеющих частотную сложность $F \leq 7$, лежит в интервале 4–10 в зависимости от количества слов в определениях или объяснениях.

2. Исчисление сложности абстрактных понятий. Формирование в сознании учеников абстрактных понятий, обозначающих не измеряемые школьником физические величины, а также объекты (явления), которые школьник не может пронаблюдать в повседневной жизни или на уроке, осуществляется чисто логически: путем формулирования определений, решения теоретических задач, а также в результате умозрительных обсуждений различных физических

экспериментов, воображаемых объектов и методов их исследования. Для оценки сложности таких понятий, почти не связанных с чувственным опытом, используется **метод вычисления сложностей**. При этом учитывается, что между понятиями существуют логические связи, а их система имеет иерархическую структуру, в которой из абстракций k -го уровня формируются определения абстракций $(k + 1)$ -го уровня сложности. В результате возникают цепочки взаимосвязанных понятий, например: перемещение \Rightarrow скорость \Rightarrow ускорение; сила \Rightarrow работа \Rightarrow мощность \Rightarrow интенсивность; заряд \Rightarrow электрический ток \Rightarrow магнитное поле \Rightarrow магнитная индукция \Rightarrow магнитный поток \Rightarrow электромагнитная индукция \Rightarrow ЭДС индукции; энергия \Rightarrow потенциальная энергия \Rightarrow потенциал \Rightarrow напряжение; сила \Rightarrow сила Кулона \Rightarrow сторонние силы \Rightarrow работа сторонних сил \Rightarrow ЭДС \Rightarrow ЭДС индукции и т. д.

Если в определении понятия P упоминаются понятия P_1, P_2, P_3 , то их назовем **образующими** понятия P . Можно записать: $P = D(P_1, P_2, P_3)$, где D – оператор определения (дефиниции). Понятие P сложнее любого образующего его понятия: $SC(P) > SC(P_1)$, $SC(P) > SC(P_2)$ и т. д. Для каждого понятия i -го уровня можно найти одно или два самых близких по сложности образующих его понятия $(i - 1)$ -го уровня. Например, для понятия «ускорение» самым сложным образующим понятием является «скорость». Тогда: $SC(\text{ускорение}) \approx k \cdot SC(\text{скорость})$, где k из $[1; 1,5]$. Если понятие P немного сложнее образующего его понятия P' , то $k \approx 1,1$; если заметно сложнее, то $k \approx 1,3$; если значительно сложнее, то $k \approx 1,5$. Можно записать:

$$SC(\text{антипротон}) \approx 1,1 \cdot SC(\text{протон}), \quad SC(\text{ускорение}) \approx 1,3 \cdot SC(\text{скорость}),$$

$$SC(\text{магнитный поток}) \approx 1,5 \cdot SC(\text{магнитная индукция}).$$

Рассмотрим цепочку взаимосвязанных понятий, расположенных на разных уровнях сложности: атом \Rightarrow ядро \Rightarrow нуклон \Rightarrow протон \Rightarrow антипротон \Rightarrow антивещество \Rightarrow антигелий. Допустим, что: 1) $SC(\text{атом}) \approx 8$, $SC(\text{антигелий}) \approx 31$; 2) при подъеме на новый уровень сложность увеличивается примерно в K раз. Так как между «антигелием» и «атомом» шесть переходов на более высо-

кий уровень, то $8K^6 \approx 31$ и $K \approx 1,25$. Получается: $SC(\text{ядро}) \approx 8 \cdot 1,25 \approx 10$, $SC(\text{нуклон}) = 8 \cdot 1,25^2 \approx 13$, $SC(\text{протон}) \approx 16$, $SC(\text{антипротон}) \approx 20$, $SC(\text{антивещество}) \approx 24$. Этот метод можно распространить на понятия, не связанные определениями. Например, очевидно, что $SC(\text{резистор}) > SC(\text{фоторезистор}) > SC(\text{диод}) > SC(\text{транзистор})$. Если $SC(\text{резистор}) \approx 6$, $SC(\text{транзистор}) \approx 15$, то получается $7K^3 \approx 15$, $K \approx 1,29$. Значит, $SC(\text{фоторезистор}) \approx 9$, $SC(\text{диод}) \approx 12$.

Возможен другой подход, когда к сложности образующего понятия прибавляется некоторое целое m из интервала $[1; 5]$, например: $SC(\text{ускорение}) \approx SC(\text{скорость}) + m$. При этом число m показывает, сколько простых слов с $SC \approx 1$ нужно добавить к понятию «скорость», чтобы дать определение ускорению. Переход на следующий уровень соответствует увеличению сложности на величину m , приблизительно равную 2–5 (например: «скорость – путь делить на время»). Это объясняется тем, что система научных понятий долго эволюционировала в соответствии с **принципом экономии мышления**, из которого следует, что появление нового понятия оправдывает себя в том случае, когда его определение сложнее самого сложного из образующих понятий на 2–5 слов. Например, $SC(\text{ускорение}) \approx SC(\text{скорость}) + 3$.

Возможны более сложные ситуации, когда в определение понятия P входят несколько независимых и достаточно сложных понятий. Например, отражение света – резкое изменения направления распространения света на границе раздела двух сред. Поэтому:

$$SC(\text{отражение света}) \approx SC(\text{свет}) + SC(\text{распространение}) + \\ + SC(\text{направление}) + SC(\text{оптическая среда}) + 3.$$

Или другой пример: интенсивность – мощность, переносимая волной через площадку единичной площади, расположенную перпендикулярно направлению распространения волны. Получаем:

$$SC(\text{интенсивность}) \approx SC(\text{мощность}) + SC(\text{волна}) + SC(\text{площадь}) + \\ + SC(\text{перпендикулярно}) + SC(\text{распространение}) + 3.$$

При этом следует учитывать встречаемость обозначаемого объекта в повседневной жизни, его принадлежность к микро-, макро- и мегамиру, степень абстрактности понятия, а также степень вхождения термина в тезаурус учащихся начальной, базовой и старшей школы.

Пример подобной цепочки понятий представлен ниже:

```

zaryad:=6;
el_pole:=(4*x+zaryad)=10;
magn_pole:=3*x+el_pole=13;
katush_indukt:=(provodnik+3*x)/1,5=4;
magn_potok:=magn_pole+x4=17;
em_indukciya:=magn_potok+el_tok+x3=31;
generator_per_napr:=em_indukciya+x3=34/1,5=21;
eds_indukci:=em_indukciya+x5=36;
induktivnost:=magn_potok+x5=22;
mgd_generat:=plazma+magn_pole+x3=43;
eds_indukci:=em_indukciya+x5=36;
el_m_pole:=(el_pole+magn_pole+2*x)=25;
emv:=(3*x+el_m_pole+volna)=34;
el_mgn_sili:=(el_m_pole+3*x)=28;
em_koleban:=el_tok+koleban+x2=18;
indukc_tok:=em_indukciya+5=36;
    
```

3. Обоснование метода и получающиеся результаты. При использовании метода вычисления сложности следует помнить, что сложность понятия P часто меньше суммы сложностей образующих его понятий. Допустим, понятие 3-го уровня $P3$ основывается на понятиях 2-го уровня $P2.1$ и $P2.2$ и двух понятиях 1-го уровня. При этом понятия $P2.1$ и $P2.2$ определяются через понятия 1-го уровня (рис. 7). Если под сложностью понятия понимать сумму сложностей всех слов, составляющих его определение, то $SC(P2.1)=7$, $SC(P2.2)=7$, $SC(P3) = SC(P2.1) + SC(P2.2) + 2 = 16$. При этом некоторые слова 1-го уровня входят в оба определения понятий 2-го уровня. Для того чтобы объяснить понятие $P3$, достаточно знать не менее 12 понятий 1-го уровня. Тогда $SC_{\min}(P3) = 12$, $SC_{\max}(P3) = 16$, среднее значение $SC(P3) = 14$.

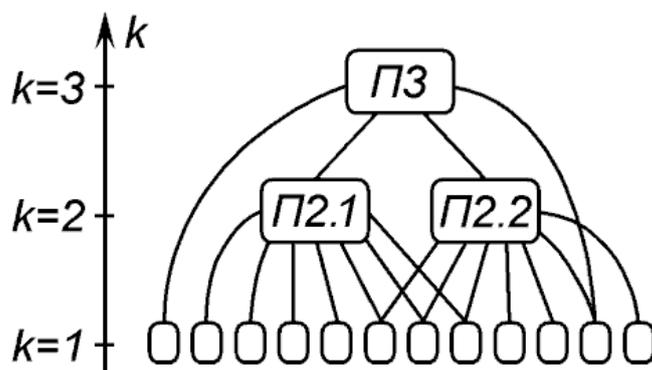


Рис. 7. К оценке сложности понятий

В некоторых случаях определение понятия Π содержит связанные между собой понятия Π_1, Π_2, Π_3 , каждое из которых образуется из понятий Π_1', Π_2', Π_3' . Рассмотрим понятие «атом антигелия» (рис. 8). По определению, это атом, состоящий из ядра, которое включает в себя два антипротона и два антинейтрона, вокруг которого движутся два позитрона. Антипротоны, антинейтроны и позитроны – это античастицы, соответствующие протонам, нейтронам и электронам, поэтому сначала необходимо дать определение этим понятиям. Объяснить, что электрон – микрочастица с определенными массой и зарядом, удастся после введения понятий «частица», «масса», «заряд». Это относится к протону и нейтрону. Если оценить сложность понятий, используемых для определения термина «антигелий», и просуммировать их, то получающийся результат окажется завышенным в полтора-два раза, потому что определения этих понятий содержат одни и те же термины (частица, масса, заряд).

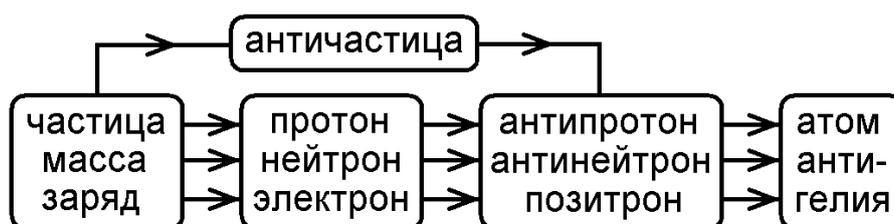


Рис. 8. К вопросу об оценке сложности абстрактного понятия

Допустим, что $\Pi = D(P)$, то есть понятие Π образовано из множества понятий $P = \{P_1, P_2, \dots, P_m\}$, причем понятие P_1 образуется из множества понятий Q_1 , понятие P_2 – из множества понятий Q_2 и т. д. ($P_1 = D(Q_1)$, $P_2 = D(Q_2)$, ...). Если попарное пересечение любых двух множеств Q_1, Q_2, \dots равно \emptyset ($Q_1 \cap Q_2 = \emptyset$, $Q_1 \cap Q_3 = \emptyset$ и т. д.), то понятия P_k ($k = 1, 2, \dots, m$) являются независимыми и $SC(\Pi) \approx SC(P_1) + SC(P_2) + \dots + SC(P_m) + \alpha$, где α – небольшое число (от 1 до 5). Если хотя бы для одной пары множеств Q_k пересечение не равно \emptyset ($Q_i \cap Q_j \neq \emptyset$), то соответствующие понятия P_i и P_j не являются независимыми и $SC(\Pi) < SC(P_1) + SC(P_2) + \dots + SC(P_m)$. Таким образом, если образующие понятия P_k в своих определениях содержат одинаковые термины, то сложность образованного из них понятия Π меньше суммы их сложностей.

При оценке ДС текста получается список из N научных понятий, сложности которых SC_i ($i = 1, 2, \dots, N$) необходимо определить. Это можно сделать так: 1) для каждого понятия Π сформулировать самое простое определение и выявить образующие его понятия; 2) составить уравнения, связывающие сложность Π со сложностями одного, двух или трех самых сложных образующих его понятий; 3) создать компьютерную программу, с помощью которой вычислить приблизительные значения сложностей SC_i различных понятий; 4) с учетом встречаемости обозначаемого объекта в повседневной жизни, степени абстрактности понятия, а также вхождения термина в тезаурус школьника, проанализировать и подкорректировать полученные результаты так, чтобы они не противоречили здравому смыслу.

Этот подход позволяет избежать **логических противоречий**, возникающих при оценке большого количества (более 100) научных понятий из различных разделов физики, когда сложность понятия k -го уровня ошибочно оценивается выше сложности понятия, находящегося на $(k + 1)$ или $(k + 2)$ уровне. Для оценки ДС большой совокупности понятий нами использовались компью-

терная программа на *ABCPascal*, содержащая формулы типа: $uskorenie:=skorost+3$, $moshnost:=rabota+3$, $diod:=1,3*fotoresistor$.

Нами установлено, что сложность большинства терминов, обозначающих физические объекты и явления (интерференция, аннигиляция, глюон, кварк и т. д.), относительно тезауруса Z_5 не может превышать 50. Это означает, что их сущность можно объяснить, используя не более 50 слов, которые хорошо известны пятикласснику. Сложность понятий, обозначающих физические величины (спектральная плотность интенсивности излучения), достигает 75, а некоторых математических понятий (циркуляция, дивергенция, ротор) – 150 и больше.

С помощью компьютерной программы ПР-3 (см. Приложение) была произведена оценка семантической сложности более 50 физических понятий относительно Z_5 . Получились следующие результаты: расстояние: $SC \approx 1$; время, линза, сложить, свет, тело, угол: $SC \approx 2-3$; масса, металл, сила, температура, умножить: $SC \approx 3-4$; заряд, материя, резистор, спектр: $SC \approx 5-7$; атом: $SC \approx 7-9$; атомное ядро, молекула, спектрометр, фотон, электрон: $SC \approx 9-11$; нуклон: $SC \approx 12-14$; нейтрон, протон: $SC \approx 15-17$; интерференция, диод, дифракция: $SC \approx 11-13$; магнитное поле, электрическое поле: $SC \approx 12-14$; аннигиляция, античастица, энергия: $SC \approx 13-15$; потенциальная или кинетическая энергия, ядерный распад: $SC \approx 14-18$; дейтерий, магнитный поток: $SC \approx 15-19$; мощность, радиоактивность: $SC \approx 17-21$; антипротон, ядерные силы: $SC \approx 18-22$; атом гелия, электромагнитное поле, электромагнитные силы: $SC \approx 20-24$; антивещество: $SC \approx 22-26$; электромагнитная волна: $SC \approx 23-29$, атом антигелия: $SC \approx 27-33$; электромагнитная индукция: $SC \approx 28-34$; гамма-излучение: $SC \approx 31-37$; ЭДС индукции: $SC \approx 32-40$; индукционный ток: $SC \approx 31-37$; удельная энергия связи: $SC \approx 39-47$; интенсивность излучения: $SC \approx 47-57$; спектральная плотность интенсивности излучения: $SC \approx 61-75$. Последнее понятие является одним из сложнейших в школьном курсе физики.

1.8. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СЛОЖНОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКИХ ПОНЯТИЙ

1. Обсуждение проблемы. До сих пор нами рассматривались понятия с не очень высоким уровнем абстрактности, обозначающие физические объекты и явления. Однако в учебных текстах часто используются сложные математические понятия (производная, интеграл, тензор и т. д.), образованные от других абстракций. Поэтому для оценки сложности УТ необходимо: 1) выработать общий подход к оценке дидактической сложности математических понятий и высказываний, основанный на анализе их определений; 2) оценить сложность наиболее часто встречающихся понятий и создать базу сравнения для оценки других математических понятий. Обсуждаемые вопросы перекликаются с проблемами определения когнитивной сложности различных объектов, использования математических методов в гуманитарных исследованиях, измерения информативности и сложности учебных текстов, а также с идеями, представленными автором в монографиях [43; 55]. Проводимые рассуждения опираются на работы Б. М. Величковского [11], Е. Н. Князевой [30], С. В. Ракитиной [105] (когнитивная сложность); Д. П. Клейносова [29], Р. Р. Гайсина [14], П. В. Ополева [98] (сложность систем); В. Davis и D. Sumara [122] (сложность дидактических систем); Т. В. Батуры [5], О. В. Зеркала [25] (автоматическая обработка текстов).

Дидактическая сложность (ДС) понятия является его объективной характеристикой, от которой зависит трудность его усвоения и использования школьником или студентом. Семантический подход предполагает выделение в тексте или объяснении учителя элементарных смысловых единиц (слов, простых утверждений) и вычисление суммы их сложностей [55]. **Когнитивная сложность** математических высказываний зависит от сложности, количества и

разнообразия составляющих его понятий и связей между ними, поэтому для ее оценки необходимо оценить сложность математических понятий.

Семантическую сложность слова (понятия, термина) можно охарактеризовать **коэффициентом свернутости информации** (КСИ) относительно выбранного уровня знаний Z . Он показывает степень концентрации информации в соответствующем термине и равен количеству слов в объяснении понятия Π , содержащем только слова из тезауруса Z . Для его нахождения необходимо дать определение D понятию Π , а также понятиям Π_1, Π_2, \dots , которые входят в D , используя при этом слова из тезауруса Z ; а затем следует просуммировать сложности всех слов в получившемся тексте.

Будем считать, что определение D соответствует тезаурусу Z , если оно состоит только из слов, входящих в тезаурус Z , и слов, объясненных в данном тексте. Дополним определение D предложениями, объясняющими сущность используемых понятий и состоящими из слов со сложностью 1; количество этих слов приблизительно равно сложности определения D . За условную единицу информации (УЕИ) примем количество информации в простых словах (воздух, ходить, синий). Однокоренные слова в сознании человека не хранятся отдельно, а образуют единое психолингвистическое образование – концепт. Так как каждому концепту соответствует одно значение и целое множество различных терминов, применяемых в различных модификациях, то их КСИ примерно одинаковы. **Мерой сложности** понятия будем считать количество слов, которое необходимо произнести, чтобы дать определение понятию, используя термины, входящие в тезаурус Z_5 пятиклассника. Число связей в предложении пропорционально количеству значащих слов и учитывается автоматически. Сложность логической связи такая же, как у слов «значит» или «поэтому» (SC (значит) или SC (поэтому)), и считается равной трем, что существенно меньше SC (логарифм) или SC (интеграл). Если текст насыщен научными терминами, у которых КСИ достигает 30 и выше (до 150), то вклад подобных логических связей в дидактическую сложность текста мал.

Учебный текст – система из N соединенных между собой элементов, некоторые из которых идентичны. Сложность УТ приблизительно равна сумме сложностей всех элементов и связей между ними. При таком подходе может быть сформулирован следующий тезис: если текст T_1 , содержащий термины из множества A , имеет сложность $SC(T_1)$, а текст T_2 , содержащий термины из множества B , имеет сложность $SC(T_2)$, то объединение этих текстов при отсутствии логических связей между ними имеет сложность $SC(T_1 \cup T_2)$, которая меньше или равна $SC(T_1) + SC(T_2)$. Знак равенства соответствует случаю, когда A и B не пересекаются ($A \cap B = \emptyset$); когда A и B имеют общие элементы ($A \cap B \neq \emptyset$), $SC(T_1 \cup T_2)$ может быть меньше $SC(T_1) + SC(T_2)$. Например, оба текста содержат слово «интеграл», сложность которого равна $SC(\text{интеграл})$. При вычислении $SC(T_1)$ и $SC(T_2)$ по отдельности каждый из текстов T_1 и T_2 следует дополнить определением интеграла, и в сумму $SC(T_1) + SC(T_2)$ оно войдет дважды. В общем тексте $T_1 \cup T_2$ определение интеграла добавляется один раз, поэтому $SC(T_1 \cup T_2)$ меньше $SC(T_1) + SC(T_2)$.

Применим рассмотренный выше метод к оценке некоторых важных математических понятий. Будем считать, что для пятиклассника:

$$SC(\text{расстояние}) \approx SC(\text{сложить}) \approx SC(\text{вычесть}) \approx 1;$$

$$SC(\text{число}) \approx SC(\text{переменная}) \approx SC(\text{перпендикуляр}) \approx 1,5;$$

$$SC(\text{делить}) \approx SC(\text{соответствует}) \approx SC(\text{вектор}) \approx SC(\text{умножить}) \approx SC(\text{модуль}) \approx SC(\text{стремится}) \approx SC(\text{приращение}) \approx SC(\text{координата}) \approx 2;$$

$$SC(\text{ось координат}) \approx 3;$$

$$SC(\text{синус}) \approx SC(\text{косинус}) \approx 5.$$

Создадим компьютерную программу, в которой закодируем уравнения сложности оцениваемых понятий с помощью операторов типа: $\text{integral} := \text{funkciya} + \text{proizvodnaya} + 5$. С ее помощью последовательно вычислим сложности понятий $SC(\Pi)$. Речь идет о нахождении нижней границы $SC(\Pi)$, поэтому при анализе определений сложность каждого термина учитывается не более

одного раза. При повторной встрече с тем же термином он учитывается как обычное слово.

2. Результаты оценки сложности понятий. Нами использовалась программа, аналогичная программе ПР-3 (см. Приложение). Получилось следующее (в фигурных скобках заключены слова, сложность которых учитывается): **Аргумент** – {независимая переменная}: $SC(\text{аргумент}) \approx 2,5$. **Функция** – зависимость переменной y от аргумента x , при котором каждому значению аргумента соответствует не более одного значения переменной y : $SC(\text{функция}) \approx 16$. **Предел функции** {при аргументе x , стремящемся к a , равен b , если при x , стремящемся к a , разность $f(x) - b$ стремится к нулю}: $SC(\text{предел функции}) \approx 32$. **Производная функции** – {предел отношения приращения функции к соответствующему приращению аргумента, когда приращение аргумента стремится к нулю}: $SC(\text{производная}) \approx 65$. **Частная производная** функции по x – {производная по x , взятая в предположении, что все остальные переменные имеют фиксированные значения}: $SC(\text{частная производная}) \approx 76$. **Интеграл (первообразная)** от $f(x)$ – {функция $F(x)$, производная которой равна функции $f(x)$ }: $SC(\text{интеграл}) \approx 86$.

Проекция вектора – {разность координат конца и начала вектора}: $SC(\text{проекция вектора}) \approx 7$. **Орт** – {вектор единичной длины, направленный вдоль координатной оси}: $SC(\text{орт}) \approx 10$. **Скалярное произведение** векторов: 1) определение: $(\vec{a}, \vec{b}) = ab \cos \alpha$ – {произведение модуля первого вектора, модуля второго вектора и косинуса угла между ними}: $SC_1(\text{скалярное произведение}) \approx 17$; 2) высказывание: $(\vec{a}, \vec{b}) = a_x b_x + a_y b_y + a_z b_z$ {проекцию первого вектора умножить на проекцию второго вектора плюс...}: $SC_2(\text{скалярное произведение}) \approx 40$.

Векторное произведение: 1) определение: $\vec{c} = [\vec{a}, \vec{b}]$, $c = ab \sin \alpha$ – {произведение модуля одного вектора, модуля другого вектора и синуса угла между ними; направление совпадает с движением правого винта (при повороте по часовой стрелке винт движется от нас) при его вращении от первого вектора ко второму

по кратчайшему пути}: SC_1 (векторное произведение) ≈ 35 ; 2) высказывание: {орт умножить на скобку, проекция вектора умножить на проекцию вектора минус проекция вектора умножить на проекцию вектора скобка, плюс ... }:

$$[\vec{a}, \vec{b}] = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ a_x & a_y & a_z \\ b_x & b_y & b_z \end{vmatrix} = \vec{i}(a_y b_z - a_z b_y) + \vec{j}(a_z b_x - a_x b_z) + \vec{k}(a_x b_y - a_y b_x).$$

Получается (рис. 9): SC_2 (векторное произведение) = 63.

Понятие «градиент в данной точке скалярного поля» или «градиент функции в точке». Скалярное поле – {совокупность точек пространства, каждой из которых соответствует значение функции $f(x, y, z)$, зависящее от координат}. **Градиент скалярного поля** в данной точке – {вектор, направленный в сторону наибо́льшего возрастания функции; его модуль равен пределу отношения приращения функции Δf к величине смещения Δl в этом направлении, когда смещение стремится к нулю}. Получаем: SC (градиент) ≈ 75 .

Градиент функции (оператор набла ∇f) в декартовых координатах:

$$\text{grad } f = \vec{i} \frac{\partial f}{\partial x} + \vec{j} \frac{\partial f}{\partial y} + \vec{k} \frac{\partial f}{\partial z},$$

то есть {частная производная по аргументу x умножить на орт \vec{i} плюс частная производная по аргументу y умножить на орт \vec{j} плюс частная производная по аргументу z умножить на орт \vec{k} }: SC_1 (набла) ≈ 109 . Можно сказать короче: **градиент** – {частная производная функции по аргументу x умножить на соответствующий орт, плюс то же самое для аргумента y , плюс то же самое для аргумента z }. Тогда SC_2 (набла) ≈ 102 .

Понятие «дивергенция в данной точке векторного поля». Векторное поле $\vec{a}(x, y, z)$ – {совокупность точек пространства, каждой из которых соответствует вектор, зависящий от координат}. Поток – {интеграл от произведения модуля вектора \vec{a} , площади элементарной площадки и косинуса угла между вектором \vec{a} и вектором нормали к площадке}. **Дивергенция вектора** в точке

B – {предел отношения потока вектора \vec{a} через замкнутую поверхность, охватывающую точку B , к объему, если объем стремится к нулю}: SC_1 (дивергенция) ≈ 164 . С другой стороны, **дивергенция вектора \vec{a}** : $div \vec{a} = (\nabla, \vec{a})$ – скалярное произведение оператора набла на вектор \vec{a} : SC_2 (дивергенция) ≈ 144 .

$$S(\text{аргумент}) = S(\text{переменная}) + 1 = \underline{2.5};$$

$$S(\text{функция}) = S(\text{переменная}) + S(\text{аргумент}) + S(\text{соответ.}) + 10 = \underline{16};$$

$$S(\text{предел}) = S(\text{аргумент}) + S(\text{стремится}) + S(\text{функция}) + 11 = \underline{32};$$

$$S(\text{производная}) = S(\text{предел}) + S(\text{делить}) + S(\text{функция}) + S(\text{соответ.}) + S(\text{приращение}) + S(\text{аргумент}) + S(\text{стремится}) + S(\text{число}) + 5 = \underline{65};$$

$$S(\text{частная производная}) = S(\text{производная}) + S(\text{переменная}) + 10 = \underline{76};$$

$$S(\text{интеграл}) = S(\text{функция}) + S(\text{производная}) + 5 = \underline{86};$$

$$S(\text{проекция вектора}) = S(\text{вектор}) + S(\text{координата}) + 3 = \underline{7};$$

$$S(\text{орт}) = S(\text{вектор}) + S(\text{коорд. ось}) + 5 = \underline{10};$$

$$S(\text{скалярн. произвед. 1}) = S(\text{умножить}) + S(\text{модуль}) + S(\text{вектор}) + S(\text{косинус}) + 6 = \underline{17};$$

$$S(\text{скалярн. произвед. 2}) = S(\text{проекция}) + S(\text{умнож.}) + 31 = \underline{40};$$

$$S(\text{векторн. произвед. 1}) = S(\text{модуль}) + S(\text{вектор}) + S(\text{умнож.}) + S(\text{синус}) + 24 = \underline{35};$$

$$S(\text{векторн. произвед. 2}) = S(\text{орт}) + S(\text{проекция}) + S(\text{умнож.}) + 44 = \underline{63};$$

$$S(\text{градиент}) = S(\text{вектор}) + S(\text{функция}) + S(\text{модуль}) + S(\text{приращение}) + S(\text{соответ.}) + S(\text{координата}) + S(\text{предел}) + S(\text{стремится}) + S(\text{делить}) + 13 = \underline{75};$$

$$S(\text{набла 1}) = S(\text{частн. производн.}) + S(\text{координата}) + S(\text{орт}) + S(\text{умнож.}) + 11 = \underline{109};$$

$$S(\text{набла 2}) = S(\text{частн. производн.}) + S(\text{аргумент}) + S(\text{соответ.}) + S(\text{орт}) + S(\text{умнож.}) + 9 = \underline{102};$$

$$S(\text{дивергенция 1}) = S(\text{вектор}) + S(\text{координата}) + S(\text{интеграл}) + S(\text{умнож.}) + S(\text{модуль}) + S(\text{косинус}) + S(\text{перпенд.}) + S(\text{предел}) + S(\text{делить}) + S(\text{стремится}) + 28 = \underline{164};$$

$$S(\text{дивергенция 2}) = S(\text{скалярн. произвед.}) + S(\text{набла}) + S(\text{вектор}) = \underline{144};$$

$$S(\text{ротор 1}) = S(\text{вектор}) + S(\text{соответ.}) + S(\text{координата}) + S(\text{интеграл}) + S(\text{умнож.}) + S(\text{модуль}) + S(\text{косинус}) + S(\text{перпенд.}) + S(\text{предел}) + S(\text{делить}) + S(\text{стремится}) + 37 = \underline{175};$$

$$S(\text{ротор 2}) = S(\text{векторн. произвед.}) + S(\text{набла}) + S(\text{вектор}) = \underline{174}.$$

Рис. 9. Результаты оценки когнитивной сложности понятий

Понятие «ротор в данной точке векторного поля». Векторное поле $\vec{a}(x, y, z)$ – {совокупность точек пространства, каждой из которых соответствует вектор, зависящий от координат}. Циркуляция – {интеграл произведения модуля вектора \vec{a} на элементарную длину и косинус угла между ними}. **Ротор** – {вектор, модуль которого равен максимальному значению предела отношения циркуляции вектора \vec{a} вдоль замкнутого контура к площади, ограниченной контуром, когда площадь стремится к нулю; направление перпендикулярно плоскости контура и связано с направлением обхода правилом правого винта}.

Получаем: SC_1 (ротор вектора) ≈ 175 . В декартовых координатах **ротор вектора** $rot \vec{a} = [\nabla, \vec{a}]$ – векторное произведение набла на вектор \vec{a} : SC_2 (ротор вектора) ≈ 174 .

На рис. 9 представлены результаты оценивания сложности важнейших математических понятий. То, что определения для скалярного и векторного произведений превышают соответствующие высказывания примерно в 2 раза, объясняется объективной сложностью формул, содержащих суммы произведений проекций векторов для трех координатных осей. Оценка сложности этих формул была необходима для определения сложности понятий «градиент», «дивергенция», «ротор» и соответствующих формул для декартовых координат. Результаты позволяют сравнивать понятия по сложности; из них, в частности, следует, что SC (интеграл) примерно в 5,4 раза превышает SC (функция), а SC (ротор) в 2,7 раза больше SC (производная). Это согласуется с закономерностью: чем ниже частотность использования термина, тем выше его информативность, а значит, и когнитивная сложность. Полученные результаты фактически представляют собой **базу сравнения**, позволяющую оценить сложность других математических терминов. Это облегчает решение проблемы оценки сложности учебных тестов, содержащих математические высказывания.

2. СЛОЖНОСТЬ УЧЕБНЫХ ТЕКСТОВ

2.1. ОЦЕНИВАНИЕ ДИДАКТИЧЕСКОЙ СЛОЖНОСТИ УЧЕБНЫХ ТЕКСТОВ

1. Обсуждение проблемы. Одной из актуальных задач дидактики является разработка метода оценки дидактической сложности (ДС) учебных текстов (УТ) и их фрагментов. От соотношения объективной сложности изучаемых вопросов и уровня знаний (или интеллектуальных умений) ученика зависят трудность и результат его изучения. ДС учебного материала определяет количество усилий и времени, требуемых для его изучения. Оценка ДС учебных текстов поможет расположить их в порядке возрастания сложности и обеспечить соответствие ДС учебного материала уровню подготовки обучаемых. Это также позволит оценить и сравнить изучаемые параграфы и темы по степени влияния на умственную нагрузку школьников, повысить их мотивацию и результативность обучения. Применение методики для оценки сложности письменных работ обучаемых поможет правильно определить уровень их учебных достижений. Проводимые далее рассуждения опираются на идеи известных ученых по следующим направлениям: 1) семантическая информация: В. Б. Вяткин [13], О. В. Зеркаль [25], И. П. Кузнецов [36]; 2) тезаурусный подход: Н. В. Лукашевич [37], Вал. А. Луков, Вл. А. Луков [38; 39], А. А. Мирошниченко [88]; 3) сложность систем: Р. Р. Гайсин [14], Д. П. Клейносов [29]; 4) трудность и сложность учебных текстов: А. В. Гидлевский [17], А. С. Кисельников [28], О. Е. Наймушина и Б. Е. Стариченко [94]; 5) теория учебника, сложность и информативность УТ: В. П. Беспалько [6], Я. А. Микк [87]; 6) контент-анализ тек-

стов: М. D. White, E. E. Marsh [131]; 7) автоматизированная оценка сложности текстов: И. В. Оборнева [15], М. М. Невдах [95].

Учебный текст (УТ) является многомерным объектом, характеризующимся целой совокупностью параметров [28; 110]: объемом, средней длиной слов и предложений, количеством формул, средним количеством символов в формуле, семантической сложностью используемых понятий и т. д. Проблема оценки дидактической сложности УТ относится к мягким, плохо формализуемым проблемам и требует применения методов многокритериального анализа. В рамках используемого подхода учебный текст можно охарактеризовать [55]: 1) **дифференциальной (удельной) дидактической сложностью (ДДС)**, которая показывает трудность понимания отдельных терминов и элементарных высказываний; она зависит от степени абстрактности используемых терминов, средней информационной емкости используемых понятий, их вхождения в тезаурус школьника, сложности математических, химических и иных формул, структурной сложности предложений; 2) **интегральной (общей) дидактической сложностью (ИДС)**, показывающей трудоемкость изучения всего УТ; она равна сумме сложностей всех слов, составляющих текст. При этом: $ИДС = ДДС \cdot V$, где V – объем текста в словах. Плотность семантической информации в тексте равна среднему коэффициенту свернутости $КСИ_T = SC_T / V$, показывающему среднее содержание смысловой информации в одном термине.

Чтобы определить ДС текста, нужно по отдельности оценить его **текстовую и формульную сложности**, найти их взвешенную сумму (чтобы учесть долю формул) и умножить на структурную сложность текста. Формульная сложность характеризует трудность понимания математических, химических и иных формул, присутствие которых в УТ затрудняет его усвоение, так как студент вынужден заменять используемые символы соответствующими научными понятиями, разбираться в математических операциях и т. д. Структурная сложность предложений вычисляется по формуле: $C = D_{СЛ} \ln(D_{ПР} + 1)$, где $D_{СЛ}$ – среднее число слогов в словах (не считая союзов, предлогов), $D_{ПР}$ – среднее

число слов в предложении [55]. Выпускник школы легко прочтет предложение из 7 слов при средней длине слова 3 слога; его структурная сложность $C_0 = 3 \ln(8) = 6,24$.

Таким образом, необходимо разработать **метод измерения дифференциальной дидактической сложности УТ**, характеризующей трудность восприятия и понимания предложений, и апробировать его на различных учебных текстах. Поставленная задача перекликается с проблемами исследования плохо формализуемых объектов, измерения когнитивной сложности различных научных понятий, оценки общей информативности учебных текстов и средней плотности информации в них и является развитием подхода, рассмотренного автором в работах [54; 55; 127; 128].

Количество информации в УТ зависит от его объема и степени абстрактности используемых понятий, которые характеризуется **коэффициентом свернутости информации (КСИ)**. Вообще, **свертывание информации** – это процесс ее аналитико-синтетической переработки, приводящий к уменьшению физического объема сообщения без потерь информативности. При этом получается «содержательно насыщенное» знание, происходит уплотнение и сжатие информации, создание новых форм научного знания с большей информационной емкостью. Свертывание и уплотнение знаний сопровождается «кумуляцией» информации, уменьшением ее объема путем более краткого, обобщенного изложения, приводит к образованию новых семантических единиц и их проецированию на другие области знаний.

Информативность предложения относительно тезауруса Z равна минимальному количеству простых слов (со сложностью $SC = 1$) из тезауруса Z , передающих ту же полезную информацию. Среднее арифметическое значение КСИ всех слов в УТ приблизительно равно средней информационной свернутости текста, средней информативности слова или **средней плотности информации** в данном УТ. Желательно, чтобы уровень Z , относительно которого измеряются информативности текстов, не превышал тезауруса, требуемого для по-

нимания самого простого УТ из анализируемой совокупности текстов. Тогда семантические сложности текстов SC будут больше 1.

Перед оценкой SC некоторые тексты необходимо дополнить пояснениями. Если, переходя от одного высказывания к другому, ученик должен догадываться о каких-то сложных фактах (принципах, законах), не упомянутых в объяснении, то такой текст называется **напряженным**. Например, читая учебник по обществознанию, ученик может понять смысл всех слов в предложении, но не осознать заключенную в нем мысль. Правильно составленный УТ не требует большого напряжения от ученика, так как вся важная информация содержится в предложениях явно. Если УТ является напряженным, то соответствующие смысловые пустоты следует дополнить пояснениями так, чтобы ученик с тезаурусом Z мог без напряжения его понять. В этом случае количество информации, представленной неявно, будет близко к нулю, и им можно пренебречь. Трудность понимания одного предложения или фрагмента УТ определяется средней плотностью семантической информации в нем.

2. Дидактическая сложность и закон Хика. Вообще, дидактическая сложность УТ может быть найдена как произведение структурной сложности S_{str} , учитывающей средние длины используемых слов, формул и предложений, на семантическую сложность SC_T , зависящую от смыслового содержания текстовой, формульной и графической составляющих УТ. Структурная сложность одного предложения или текста может быть охарактеризована произведением средней длины слова (в слогах) на логарифм от среднего числа слов в предложении, которое увеличено на 1. Эта формула согласуется с **законом Хика**: время реакции человека (которое пропорционально сложности задачи) на N раздражителей (слов в предложении) пропорционально $\ln(N + 1)$. Чем больше информации поступает в мозг человека, тем больше времени требуется для ее обработки при прочих равных условиях. Оценка семантической сложности фактически состоит в определении общей информативности текста и коэффи-

циента свернутости информации относительно некоторого заданного тезауруса Z (например, уровня знаний пятиклассника).

Мозг – это сложная нейросеть, оперирующая понятиями (концептами); он воспринимает и порождает информацию в виде последовательности суждений, состоящих из «обычных» слов и научных терминов. Поэтому количество смысловой информации и семантическую сложность УТ следует измерять не в битах, а в словах [55]. За **условную единицу смысловой информации (УЕИ)** имеет смысл взять количество информации, содержащейся в ежедневно используемых человеком словах, обозначающих конкретные объекты, их признаки или действия и не требующих объяснения: птица, темный, светит и т. д. Это удобно с практической точки зрения потому, что: 1) слово – основная структурно-семантическая единица языка; 2) научные термины и обычные слова отражают объективные особенности восприятия человеком окружающего мира; 3) количество усвоенных учеником понятий можно оценить методом тестирования; 4) объем текста в словах пропорционален времени его чтения или переказа на уроке.

В УТ может быть реализован **формально-логический способ изложения** материала, он может иметь высокую насыщенность терминами и содержать логические рассуждения, являющиеся результатом выдвижения гипотез, объяснения, логического вывода, доказательства, анализа фактов, подведения итогов и т. д. Часто эти операции выделяются автором УТ с помощью соответствующих слов: поэтому, следовательно, предположим, докажем и т. п. Чтобы при измерении информативности УТ учесть его логическую структуру, необходимо выявить логические связи и вместо них в текст добавить слова «потому что» или «следовательно». Для оценки SC_T существенным является количество связей, а не то, какие именно высказывания ими соединены.

2. О «мягких» и «жестких» текстах. Сложность понятия зависит от контекста, в котором оно употребляется. Рассмотрим два утверждения: «все тела состоят из атомов» и «ядро атома кислорода содержит 8 протонов и 8 нейтро-

нов». Для понимания первого предложения ученику достаточно знать, что атом – мельчайшая частица, характеризующаяся определенными размерами и массой. Второе предложение будет понято, если ученик знает строение атома. Другой пример: «при приближении к лампе интенсивность света увеличивается». Для понимания этого утверждения не нужно знать точное определение интенсивности световой волны. В то же время для решения некоторых задач (например, для определения числа фотонов, падающих на 1 см² поверхности за 1 с) ученик должен понимать, что «интенсивность – это мощность, переносимая волной через площадку единичной площади, расположенную перпендикулярно лучу».

В связи с этим рассмотрим две принципиально различные ситуации:

1. Текст – мягкая система, состоящая из качественных рассуждений, для его понимания не обязательно хорошо разбираться в значении того или иного термина, достаточно иметь интуитивные представления о нем. Чтобы понять несложные качественные рассуждения о Вселенной (атоме, биологической клетке, металлах и т. д.), нет необходимости знать строгие определения обсуждаемых объектов, достаточно приблизительно представлять, что Вселенная – это весь окружающий мир, включающий в себя галактики, звезды, планеты и т. д. Ученик 3 класса все равно поймет утверждение «Ученые давно задумывались о строении Вселенной», являющееся мягкой системой. Эта ситуация аналогична случаю (рис. 10.1), когда легко деформируемые шарики и столбики (понятия) упаковывают в некоторую форму (предложение или текст).

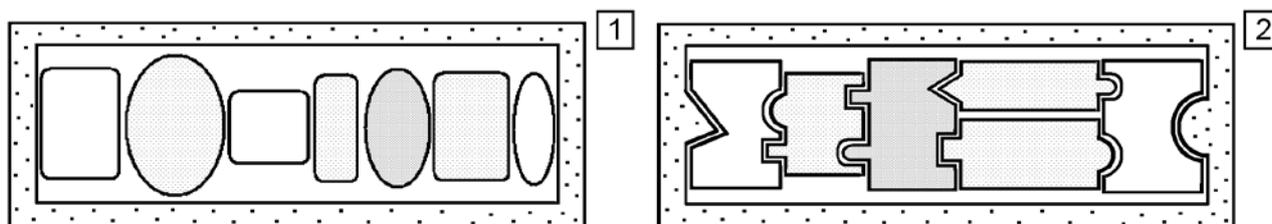


Рис. 10. Метафора о мягких и жестких текстах или рассуждениях

2. Текст – жесткая система, насыщенная логическими рассуждениями и математическими высказываниями, из которой нельзя выкинуть ни одного слова (или символа) без искажения смысла. Для его понимания необходимо знать строгие определения терминов и формулировки законов, а также уметь осуществлять математические операции. В рамках нашей метафоры понимание соответствующего утверждения (например, $p = \rho gh$ или $\vec{E} = -grad\varphi$) подобно засовыванию жестких кубиков и столбиков в жесткую форму (рис. 10.2). На практике часто реализуются промежуточные состояния, при этом степень жесткости текста можно охарактеризовать количеством логических связей между составляющими его понятиями, приходящимся на 1000 слов. Поэтому будем различать следующие ситуации: 1) для понимания УТ необходимо знать строгое определение понятия Π , обозначающего физическую величину (особенно это относится к текстам, в которых выводятся формулы); 2) для понимания текста достаточно иметь приблизительное представление о данном понятии Π (например, «нельзя трогать провода, находящиеся под высоким напряжением»); 3) промежуточное состояние. Будем считать, что в первом случае дидактическая сложность понятия Π равна $DC = S_{str} SC(\Pi)$, во втором случае $DC = S_{str} SC(\Pi)/3$, в третьем случае $DC = S_{str} SC(\Pi)/1,5$.

Итак, существуют **два уровня понимания текста:** поверхностный и глубокий. На поверхностном уровне ученик понимает только информацию, представленную явно, на глубоком – всю информацию, и явную и неявную, включая законы, принципы и т. д., на которые ссылается автор текста.

3. Метод оценки семантической сложности текста. Учебный текст – сложная система, состоящая из рассуждений, каждое из которых содержит логически связанные высказывания, включающие в себя научные понятия. Основной вклад в сложность УТ вносят научные термины, семантическая сложность которых может в десятки раз превышать информационную емкость общеупотребительных слов. Семантическая сложность УТ находится путем суммирования сложностей составляющих его терминов и обычных слов [50–55].

Для определения ДС текста необходимо отдельно оценивать его текстовую сложность S_T и формульную сложность S_ϕ . Последняя показывает сложность математических, химических и иных формул, а также сложность алгоритмов, которые формализуют последовательность операций (в учебнике информатики). Наличие в УТ формул и алгоритмов усложняет его понимание, так как: 1) ученик вынужден «переводить» используемые символы и обозначения на обычный язык; 2) из-за свертывания информации сложность некоторых математических и иных символов довольно велика.

В общих чертах методика оценки семантической сложности текстовой составляющей УТ состоит в следующем:

1. Из исходного текста удаляют повторы, стоп-слова, заменяют местоимения соответствующими терминами.

2. Если текст напряженный, вставляют поясняющие предложения, заполняя смысловые пустоты. Выявляют логические связи и вместо них в текст добавляют слова типа «потому что», «следовательно» и т. д.

3. С помощью специальной программы (например, редактора MS Word) подсчитывают число значимых слов в УТ и определяют его объем V .

4. С помощью программы *Text_analyzer.exe* создают текстовый файл *slovar.txt*, содержащий список из N используемых научных терминов.

5. Подсчитывая количество слов в определениях терминов, находят их сложности $s_i = SC_i$ ($i = 1, 2, \dots, N$), которые записывают в файл *slovar.txt*:

6. Используя компьютерную программу, обращаясь к файлу *slovar.txt*, анализируют файл с текстом, подсчитывают количество n_i упоминаний каждого термина и число обычных слов N' .

7. Суммируя сложности всех научных терминов и «обычных» слов, определяют сложность текста $SC_T = n_1s_1 + n_2s_2 + \dots + n_Ns_N + N'$.

8. Вычисляют среднюю информативность слова для данного УТ $I_{cp} = KСИ$ путем деления SC_T на объем текста V .

9. Чтобы учесть информативность формул или рисунков, заменяют их максимально кратким описанием и оценивают его сложность тем же методом.

При оценке сложности текста получается список из N научных понятий, сложности которых SC_i ($i=1, 2, \dots, N$) необходимо определить. Это можно сделать так: 1) для каждого понятия P сформулировать самое простое определение и выявить образующие его понятия; 2) составить уравнения, связывающие сложность P со сложностями одного, двух или трех самых сложных образующих его понятий; 3) создать компьютерную программу, с помощью которой вычислить приблизительные значения сложностей SC_i различных понятий; 4) проанализировать и подкорректировать полученные результаты так, чтобы они не противоречили здравому смыслу. Этому вопросу посвящена глава 1.

В случае, когда количество понятий (с оценками сложности) достигает нескольких сотен, работать с получившимся списком, хранящемся в файле *slovar.txt*, становится непросто. Автором создана простая программа, которая берет входное слово W (набор символов), автоматически просматривает этот файл, находит нужные термины, содержащие W , выводит их и значения SC_i на экран, а также печатает в текстовый файл *vihod.txt* (см. Приложение, программа ПР-2). Для определения сложности новых понятий, не входящих в уже составленный список (файл *slovar.txt*), эксперт составляет запрос, включая в него термины, максимально близкие по сложности к оцениваемому понятию P , и запускает программу. Например, при оценивании понятия «ион» осуществляется поиск терминов «атом», «электрон», «заряд», «ионизация». В результате получается список терминов с указанием их сложностей, что позволяет эксперту более точно определить сложность понятия «ион», не вступая в противоречие с оценками других понятий. После этого новые термины и их сложности также добавляются в файл *slovar.txt*.

2.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СЛОЖНОСТИ ШКОЛЬНЫХ ДИСЦИПЛИН И ИХ СРАВНЕНИЕ

1. Метод оценки сложности. Сложность понимания учебного текста зависит от средней информационной емкости понятий (или плотности семантической информации), а также средней длины слов и предложений. Так как в среднем учебник содержит 10–100 тысяч слов, то проанализировать все учебники с целью измерения общего количества семантической информации – трудоемкая задача. Для упрощения ее решения можно сделать выборку страниц, из каждой страницы выписать ключевые понятия, знание которых необходимо для понимания учебного материала, и оценить их сложность. Результаты подобного «измерения» будут приблизительными, однако в педагогической практике часто приходится иметь дело со слабо формализованными объектами, оцениваемыми с точностью 10–20 %.

В основе разработанного подхода лежат идеи Б. М. Величковского [11], Э. Г. Гельфмана и М. А. Холодной [16] (психодидактика и теория обучения), Я. А. Микка [87], С. А. Михеевой [89], М. М. Косовой и М. А. Зильберглейта [34] (проблемы школьного учебника), М. Степановой, И. Александровой и А. Седовой [112] (шкалы трудностей учебных предметов), Л. О. Чернейко [117] (абстрактность понятий), В. Davis и D. Sumara [122] (сложность в дидактике).

Предлагаемая методика оценки *ДДС* текста состоит в следующем [56]:

1. Случайным образом выбирают из учебника 10 страниц, более-менее равномерно распределенных по всему объему УТ. Для каждой страницы выписывают 5 ключевых слов (терминов), знание которых необходимо для понимания текста и является индикатором полного усвоения учебного материала. Это могут быть термины из текста, названия входящих в формулы величин или

изображенных на рисунках объектов. Ключевые слова помещают в файл *U1.txt*. Повторяют все это для других учебников, создавая файлы *U2.txt*, *U3.txt*, ...

2. Все выбранные ключевые слова собирают в файле *F.txt* и ранжируют их, исходя из семантической сложности, разделив все термины на 6 категорий в соответствии с методом, рассмотренным в главе 1. Создают файл *Slovar.txt*, в котором перечислены все термины (включая двойные, например «длина волны») с указанием соответствующей категории сложности.

3. С помощью специальной программы *slozhnost.pas*, обращающейся к словарю *slovar.txt*, анализируют файлы *U1.txt*, *U2.txt*, *U3.txt*, ... и определяют суммарное количество информации SC_T , содержащееся в ключевых понятиях из различных учебников, а также среднюю информационную емкость ключевых понятий $K_{СИ} = SC_T / N_{СЛ}$ для каждого учебника. Применяется формула: $SC_T = n_1 s_1 + n_2 s_2 + n_3 s_3 + \dots$, где n_i – число использований i -го термина, а $s_i = SC_i$ – его сложность.

4. Для каждого учебника оценивают долю ε математических, логических, химических и других формул. Выписывают ключевые термины, используемые в математических и иных формулах. Оценивают суммарную семантическую сложность формул SC_Φ аналогичным методом (с помощью компьютерной программы, обращающейся к файлу *slovar.txt*). Находят число понятий N_Φ , входящих в формулы. Аналогичным образом поступают с алгоритмами, входящими в учебник информатики.

5. Для каждого учебника вычисляют общую семантическую сложность $SC_{ОБЩ} = SC_T + \varepsilon SC_\Phi$ и показатель сложности структуры предложений $K_{СТР} = C / C_0$, где $C_0 = 3 \ln(8) = 6,24$. Определяют дифференциальную дидактическую сложность учебников $ДДС = SC_{ОБЩ} \cdot K_{СТР}$.

2. Результаты оценки сложности школьных дисциплин. С целью апробации предложенного метода были выбраны учебные пособия для поступающих в вузы [12; 119], в которых представлены 9 основных школьных дис-

циplin, а также школьные учебники по информатике за 3, 5, 9 и 11 классы (Л. Л. Босова, А. Ю. Босова [7; 8], А. Г. Гейн, А. И. Сенокосов [15], А. В. Горячев [18]). Результаты оценки *ДДС* приведены в табл. 5, которая состоит из следующих столбцов: 1) список дисциплин (учебников); 2) количество семантической информации SC_T , заключенной в ключевых понятиях, входящих в текст; 3) число выбранных ключевых понятий $N_{СЛ}$; 4) средняя информационная емкость ключевых понятий $KCI_T = SC_T / N_{СЛ}$; 5) доля формул (алгоритмов) ε в тексте; 6) коэффициент свернутости для понятий, входящих в формулы $KCI_\Phi = SC_\Phi / N_\Phi$; 7) дидактическая сложность текстового фрагмента $SC_{ОБЩ} = SC_T + \varepsilon SC_\Phi$; 8) средняя длина предложения в словах $D_{ПР}$; 9) среднее число слогов в словах $D_{СЛ}$; 10) структурная сложность текста $K_{СТР}$; 11) дифференциальная дидактическая сложность текста (*ДДС*).

Таблица 5. Результаты оценки дидактической сложности учебных текстов

Дисциплина	SC_T	$N_{СЛ}$	KCI_T	ε	KCI_Φ	$S_{ОБЩ}$	$D_{ПР}$	$D_{СЛ}$	$K_{СТР}$	<i>ДДС</i>
Биология	738	50	14,76	0	0	14,76	11,09	3,47	1,39	20,46
Физика	640	55	11,64	0,10	5,7	12,21	17,87	3,27	1,54	18,80
Химия	514	50	10,28	0,36	6,9	12,76	14,70	3,08	1,36	17,35
Математика	588	50	11,76	0,36	7,5	14,46	13,00	2,78	1,18	17,01
Астрономия	628	55	11,42	0	0	11,42	13,25	3,03	1,29	14,73
История	440	50	8,80	0	0	8,80	25,46	3,12	1,64	14,42
Информатика	470	55	8,55	0,03	2,7	8,63	10,94	3,14	1,25	10,77
Обществовед.	374	55	6,80	0	0	6,80	12,57	3,33	1,39	9,47
География	402	50	8,04	0	0	8,04	15,40	2,54	1,14	9,16
Информ. 3 кл.	264	50	5,28	0	0	5,28	11,30	2,66	1,07	5,65
Информ. 5 кл.	386	55	7,02	0	0	7,02	9,64	2,66	1,01	7,08
Информ. 9 кл.	438	55	7,96	0,02	6,67	8,10	11,72	3,04	1,24	10,03
Информ. 11кл.	446	55	8,11	0,06	6,57	8,50	12,27	2,94	1,22	10,36

Из табл. 5 следует, что наибольшую *ДДС* имеют биология, физика, химия и математика, это объясняется большим количеством абстрактных понятий и рассуждений, которые должен усвоить школьник. Невысокие показатели слож-

ности у обществоведения и географии; это согласуется со шкалой трудности школьных дисциплин [112]. Вообще, семантическая сложность ключевых понятий изменяется в интервале от 6,8 до 14,8, а *ДДС* – от 9,2 до 20,5. Оценка сложности учебников информатики за 3, 5, 9 и 11 классы показала, что для них плотность семантической информации и дифференциальная семантическая сложность монотонно возрастают от 5,3 до 8,1 и от 5,7 до 10,4 соответственно.

2.3. ОЦЕНКА СЛОЖНОСТИ ФИЗИЧЕСКИХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

1. Обсуждение проблемы. Одна из задач физического образования – построение в сознании учащихся упрощенного варианта физической картины мира, то есть системы взаимосвязанных теоретических моделей окружающих явлений, основанных на научных понятиях, законах и теориях. Важное место в ней занимают фундаментальные физические эксперименты, изучению которых уделяется большое внимание. Обсуждая их, учитель и ученики оперируют адаптированными описаниями опытов, которые можно считать их упрощенными **логико-семантическими моделями**. При этом происходит вербальное кодирование знаний; используемые слова являются теми кодами человеческого опыта, которые помогают ученику понимать учителя и обращаться к собственной модели мира. Чем они ближе к повседневному опыту и практической деятельности, тем они конкретнее, однозначнее и понятнее для ученика.

С позиций системного подхода логико-семантическая модель физического эксперимента (например, опыта Резерфорда) является системой взаимосвязанных элементов, которой присущи целостность, эмерджентность, множественность описания, иерархическая структура и т. д. В учебниках физики [91; 92] представлены различные описания фундаментальных опытов, которые характеризуются объемом, информативностью, дидактической сложностью и средней плотностью семантической информации. От перечисленных выше параметров зависит время изучения того или иного эксперимента и требуемый для его овладения уровень подготовки ученика. Важной проблемой дидактики является разработка **методики оценки сложности описания физического эксперимента** [68]. Это позволит ответить на вопросы типа: во сколько раз изучение опыта Майкельсона – Морли по обнаружению эфирного ветра проще

или сложнее изучения экспериментов Штерна по измерению скорости движения молекул?

Проанализируем проблему измерения дидактической сложности логико-семантических моделей фундаментальных физических экспериментов. Сложность (информативность) текста может быть найдена как сумма сложностей составляющих его научных терминов и обычных слов. Под семантической сложностью термина относительно тезауруса Z понимается количество слов, которые требуется произнести, чтобы объяснить данный термин ученику с тезаурусом Z . Для оценки сложности научных понятий было выбрано 350 терминов, которые были разделены на группы по 50 слов. Используя метод парных сравнений, понятия каждой группы были отклассифицированы по уровню сложности $s_i = SC_i$. Оказалось, что все понятия (кроме математических) можно уверенно разбить на 6 категорий, причем сложность терминов из 6-й категории примерно в 30 раз больше сложности терминов из 1-й категории. Этот метод подробно описан в первой главе. Сложность остальных терминов (вращение, насажен, толщина) будем считать равной 1,5, потому что они сложнее слов с $SC \approx 1$ (вода, человек), но проще терминов со сложностью 2 (включенный, горизонталь, доказывает).

Предлагаемая методика оценки сложности состоит в следующем [68]: 1) создают текстовый файл *text.txt*, содержащий описание опыта; 2) создают словарь (файл *slovar.txt*), включающий используемые научные термины с указанием их уровня сложности; 3) анализируют файл *text.txt* с помощью компьютерной программы, обращающейся к словарю и суммирующей сложности слов, входящих в описание. С помощью этого метода произведена оценка сложности описаний 10 фундаментальных физических опытов (по 2 опыта из каждого раздела физики) и вычислен средний коэффициент свернутости информации $KСИ_{cp}$ (количество информации, приходящееся на одно слово).

2. Результаты оценки дидактической сложности физических экспериментов. Полученные результаты представлены ниже в следующем формате:

название опыта (дидактическая сложность; коэффициент свернутости). Они выглядят так: 1. Опыт Кавендиша по определению гравитационной постоянной (115; 1,6). 2. Опыт со скамьей Жуковского, подтверждающий закон сохранения момента импульса (120; 2,1). 3. Опыт Штерна по определению скорости молекул (224; 2,4). 4. Работа холодильника (153; 2,9). 5. Опыты Стюарта и Толмена по обнаружению электронно-инерционного эффекта (166; 2,6). 6. Опыт Фарадея по электромагнитной индукции (186; 2,6). 7. Опыты Синелиуса по установлению закона преломления света (137; 1,9). 8. Опыт Юнга по интерференции света (263; 2,7). 9. Опыт Столетова, доказывающий первый закон фотоэффекта (298; 4,3). 10. Опыт Резерфорда, доказывающий существование компактного положительно заряженного ядра атома (308; 3,6).

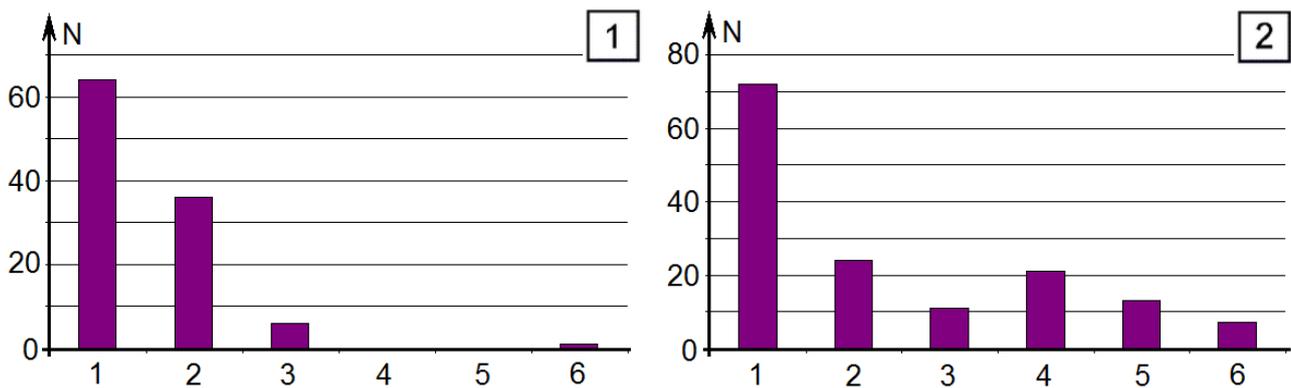


Рис. 11. Сложностные профили описаний опытов 1, 2 и 9, 10

Проведя анализ текстовых описаний, можно получить их сложностные профили, то есть распределение числа терминов N по уровням сложности U , которые могут быть записаны в виде одномерных матриц: 1) для опытов 1 и 2 по механике: (96, 72, 24, 0, 0, 32,0); 2) для опытов 9 и 10 по квантовой физике: (108, 48, 44, 168, 208, 224, 0). Из рис. 11 видно, что в рассматриваемых случаях распределение терминов по категориям сложности сильно отличается: в описаниях опытов по квантовой физике присутствуют термины из 4, 5 и 6 категорий, а в описаниях опытов по механике их практически нет. Средние значения сложности для опытов по механике 1,75, а по квантовой физике 5,2.

2.4. ОЦЕНКА СЛОЖНОСТИ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ АТОМА

1. Обсуждение проблемы. Центральным понятием естественно-научной картины мира, без которого невозможно обсуждать огромное количество физических и химических процессов, является понятие атома. Учитель и ученики оперируют **дидактической моделью атома**, которая является результатом адаптации соответствующих научных моделей. По мере обучения в школе она эволюционирует от простых представлений о том, что атом – неделимая частица, имеющая конечные размеры и массу, до орбитальной модели атома.

На уроках ученики под руководством учителя знакомятся с различными материальными и идеальными дидактическими объектами (ДО). Примером идеального ДО является описание строения атома в учебных пособиях по физике за 11 класс [92]. Фактически это **логико-семантическая модель (ЛСМ)** атома, адаптированная для учебного процесса и представленная в текстовой форме. Речь идет о вербальном кодировании некоторых знаний; используемые слова являются теми кодами человеческого опыта, которые помогают ученику понимать учителя и обращаться к собственной модели мира. Чем они ближе к повседневному опыту и практической деятельности, тем они конкретнее, однозначнее и понятнее для ученика. О. Е. Баксанский рассматривает обучение как «обмен якорями из слов, в ходе которого ученик ищет в собственной модели мира их смысл и смысл получаемого сообщения» [31, с. 106].

Проводимые далее рассуждения основаны на работах следующих ученых: Н. В. Лукашевич [37], Вал. А. Луков, Вл. А. Луков [38; 39] (тезаурусный подход); О. В. Зеркаль [25], И. П. Кузнецов [36] (семантическая информация); Л. Я. Аверьянов [1], М. D. White, Е. Е. Marsh [8] (контент-анализ текстов); 5) Н. К. Криони, А. Д. Никин и А. В. Филиппова [35], И. В. Оборнева [97] (автоматизированная оценка сложности текстов).

Логико-семантические модели атома характеризуются объемом, информативностью, дидактической сложностью и средней плотностью семантической информации. От перечисленных выше параметров зависит время изучения ЛСМ и требуемый для его овладения уровень подготовки ученика. Важной проблемой дидактики является разработка методики оценки сложности ЛСМ, в частности сложности той или иной модели атома. Это позволит ответить на вопросы типа: во сколько раз орбитальная модель атома сложнее планетарной модели или модели Бора? Рассмотрим эволюцию представлений школьника об атоме и методы измерения сложности соответствующих дидактических моделей.

2. Развитие знаний учащихся о строении атома. Формирование знаний об атоме и его структуре происходит в следующие несколько этапов [103]:

1. Изучение и обсуждение гипотезы Демокрита (7 класс), согласно которой вещество дискретно, то есть состоит из атомов – элементарных неделимых частиц. Это утверждение доказывается многочисленными химическими опытами, в которых различные вещества реагируют в строго определенных соотношениях, а также другими фактами. В 10 классе при изучении основ молекулярно-кинетической теории учащиеся знакомятся с такими доказательствами существования мельчайших частиц вещества, как растекание капли масла по поверхности воды до мономолекулярного слоя, фотографиями с экрана ионного и электронного микроскопа и т. д.

2. Экспериментальное доказательство сложной структуры атомов (11 класс): существование электронов и их обнаружение в составе атомов; открытие Д. И. Менделеевым периодического закона; отличие линейчатых спектров различных газов; радиоактивность. Учитель рассказывает о модели атома Томсона, объясняющей дисперсию и поглощение света.

3. Анализ результатов экспериментов Резерфорда по рассеянию альфа-частиц атомами золота, в ходе которого учитель обращает внимание на то, что

они опровергают модель Томсона, и знакомит учеников с планетарной моделью атома, предложенной Резерфордом.

4. Обсуждение недостатков модели Резерфорда, которая не может объяснить устойчивость атома и наблюдаемые спектральные закономерности.

5. Изучение теории атома с одним электроном, предложенной Бором. Учитель формулирует постулаты Бора, выводит из них формулу Бальмера, сообщая, что она очень точно описывает спектральные закономерности атома водорода. Это доказывает постулаты Бора о существовании стационарных энергетических состояний атома и излучении им кванта света при переходе из одного состояния в другое. Другим доказательством постулатов Бора являются результаты опытов Франка и Герца. Однако теория Бора не в состоянии объяснить спектральные закономерности атомов с двумя и более электронами.

6. Изучение орбитальной модели атома. Школьники знакомятся с гипотезой Бройля о корпускулярно-волновом дуализме микрочастиц. В учебниках для школ и классов с углубленным изучением физики [103] обсуждаются основные понятия квантовой механики, рассматриваются принцип неопределенностей Гейзенберга, принцип Паули и уравнение Шредингера, вводятся понятия атомной орбитали, спина, квантовых чисел. Для обоснования изучаемой теории авторы ссылаются на периодический закон Менделеева и спектры атомов с большим числом электронов.

3. Методика оценки сложности моделей атома. Любая логико-семантическая модель характеризуется объемом V , семантической сложностью SC_T , дидактической сложностью (ДС) и средней плотностью семантической информации. ДС текстовой составляющей ЛСМ равна произведению структурной S_{str} и семантической сложности SC_T : $DC = S_{str} SC_T$. У старшеклассников и студентов хорошо развиты навыки чтения, поэтому на трудность понимания текста по математике, физике, химии, биологии и т. д. в первую очередь влияет не структурная сложность (средняя длина слов, предложений, их структура), а семантическая, или смысловая, сложность, зависящая от количества терминов и степени их абстрактности. Трудность понимания текста зависит от плотности

семантической информации, которая может быть охарактеризована средним коэффициентом свернутости информации (КСИ), равным отношению количества семантической информации к его объему: $КСИ = SC_T / V$. КСИ показывает среднюю информативность слова в тексте [61].

Сложность любой системы в первую очередь зависит: 1) от количества и сложности составляющих ее элементов; 2) количества и сложности связей между ними. При этом особенностями структуры можно пренебречь. Например, когда хотят охарактеризовать сложность электронной схемы, указывают число транзисторов или микросхем. Аналогично для оценки семантической сложности дидактической модели, содержащей научные термины, нет необходимости детально учитывать ее структуру. Существенным является сложность и количество ключевых концептов (понятий) и связей между ними, которые также выражаются словами.

Для измерения семантической сложности различных дидактических моделей атома относительно тезауруса Z нами использовалась специальная компьютерная программа *prog.pas* на языке *ABC Pascal*. Она подсчитывает количество научных терминов в тексте и учитывает их семантическую сложность $s_i = SC_i$, которая равна коэффициенту свернутости информации (КСИ) в данном термине относительно выбранного уровня знаний Z . Для нахождения сложности термина SC_i определяют количество слов в его объяснении, содержащем только слова из тезауруса Z . В нашем случае за Z выбран тезаурус ученика 5 класса, не начинавшего изучать физику [55].

Чтобы найти SC_T , с помощью программы *Text_analyzer.exe* (скачанной из Интернета) составляют список используемых научных терминов (их количество обозначим через N), его помещают в текстовый файл *slovar.txt*. Путем подсчета числа слов в определениях терминов находят их сложности $s_i = SC_i$ ($i = 1, 2, \dots, N$), которые записывают в файл *slovar.txt*. С помощью программы *prog.pas*, обращаясь к файлу *slovar.txt*, проводят контент-анализ текстового описания модели и подсчитывают количество n_i упоминаний каждого i -го

термина и число обычных слов N' , сложность которых равна 1. Суммируя сложности всех терминов и остальных слов, определяют семантическую сложность текста: $SC_T = N' + n_1s_1 + n_2s_2 + \dots + n_Ns_N$.

Дидактическая сложность ЛСМ, как и любого учебного текста, зависит: 1) от общего количества семантической информации; 2) разнообразия терминов; 3) читабельности текста, определяемой средней длиной слов и предложений. Так как старшеклассники не испытывают трудностей с чтением, то будем считать, что дидактическая сложность ДС равна произведению его семантической сложности SC_T на показатель разнообразия $ПП$, вычисляемый по формуле, похожей на формулу Шеннона:

$$ПП = -\sum_{i=1}^{N_T} \frac{n_i}{N_T} \ln \left(\frac{n_i}{N_T} \right).$$

Здесь $N_T = n_1 + n_2 + \dots + n_N$ – общее количество терминов в тексте, n_i – число использований i -го термина.

4. Результаты оценки сложности моделей атомов. Анализ школьных учебников позволил выделить 7 информационных блоков, из которых могут быть построены 9 постепенно усложняющихся моделей атома (без модели Томсона, которая неверна). Эти блоки представлены ниже:

Б-1. {Атомы – шарообразные частицы, которые имеют очень маленькие массу и радиус. Атомы соединяются друг с другом и образуют молекулы, из которых состоят различные тела.}

Б-2. {Атом состоит из тяжелого положительно заряженного ядра, вокруг которого по орбитам вращаются электроны. Атом электрически нейтрален, суммарный заряд всех электронов по модулю равен заряду ядра. Размер ядра в десятки тысяч раз меньше размера атома.}

Б-3. {Ядро состоит из протонов и нейтронов, число электронов равно количеству протонов в ядре, а заряды электронов и протонов одинаковы. Существуют изотопы – атомы, у которых в ядре одинаковое число протонов и различные количества нейтронов.}

Б-4. {Атом – наименьшая частица химического элемента. Электроны образуют слои K, L, M, N, ... При увеличении заряда ядра растет число электронов; сначала происходит заполнение слоя K, потом L, потом M и т. д. Полностью заполненный слой K содержит 2 электрона, слой L – 8 электронов, M – 18 электронов, N – 32 электрона и т. д. Химические свойства зависят от числа электронов на последнем слое, они называются валентными. При увеличении заряда ядра химические свойства атома периодически изменяются.}

Б-5. {Существуют стационарные состояния атома водорода, находясь в которых, атом не излучает; им соответствуют дискретные значения энергии E_1, E_2, \dots . При переходе из одного стационарного состояния в другое атом излучает или поглощает квант энергии: $\hbar\omega = E_n - E_m$. Момент импульса электрона принимает дискретные значения, кратные \hbar : $mvr = n\hbar$. Энергия электрона в атоме отрицательна, при переходе на более высокий энергетический уровень радиус орбиты увеличивается, атом поглощает квант энергии. Частота электромагнитной волны, излучаемой (или поглощаемой) атомом водорода при переходе из n -го в m -е состояние, равна: $\nu = R(1/m^2 - 1/n^2)$. Эта формула объясняет закономерности в спектре атома водорода.}

Б-6. {Между протонами и нейтронами действуют ядерные силы притяжения. Энергия связи – это энергия, необходимая для расщепления ядра на отдельные нуклоны. Она равна дефекту масс, умноженному на квадрат скорости света: $E_{CB} = (Zm_p + Nm_n - M_{Я})c^2$. Дефект масс – разность суммарной массы покоя всех нейтронов и протонов, составляющих ядро, и массы покоя ядра. Удельная энергия связи с ростом массы атома быстро возрастает, достигает максимума, а затем медленно убывает. При ядерных реакциях выделяющаяся (поглощаемая) энергия равна изменению суммарной энергии ядер в процессе реакции.}

Б-7. {Атом – квантовая система, состоит из тяжелого положительно заряженного ядра, окруженного электронной орбиталью (ЭО). ЭО – это часть пространства, в котором электрон находится с вероятностью 0,9. При этом s-орби-

таль имеет сферическую форму, р-орбиталь – форму гантели, d-орбиталь – форму четырехлепесткового цветка и т. д. Ядро состоит из протонов и нейтронов, его размер в десятки тысяч раз меньше размера атома. Существуют стационарные состояния атома, находясь в которых атом не излучает. Энергия электрона в атоме и его момент импульса квантуются. Состояние электрона зависит: 1) от главного квантового числа n , определяющего энергию электрона; 2) от орбитального квантового числа l , определяющего возможные значения момента импульса орбитального движения электрона: $L_l = \sqrt{l(l+1)} \hbar$; 3) от магнитного квантового числа m , определяющего возможные значения проекции момента импульса электрона на направление индукции внешнего магнитного поля $L_B = m \hbar$; 4) от спинового квантового числа s , определяющего проекцию собственного механического момента на направление внешнего магнитного поля (на физически выбранное направление). Электрон одновременно обладает свойствами частицы и волны, его движение нельзя описать определенной траекторией. Состояние электрона характеризуется волновой функцией, квадрат модуля которой равен плотности вероятности нахождения электрона в данной точке. Спин – собственный механический момент импульса микрочастицы (электрона), ее неотъемлемое свойство. Если представить электрон в виде маленького шарика, вращающегося вокруг своей оси, то спин характеризует направление вращения. Принцип Паули: в одной квантовой системе не существует двух микрочастиц с одинаковым набором квантовых чисел. }

Из перечисленных выше информационных блоков получают 9 логико-семантических моделей атома, которые будем называть так: М-1, М-123, ..., М-123467 (цифры показывают номера составляющих их блоков). С целью оценки семантической сложности этих моделей соответствующие тексты были помещены в файлы *m1.txt*, *m123.txt*, ..., *m123467.txt*. В результате анализа этих файлов компьютерными программами был получен список используемых терминов. С целью оценки их сложностей SC_i использовался метод подсчета зна-

чимых слов в определениях, а также метод парных сравнений, в ходе которого карточки с терминами раскладывались на шкале сложности [55].

Таблица 6. Результаты оценки сложности различных моделей атома

	МОДЕЛЬ	S'	N'	SC_T	PP	DC	N_T	V	KCI
1	M1	34	11	45	1,91	86	8	19	2,37
2	M12	176	14	190	2,93	557	31	45	4,22
3	M123	364	24	388	3,08	1195	50	74	5,24
4	M1234	554	41	595	3,20	1904	83	124	4,80
5	M1235	791	36	827	3,82	3159	138	174	4,75
6	M1236	756	37	793	3,62	2871	116	153	5,18
7	M1237	1252	67	1319	3,96	5223	203	270	4,89
8	M12367	1644	81	1725	4,16	7176	269	350	4,93
9	M123467	1834	93	1927	4,16	8016	302	395	4,88

В табл. 6 перечислены анализируемые модели атома и соответствующие им параметры: 1) суммарная сложность всех научных терминов $S' = n_1s_1 + n_2s_2 + \dots + n_Ns_N$ в тексте; 2) количество обычных слов N' со сложностью $s_i = SC_i = 1$, не являющихся терминами; 3) общее количество информации в УТ, равное семантической сложности текста $SC_T = N' + S'$; 4) показатель разнообразия PP ; 5) дидактическая сложность модели DC ; 6) число научных терминов N_T ; 7) объем текста $V = N' + N_T$, равный числу значимых слов; 8) средний КСИ текста, равный плотности информации в нем: $KCI = SC_T / V$.

Из полученных оценок сложности моделей атома (табл. 6) следует, что самой сложной является модель М-123467, у которой $DC = 8016$ УЕИ (усл. ед. информации), что в 90 раз больше сложности модели М-1. По мере обучения в школе ученик переходит от одной модели атома к другой, при этом информативность модели увеличивается примерно в 40 раз, дидактическая сложность – в 90 раз, а плотность информации (КСИ) – в 2 раза.

2.5. УВЕЛИЧЕНИЕ СЛОЖНОСТИ ИЗУЧАЕМЫХ ПОНЯТИЙ С ВОЗРАСТОМ УЧЕНИКА

1. Обсуждение проблемы. По мере обучения развивается интеллект школьников и студентов, в результате они приобретают способность овладевать все более сложными понятиями и теоретическими моделями. Интерес представляет собой проблема зависимости сложности понятий и моделей от момента их изучения. Во сколько раз возрастает сложность усваиваемых элементов учебного материала за время обучения в школе? Как изменяется дидактическая сложность теоретических моделей, изучаемых в вузе? Для ответа на эти вопросы следует использовать метод подсчета терминов с учетом их семантической сложности, чтобы определить сложность физических, математических понятий и теоретических моделей, усваиваемых в различные годы обучения.

Различные аспекты рассматриваемой проблемы проанализированы в работах Б. М. Величковского [11], М. А. Холодной [114] (психодидактика и теория обучения); В. Б. Вяткина [13], И. П. Кузнецова [36] (семантическая информация), Е. Н. Князева [30], О. Э. Наймушина, Б. Е. Стариченко [94] (сложность дидактических объектов); Н. К. Криони, А. Д. Никина, А. В. Филипповой [35], Т. В. Батура [5] (автоматизированная оценка сложности текстов).

Как известно, объективным результатом мыслительной деятельности человека являются высказываемые им слова и предложения [114]. Мышление неразрывно связано с речевой деятельностью. Мысль отличается от ощущений тем, что она выражается с помощью слов. Важной формой мышления является **понятие**, в понятиях отражаются общие и существенные свойства объектов и явлений. Понятия обозначаются словами (научными терминами) и часто являются результатом обобщения и абстрагирования [117]. Обучение приводит к углублению понятий, к повышению их абстрактности и информационной емко-

сти. Другой формой мышления являются **суждения**, отражающие связи между объектами и их свойствами. Описание объекта состоит из совокупности суждений и может рассматриваться как его **логико-семантическая модель**. Дидактическая сложность таких моделей зависит от сложности структуры предложений, разнообразия и степени абстрактности используемых понятий.

Важным признаком интеллекта является **обучаемость**, то есть способность понимать и запоминать новую информацию. Психологи различают **два вида памяти**: эпизодическую, имеющую автобиографический характер, и семантическую, в которой хранится безличностное знание [11]. Семантическая память содержит субъективный тезаурус, то есть систему понятий и связей между ними, а также правила и алгоритмы, применяемые при решении различных задач. Результат обучения во многом зависит от степени развития **вербального интеллекта обучаемого**, характеризующейся его словарным запасом и умением понимать прочитанное [114]. Возможность использования учеником сложных понятий и теоретических моделей в первую очередь определяется его **уровнем интеллектуального развития**, способностью припоминать информацию, свертывать и развертывать знания. Поэтому сложность наиболее абстрактных понятий и теоретических моделей, усвоенных учеником, может рассматриваться как показатель уровня развития вербального интеллекта.

Под **свертыванием знаний** понимается уплотнение и сжатие информации, уменьшение ее объема за счет более краткого и обобщенного изложения, которое приводит к образованию новых научных понятий (концептов). Снижение физического объема сообщения происходит без потерь информативности. От степени свернутости информации зависит смысловая сложность слова; она фактически показывает его **информационную емкость** или степень концентрации знаний. Одна из причин, по которой младший школьник не может усвоить сложное понятие (например, «производная») или теоретический вопрос (строение биологической клетки, орбитальная модель атома), состоит в том, что его мозг еще не научился свертывать информацию требуемым образом. Поэто-

му обучение осуществляется поэтапно: школьник, теоретически изучив вопрос, выполняет учебные задания, стараясь применить полученные знания на практике. В результате у него формируются соответствующие интеллектуальные умения и навыки, а полученные теоретические знания кристаллизуются, включаются в систему уже имеющихся знаний. Затем происходит изучение следующей порции учебного материала и т. д.

2. Результаты исследования изменения сложности изучаемых понятий с возрастом ученика. Интеллектуальные способности человека характеризуются разнообразием и сложностью решаемых задач, используемых научных понятий и теоретических моделей. Для оценки их увеличения предлагается оценить семантическую сложность самых абстрактных научных понятий, усвоенных человеком. Рассмотрим математические и физические понятия, которые отличаются высоким уровнем абстрактности.

Как уже отмечалось, семантическая сложность понятия (концепта) характеризуется **коэффициентом свернутости информации (КСИ)** относительно некоторого тезауруса Z (например, тезауруса пятиклассника). Он равен количеству семантической информации в данном понятии P и определяется путем подсчета количества слов в его объяснении, содержащем только простые слова ($SC_i = 1$) из тезауруса Z . Для нахождения КСИ необходимо дать определение O понятию P , а также понятиям P_1, P_2, \dots , входящим в O , используя только простые слова из тезауруса Z , а затем следует сосчитать общее число слов.

Например, рассмотрим определение понятия «удельное сопротивление». Удельное сопротивление меди – *сопротивление медного проводника, умноженное на площадь поперечного сечения и деленное на его длину*. Сопротивление – *отношение напряжения на концах проводника к силе тока*. Напряжение – *разность потенциалов*. Сила тока – *заряд, протекающий через проводник за 1 с*. Потенциал – *отношение потенциальной энергии заряда, внесенного в данную точку поля, к величине этого заряда*. Потенциальная энергия – *работа поля по перемещению заряда из данной точки поля в бесконечность*. Работа – *произве-*

дение силы на перемещение, на косинус угла между ними. Общее количество выделенных курсивом слов – 46.

Другой подход состоит в том, чтобы, используя метод парных сравнений, все слова разделить на 6–7 категорий, сложность которых принимает значения 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64. При этом следует учитывать возможность наблюдения обозначаемого объекта (явления) в повседневной жизни, в школьной лаборатории, его пространственную и временную протяженности, вхождение оцениваемого понятия в тезаурусы среднестатистического первоклассника, пятиклассника и выпускника школы.

Нами были выбраны наиболее характерные понятия, соответствующие 1–11 классам общеобразовательной школы и 1–3 курсам института по специальностям «Математика» и «Физика» [4; 91; 92; 103]. Результаты оценки их сложности представлены ниже в следующем формате: «понятие» (год изучения t , сложность SC). Получилось так: сложить (1, 1); вычесть (1, 1); делить (3, 2); умножить (3, 2); десятичная дробь (4, 6); атом (5, 8); молекула (5, 8); клетка биологическая (6, 12); синус (7, 5); косинус (7, 5); функция (7, 15); дискриминант (8, 13); иррациональное число (8, 10); валентность (8, 30); проекция вектора (9, 7); электромагнитная индукция (9, 16); дифракция (9, 16); интерференция (9, 32); ядерная реакция (9, 16); дефект масс (9, 32); удельное сопротивление (9, 30); ядерные силы (9, 39); предел (10, 32); производная (10, 65); Большой взрыв (11, 16); ген (11, 32); скалярное произведение векторов (11, 40); интеграл (11, 86); орт (12, 10); момент инерции (12, 32); векторное произведение (12, 63); градиент (12, 75); оператор набла (12, 109); поток вектора (через интеграл) (13, 140); частная производная (13, 76); дивергенция вектора (14, 154). Подробное описание оценки сложности математических понятий рассмотрено в первой главе. Значение $t = 14$ соответствует обучению студента на третьем курсе вуза.

Нанесем точки, соответствующие перечисленным понятиям, на координатную плоскость (рис. 12), образованную осями времени и сложности. Точки, визуализирующие наиболее сложные понятия, соединим линией. Видно, что

получившаяся кривая разбивает плоскость на **две области**: запрещенную и разрешенную. Изучаемые понятия находятся под кривой в разрешенной области; заходить в запрещенную область (то есть слишком рано изучать сложные понятия) не рекомендуется. Сложность самых сложных понятий за время обучения в школе ($t = 1 - 11$) возрастает почти в 90 раз.

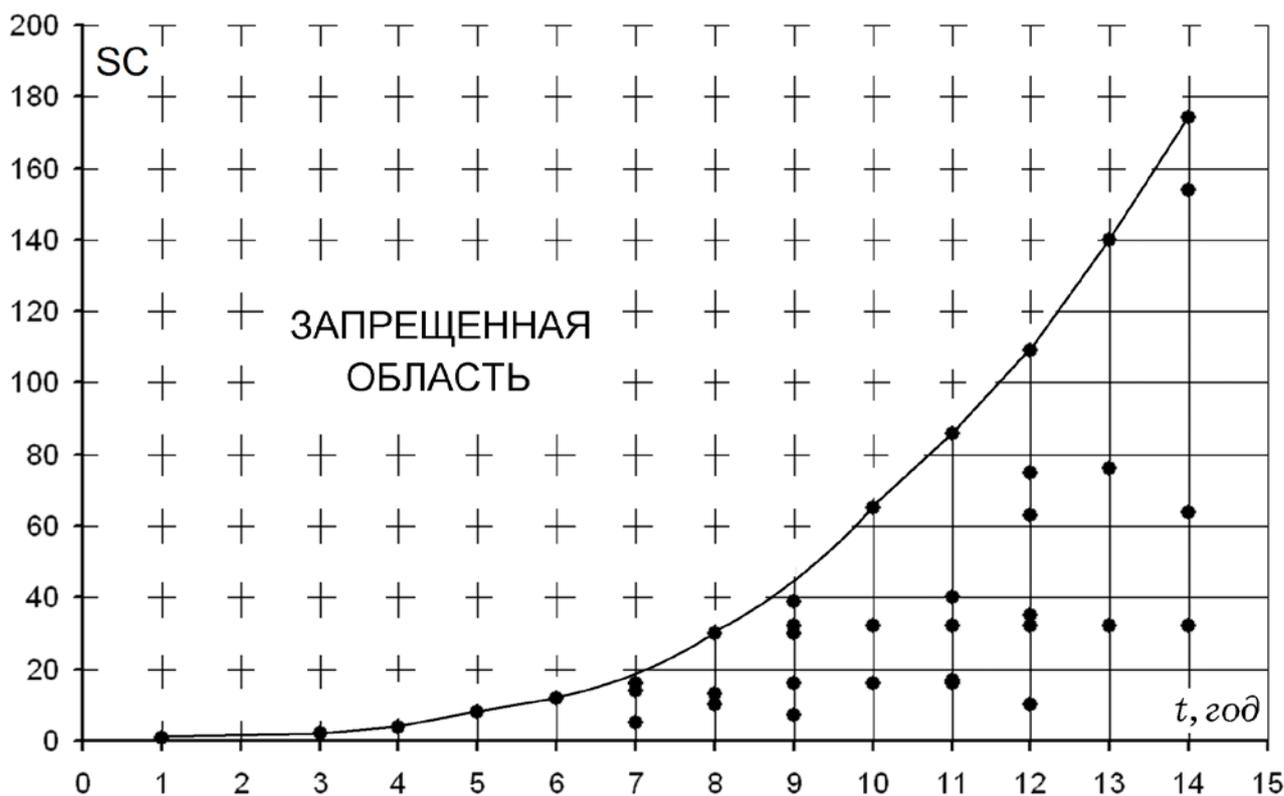


Рис. 12. Зависимость максимальной сложности понятий от года обучения

Все это хорошо согласуется с известными фактами. Сначала ребенок оперирует простыми понятиями (вода, тарелка, человек и т. д.). По мере обучения в школе его тезаурус расширяется со скоростью 5–10 слов в день. Каждый год он усваивает и использует новые научные термины, некоторые из которых имеют высокую степень абстрактности. Психологи установили, что по мере взросления происходят не только количественные, но и качественные изменения интеллекта, отражающиеся на его свойствах и структуре. Во время обучения у школьников и студентов развивается способность свертывать знания и усваивать более абстрактные понятия, несущие большое количество семанти-

ческой информации. Это сопровождается увеличением среднего количества слов в произносимых предложениях от 2–3 до 8–10.

3. Изменение сложности изучаемых моделей атома с возрастом ученика. Определенный интерес представляет собой проблема изменения сложности представлений ученика (студента) о некотором объекте по мере его изучения в школе (вузе). Этот вопрос удобно рассмотреть на примере различных логико-семантических моделей атома [61]. Понятие «атом» используется во многих физических и химических теориях. Ученики работают с дидактической моделью атома, являющейся результатом адаптации соответствующих научных моделей. По мере изучения физики и химии эта модель эволюционирует от простых представлений о том, что атом – неделимая частица, до орбитальной модели атома [4; 91; 92; 103].

Сложность объекта (модели) тем выше, чем больше информативность краткого, но полного описания всех его существенных свойств. Поэтому, чтобы оценить сложность объекта, следует создать его **логико-семантическую модель** (ЛСМ – текстовое описание) и определить количество содержащейся в ней семантической информации относительно некоторого тезауруса Z [55]. В данном случае за Z принят уровень знаний выпускника 5 класса, еще не приступившего к изучению физики и химии. В статье [61] предложен метод, позволяющий оценить количество семантической информации в каждой ЛСМ атома и определить их сложность.

Анализ школьных учебников [91; 92] позволил выделить 7 информационных блоков, из которых могут быть построены 9 постепенно усложняющихся моделей атома (без модели Томсона, которая неверна). Для нахождения семантической сложности SC_T получившихся текстов был применен следующий метод: 1) составляют список всех используемых в тексте понятий, количество которых обозначим через N ; его помещают в текстовый файл *slovar.txt*; 2) подсчитывают количества значимых слов в определениях понятий и находят их сложности $s_i = SC_i$ ($i = 1, 2, \dots, N$), которые записывают в файл *slovar.txt*; 3) с

помощью специальной компьютерной программы *slozhnost.pas*, обращающейся к файлу *slovar.txt*, определяют число n_i упоминаний каждого i -го термина и число обычных слов N' , сложность которых равна 1; 4) с помощью программы, суммирующей сложности всех терминов и остальных слов, вычисляют семантическую сложность текста: $SC = N' + n_1s_1 + n_2s_2 + \dots + n_Ns_N$; 5) с помощью компьютерной программы или таблиц *Excel* находят показатель разнообразия PP , вычисляемый по формуле, похожей на формулу Шеннона:

$$PP = -\sum_{i=1}^{N_T} \frac{n_i}{N_T} \ln\left(\frac{n_i}{N_T}\right);$$

здесь $N_T = n_1 + n_2 + \dots + n_N$ – общее количество терминов в тексте, n_i – число использований i -го термина; 6) определяют дидактическую сложность ЛСМ атома как произведение его семантической сложности SC на показатель разнообразия PP .

В параграфе 2.4 представлены следующие семь блоков, из которых могут быть собраны 11 теоретических моделей атома различной сложности [61]. Например, Блок 1: «Атомы – шарообразные частицы, которые имеют очень маленькую массу и радиус. Атомы соединяются друг с другом и образуют молекулы, из которых состоят различные тела». Блок 2: «Атом состоит из тяжелого положительно заряженного ядра, вокруг которого по орбитам вращаются электроны. Атом электрически нейтрален, суммарный заряд всех электронов по модулю равен заряду ядра. Размер ядра в десятки тысяч раз меньше размера атома». Блок 3: «Ядро состоит из протонов и нейтронов, число электронов равно количеству протонов в ядре, а заряды электронов и протонов одинаковы. Существуют изотопы – атомы, у которых в ядре одинаковое число протонов и различные количества нейтронов». Также присутствуют блоки, в которых учитывается структура электронных слоев, элементы теории Бора, теория строения атомного ядра, орбитальная модель атома, использующая понятия «орбиталь», «магнитное квантовое число», «орбитальное квантовое число», «спин», «принцип Паули» и т. д.

Из семи информационных блоков получаются 9 логико-семантических моделей атома, которые будем называть так: М-1, М-123, ..., М-123467 (цифры показывают номера составляющих их блоков). Для определения семантической сложности этих моделей соответствующие тексты (описания моделей) были помещены в файлы *m1.txt*, *m123.txt*, ..., *m123467.txt*. Из этих файлов получился список используемых терминов, и произведена оценка их сложностей $SC_i = s_i$. Для этого использовался метод подсчета значимых слов в определениях, а также метод парных сравнений, в ходе которого карточки с терминами раскладывались на шкале сложности [55].

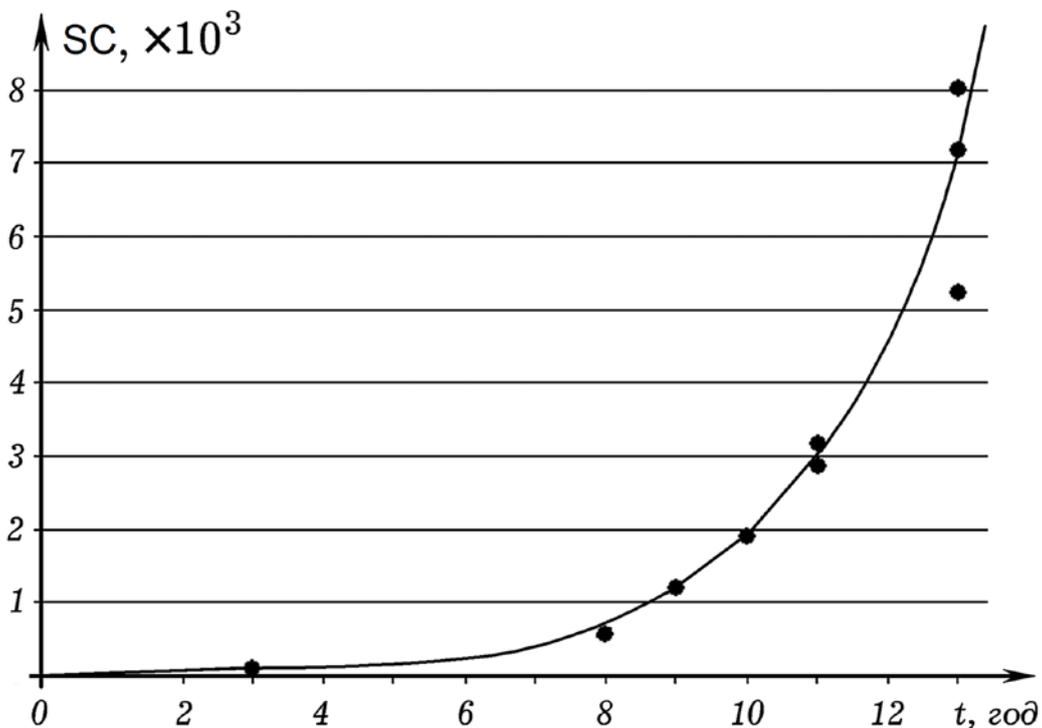


Рис. 13. Зависимость сложности изучаемой модели атома от времени обучения

В результате анализа школьных курсов физики и химии, а также вузовского курса общей физики удалось приблизительно установить время формирования той или иной модели атома в сознании школьника и студента, а также построить график зависимости сложности SC усвоенных представлений школьника и студента о строении атома от года обучения t (рис. 13). При этом предполагается, что после окончания школы выпускник поступает в вуз на фи-

зико-математическую специальность и в течение первых пяти семестров изучает курс общей физики. Из рис. 13 видно, что дидактическая сложность логико-семантических моделей атома изменяется от 90 в 3 классе до 8 000 на втором курсе института. Получившаяся кривая приблизительно похожа на возрастающую ветвь параболы и соответствует увеличению интеллектуальных способностей среднестатистического школьника и студента.

2.6. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ УЧЕБНОЙ ИНФОРМАЦИИ В ШКОЛЬНОМ КУРСЕ ФИЗИКИ

1. Обсуждение проблемы. Важная проблема дидактики физики состоит в изучении закономерностей распределения учебной информации в школьных учебниках. Методика преподавания физики и отдельные элементы учебного материала прошли многолетнюю эволюцию и соответствующий отбор, поэтому можно утверждать, что распределение учебной информации в учебниках близко к оптимальному и соответствует важнейшим дидактическим принципам и объективным закономерностям познания мира.

Учебник физики является моделью курса физики и одновременно – моделью формирующейся у учащихся системы знаний. В нем традиционно представлены пять основных разделов: механика, молекулярная физика и термодинамика, электродинамика, оптика, квантовая физика. И хотя в каждом из них обсуждаются различные явления, физические модели, специфические методы познания, все разделы объединены единством материального мира и законов природы. В процессе изучения физики у школьника формируется цельная система знаний, объединяющая элементы механической, термодинамической, электромагнитной и квантово-полевой картин мира, развивается физическое мышление и научное мировоззрение. Знакомство школьников с различными явлениями, идеями и теориями происходит постепенно, в определенной последовательности. В связи с этим несомненный интерес представляет собой **проблема о соотношении количества знаний**, относящихся к различным разделам физики, получаемых учеником по мере обучения в школе. Для ее решения необходимо на основе анализа школьных учебников исследовать распределение в курсе физики учебной информации, относящейся к механике, электродинамике и другим разделам физической науки.

Используемый подход основывается на работах следующих ученых: В. Davis и D. Sumara [122] (сложность систем); Л. Я. Аверьянов [1], В. И. Шалак [118], М. D. White и E. E. Marsh [131] (метод контент-анализа); О. В. Зеркаль [25], М. М. Косова и М. А. Зильберглейт [34], Н. Б. Самсонов, Е. В. Чмыхова и Д. Г. Давыдов [107] (сложность учебного текста).

2. Используемый метод. Для изучения распределения информации в школьных учебниках физики представим себе, что их читает идеальный ученик, который усваивает всю воспринимаемую информацию, ничего при этом не забывая. Или учитель излагает учебный материал, строго придерживаясь содержания учебников, являющихся моделью учебного курса, а ученик полностью его понимает и запоминает. По мере обучения количество знаний такого ученика и их качественный состав будет изменяться в соответствии с распределением учебной информации в курсе физики. **Знания идеального ученика** (то есть сообщенная учителем информация) в каждый данный момент могут быть охарактеризованы одномерной матрицей $Z(t) = (Z_1, Z_2, \dots, Z_5)$, элементы которой показывают количество сообщенной информации по основным разделам физики: 1 – механика (М), 2 – молекулярная физика и термодинамика (МФ + Т), 3 – электродинамика (Э), 4 – оптика (О), 5 – квантовая физика и частная теория относительности (КФ + ЧТО). Последние два раздела объединены потому, что в школьных учебниках ЧТО занимает небольшой объем и сложна для понимания, как и квантовая физика.

Методика проведения контент-анализа состоит из следующих этапов [1; 118]: 1) формулируют цель, подготавливают тексты; 2) выбирают маркеры (слова, символы, рисунки), соответствующие изучаемым видам информации; 3) анализируют текст, подсчитывая количество употреблений того или иного маркера; 4) математически обрабатывают результаты, строят графики; 5) интерпретируют полученные кривые. В нашем случае маркерами являются физические модели, изображения физических объектов и математических абстракций, математические формулы и символы [43].

Особенность заключается в том, что при оценке распределения учебной информации следует учитывать сложность изучаемого материала, зависящую от степени концентрации информации или **удельной информативности** [55]. Каждый научный термин T можно охарактеризовать коэффициентом свернутости информации (или семантической сложностью), от величины которого зависит трудность его понимания учеником. **Коэффициент свернутости информации** в термине относительно уровня знаний Z равен числу простых слов ($SC = 1$), которое необходимо произнести, чтобы объяснить сущность термина человеку со знаниями Z . То есть необходимо, используя слова из тезауруса Z , дать определение O термину T , а также определения терминам T_1' , T_2' , ..., которые входят в O , и сосчитать общее число использованных слов [55, с. 21]. Получающийся КСИ покажет, сколько информации содержится в T .

В основу применяемого метода были положены следующие идеи:

1. УТ характеризуется: 1) объемом V , измеренным в буквах или словах; 2) интегральной сложностью IS или суммарной информативностью, которая показывает общее количество информации в тексте; от нее зависят временные и интеллектуальные затраты ученика, изучающего УТ; 3) дифференциальной сложностью DS или плотностью информации, которая равна отношению интегральной сложности к его объему V : $DS = IS/V$; от нее зависит трудность понимания учеником анализируемого УТ.

2. Зная объемные доли тем $\eta_{ik} = V_{ik}/V_k$ (i – номер темы) в общем тексте учебника за k -й класс и длительность учебного года, можно определить моменты начала и окончания их изучения, а также продолжительность изучения Δt_i . Так как учитель в течение учебного года (9 месяцев) сообщает информацию с постоянной скоростью, то количество информации IS_i в i -й теме пропорционально ее объему ΔV_i или времени изучения Δt_i . Интегральная сложность IS_i i -й темы прямо пропорциональна дифференциальной сложности DS_i , времени изучения Δt_i и объемному коэффициенту учебника K_k : $IS_i = a \cdot K_k \cdot DS_i \cdot \Delta t_i$,

где a – коэффициент пропорциональности, $K_k = V_k / V_7$ ($k = 7, 8, \dots, 11$), V_k – объем учебника за k -й класс.

3. УТ по физике характеризуется двумя независимыми величинами: физической сложностью F и математической сложностью M . Определив количество и сложность обсуждаемых физических моделей и изображенных на рисунках объектов, можно оценить F . Сосчитав количество формул и число математических абстракций, можно приближенно найти M для каждой темы. Полученные результаты позволяют определить дифференциальную сложность DS_i каждой темы.

4. Исходя из объема темы V_i , ее дифференциальной сложности DS_i , можно определить ее интегральную сложность IS_i . Если оценить долю информации, относящейся к тому или иному разделу физики, то это позволит по отдельности рассчитать количество информации по механике, молекулярной физике и термодинамике, электродинамике и другим разделам, содержащееся в данной теме, построить соответствующие графики.

5. При оценке сложности учебной информации следует помнить о **принципе несовместимости**: высокая точность измерений (оценок, предсказаний) несовместима с большой сложностью изучаемой системы. УТ состоит из большого числа разнородных элементов, связанных между собой разнотипными связями, поэтому учесть вклад всех факторов и построить абсолютно точную математическую модель оценки сложности практически невозможно.

3. Результаты исследования. Изучение распределения в школьном курсе физики учебной информации, относящейся к различным разделам физической науки, осуществляется на основе результатов контент-анализа школьных учебников, которые представлены в монографии [43, с. 84–91]. Контент-анализу были подвергнуты следующие учебники: 1) Перышкин А. В. Физика-7; 2) Перышкин А. В. Физика-8; 3) Перышкин А. В., Гутник Е. М. Физика-9; 4) Мякишев Г. Я., Буховцев Б. Б., Сотский Н. Н. Физика-10; 5) Мякишев Г. Я., Буховцев Б. Б. Физика-11. При этом использовалась методика определения фи-

зической и математической сложности учебного текста [43; 55], предусматривающая оценку сложности физических и математических объектов, физических явлений и экспериментов, изображенных на рисунках, теоретическую сложность физических моделей (идей, теорий, рассуждений) и математических формул в 27 темах курса физики (см. табл. 3.10 [43]). В результате для каждой i -й темы были определены две дифференциальные сложности: физическая F_i и математическая M_i .

Для нахождения дифференциальной физической сложности F_i оценивались: 1) сложность объектов, физических явлений и экспериментов, изображенных на рисунках; 2) уровень абстрактности физических моделей (идей, теорий, рассуждений), степень их оторванности от повседневной жизни, наличие кажущегося противоречия между теоретическими рассуждениями и повседневным опытом. При оценке сложности объектов, явлений и экспериментов учитывались: 1) возможность восприятия обсуждаемого объекта (явления) органами чувств; 2) изменение объекта с течением времени; 3) количество степеней свободы; 4) пространственно-временная протяженность объекта или процесса; 5) сложность структуры объекта; 6) соответствие поведения объекта «здравому смыслу». Использовалась пятибалльная шкала сложности.

Оценка дифференциальной математической сложности для каждой темы осуществлялась путем подсчета: 1) общего количества формул в теме; 2) количества формул, содержащих тригонометрические функции; 3) количества формул, содержащих пределы, производные, дифференциалы и интегралы; 4) число рисунков, на которых изображены математические абстракции (координатные оси, векторы, силовые линии, графики).

Как известно, коэффициент корреляции между физической и математической сложностями учебных текстов по физике невысок, поэтому эти показатели можно считать **независимыми характеристиками УТ** [43, с. 84]. Используя полученные значения F_i и M_i , для каждой i -й темы была определена дифференциальная сложность DS_i . После нормирования значения DS_i заполнили

интервал $[0; 1]$. Получилось, что максимальную сложность $DS = 1$ имеет тема «Элементы теории относительности» (11 класс), которая насыщена физическими моделями и идеями, трудными для понимания. Минимальную сложность $DS = 0,14$ имеют темы «Взаимодействие тел» и «Работа и мощность. Энергия» (7 класс). Дифференциальная сложность $DS = 0$ соответствует очевидным для выпускника 6 класса утверждениям типа: «если надавить пальцами на ластик, то он сожмется», «корпус судов обычно делают из стальных листов», «выпустим камень из рук – он упадет на землю».

Таблица 7. Распределение информации по темам школьного курса физики

i	k	η_i	Δt_i	t_i	DS_i	K_k	IS_i	r_{i1}	r_{i2}	r_{i3}	r_{i4}	r_{i5}	IS_{i1}^H	IS_{i2}^H	IS_{i3}^H	IS_{i4}^H	IS_{i5}^H	IS_i^H
1	7	0,173	1,56	1,56	0,26	1,00	21,4	0	1	0	0	0	0,0	21,4	0,0	0,0	0,0	21,4
2	7	0,301	2,71	4,27	0,14	1,00	20,0	1	0	0	0	0	20,0	21,4	0,0	0,0	0,0	41,4
3	7	0,333	3,00	7,26	0,17	1,00	26,9	1	0	0	0	0	46,9	21,4	0,0	0,0	0,0	68,3
4	7	0,192	1,73	8,99	0,14	1,00	12,8	1	0	0	0	0	59,7	21,4	0,0	0,0	0,0	81,0
5	8	0,164	1,48	10,47	0,27	0,99	20,9	0	1	0	0	0	59,7	42,3	0,0	0,0	0,0	102
6	8	0,170	1,53	12,00	0,27	0,99	21,7	0	1	0	0	0	59,7	64,0	0,0	0,0	0,0	124
7	8	0,436	3,92	15,92	0,32	0,99	65,9	0	0	1	0	0	59,7	64,0	65,9	0,0	0,0	190
8	8	0,103	0,93	16,85	0,38	0,99	18,5	0	0	1	0	0	59,7	64,0	84,4	0,0	0,0	208
9	8	0,127	1,14	17,99	0,17	0,99	10,2	0	0	0	1	0	59,7	64,0	84,4	10,2	0,0	218
10	9	0,355	3,20	21,19	0,31	1,18	61,8	1	0	0	0	0	121	64,0	84,4	10,2	0,0	280
11	9	0,221	1,99	23,18	0,21	1,18	26,0	1	0	0	0	0	147	64,0	84,4	10,2	0,0	306
12	9	0,225	2,03	25,20	0,54	1,18	68,2	0	0	1	0	0	147	64,0	153	10,2	0,0	374
13	9	0,199	1,79	26,99	0,80	1,18	89,4	0	0	0	0	1	147	64,0	153	10,2	89,4	464
14	10	0,155	1,40	28,39	0,93	2,28	156	1	0	0	0	0	303	64,0	153	10,2	89,4	620
15	10	0,181	1,63	30,02	0,74	2,28	145	1	0	0	0	0	448	64,0	153	10,2	89,4	765
16	10	0,102	0,92	30,93	0,91	2,28	100	1	0	0	0	0	549	64,0	153	10,2	89,4	865
17	10	0,148	1,33	32,27	0,57	2,28	91,3	0	1	0	0	0	549	155	153	10,2	89,4	956
18	10	0,135	1,22	33,48	0,40	2,28	58,4	0	1	0	0	0	549	214	153	10,2	89,4	1015
19	10	0,141	1,27	34,75	0,75	2,28	114	0	0	1	0	0	549	214	267	10,2	89,4	1129
20	10	0,056	0,50	35,25	0,73	2,28	44,2	0	0	1	0	0	549	214	311	10,2	89,4	1173
21	10	0,105	0,95	36,20	0,75	2,28	85,2	0	0	1	0	0	549	214	396	10,2	89,4	1259
22	11	0,138	1,24	37,44	0,73	2,24	107	0	0	1	0	0	549	214	504	10,2	89,4	1366
23	11	0,135	1,22	38,66	0,69	2,24	99,0	1	0	0	0	0	648	214	504	10,2	89,4	1465
24	11	0,214	1,93	40,58	0,73	2,24	166	0	0	1	0	0	648	214	670	10,2	89,4	1631
25	11	0,227	2,04	42,62	0,56	2,24	135	0	0	0	0,9	0,1	648	214	670	132	102,9	1766
26	11	0,043	0,39	43,01	1,00	2,24	45,7	0	0	0	0	1	648	214	670	132	148,6	1811
27	11	0,243	2,19	45,20	0,86	2,24	222	0	0	0	0	1	648	214	670	132	370,6	2033

Учебники физики для 7, 8, 9, 10, 11 классов имеют разные объемы, но длительности обучения одинаковы – около 9 месяцев. Поэтому школьники разных классов в течение месяца в среднем получают различное количество информации. Чтобы учесть этот фактор, было приблизительно сосчитано общее количество букв в каждом учебнике V_7, V_8, \dots, V_{11} и вычислены объемные коэффициенты $K_k = V_k / V_7$, где $k = 7, 8, \dots, 11$. Получилось: $K_7 = 1, K_8 \approx 1, K_9 \approx 1,18, K_{10} \approx 2,28, K_{11} \approx 2,24$.

Результаты изучения распределения информации представлены в табл. 7, состоящей из столбцов: 1) номер темы i ; 2) номер класса k ; 3) объемная доля темы η_i (отношение числа страниц темы к их общему количеству в учебнике); 4) время Δt_i изучения i -й темы в месяцах; 5) время t_i с начала 7 класса до окончания изучения i -й темы в месяцах; 6) дифференциальная сложность DS_i темы из табл. 3.10 [43]; 7) объемный коэффициент $K_k = N_k / N_7$ учебника; 8) интегральная сложность темы IS_i , которая пропорциональна ее общей информативности; 9) доли учебной информации $r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{i5}$ ($r_{ik} \in [0;1]$), относящейся к различным разделам физики (М, МФ + Т, Э, О, КФ + ЧТО); 10) количества информации $IS_{i1}^H, IS_{i2}^H, \dots, IS_{i5}^H$ по различным разделам физики, полученные суммированием с накоплением от первой до i -й темы; 11) общее количество информации IS_i^H , сообщаемое школьнику с начала изучения физики (находится путем суммирования с накоплением). При этом использовались формулы:

$$IS_i = a \cdot K_k \cdot DS_i \cdot \Delta t_i, \quad IS_{ip}^H = \sum_{m=1}^i r_{mp} \cdot IS_m, \quad IS_i^H = \sum_{m=1}^i IS_m,$$

где $k = 7, 8, \dots, 11$ – номер класса, $i = 1, 2, \dots, 27$ – номер темы, $p = 1, 2, \dots, 5$ – номер раздела физики.

За 1 усл. ед. инф. (УЕИ) принято среднее количество информации, содержащееся в одном параграфе 2-й темы «Взаимодействие тел» в 7 классе (она

содержит 20 параграфов). Из этих соображений выбран коэффициент $a = 52,8$ ($I_2 = 20$ УЕИ). Допустим, некоторая тема за 7 класс ($K_7 = 1$) с $DS = 0,25$ изучается в течение $\Delta t = 1$ месяца; тогда ее интегральная сложность равна 13,2 УЕИ. Если бы у всех тем и школьных учебников $DS = 0,5$ и $K_k = 1,5$, то за 5 учебных лет по 9 месяцев в год интегральная сложность изученного материала составила бы $IS_{27}^H = 1782$ УЕИ. В нашем случае $K_k = 1 - 2,28$, а DS_i лежит в интервале $[0,14; 1]$ (табл. 7), поэтому интегральная сложность IS_{27}^H всего школьного курса физики равна 2033 УЕИ.

На основе данных из табл. 7 построены (рис. 14): 1) график с накоплением, показывающий динамику увеличения суммарных знаний идеального ученика по физике в 7–11 классах $Z(t) = IS_i^H(t)$; 2) график изменения количества знаний по механике $Z_1(t) = IS_1^H(t)$; 3) полосы, показывающие увеличение знаний по другим разделам физики (МФ + Т, Э, О, КФ + ЧТО). Для любого момента времени t : $IS^H(t) = IS_1^H(t) + IS_2^H(t) + IS_3^H(t) + IS_4^H(t) + IS_5^H(t)$.

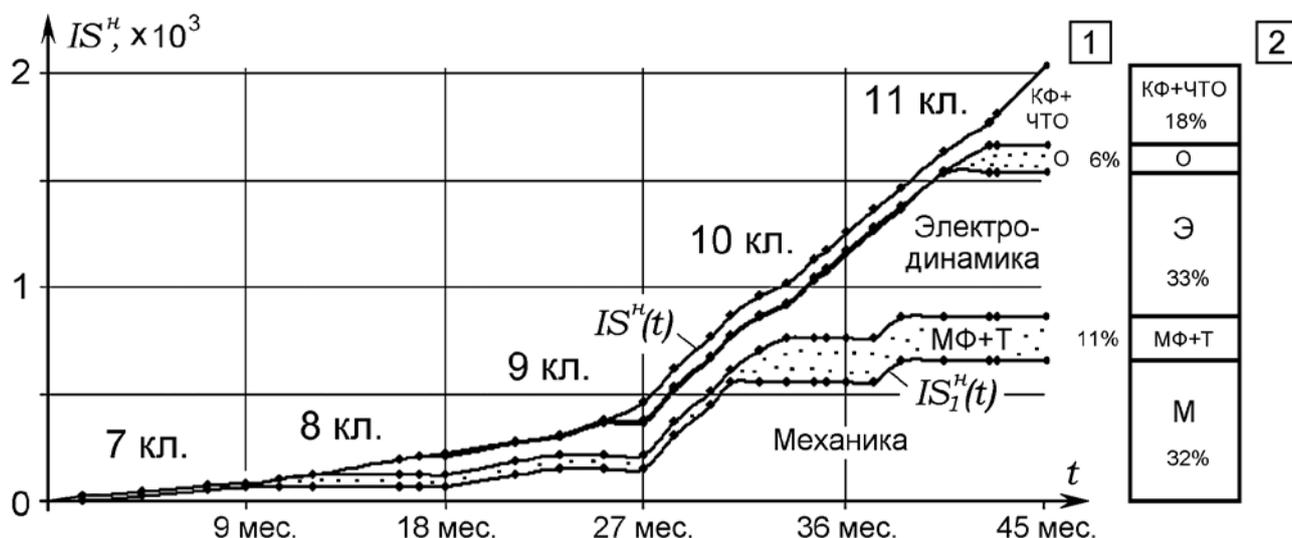


Рис. 14. Распределение информации в школьном курсе физики (по разделам)

Из графиков, представленных на рис. 14.1, и табл. 7 следует, что: 1) информативность школьных учебников физики в 7–11 классах монотонно возрастает: 7 кл. – 81 УЕИ, 8 кл. – 137 УЕИ, 9 кл. – 246 УЕИ, 10 кл. – 795 УЕИ, 11 кл. – 774 УЕИ; 2) средняя скорость поступления информации в 7–11 классах также монотонно увеличивается: 7 кл. – 9 УЕИ/мес., 8 кл. – 15 УЕИ/мес., 9 кл. – 27 УЕИ/мес., 10 кл. – 88 УЕИ/мес., 11 кл. – 86 УЕИ/мес.; 3) средняя скорость поступления учебной информации в 7–9 классах составляет 17 УЕИ/мес., а в 10–11 классах – 87 УЕИ/мес., что примерно в 5 раз больше; 4) количество информации по физике IS_{27}^H , сообщенной ученику к концу 11 класса, в 4,4 раза больше количества информации IS_{13}^H , сообщенной в 7, 8 и 9 классах; 5) знания идеального ученика к концу 7, 8, 9, 10, 11 классов характеризуются матрицами: $Z_7 = (60, 21, 0, 0, 0)$, $Z_8 = (60, 64, 84, 10, 0)$, $Z_9 = (147, 64, 153, 10, 89)$, $Z_{10} = (549, 214, 396, 10, 89)$, $Z_{11} = (648, 214, 670, 132, 371)$.

К моменту окончания школы знания по физике у **идеального выпускника** можно разделить на три примерно равные части (рис. 14.2): 1) механика (32 %); 2) электродинамика (33 %); 3) все остальное: молекулярная физика и термодинамика, оптика, квантовая физика и частная теория относительности (35 %). Эта асимметрия обусловлена тем, что: 1) механические и электромагнитные явления часто встречаются школьнику в повседневной жизни, широко используются в технике и на производстве, поэтому их изучение имеет большое практическое значение; 2) элементы квантовой физики и теории относительности объективно сложнее и представляют трудность для понимания (это темы 26 и 27, их $DS = 0,86$ и 1). Приведенные числовые значения определены с погрешностью около 10 %, которая включает в себя недостатки используемой математической модели и возможные ошибки при подсчете и оценке маркеров.

Новизна полученных результатов состоит в том, что построен график с накоплением, который отображает динамику изменения вклада каждого раздела физики в общее количество информации с течением времени, а также уста-

новлен ряд фактов, касающихся скорости поступления учебной информации. При этом были учтены: 1) дифференциальная сложность темы, от которой зависит трудность ее понимания учеником; 2) интегральная сложность, характеризующая общую информативность темы, количество времени и усилий, требующихся для ее изучения; 3) доля учебной информации, относящейся к механике, молекулярной физике и термодинамике, электродинамике, оптике и квантовой физике. Для повышения точности результатов следует использовать более детализированный подход. Можно предположить, что при этом эксперт столкнется с теми же трудностями, связанными с подсчетом маркеров в тексте, разработкой шкал и критериев, подбором коэффициентов в формулах и т. д.

2.7. ОЦЕНКА ДИДАКТИЧЕСКОЙ СЛОЖНОСТИ РАЗДЕЛОВ КУРСА ОБЩЕЙ ФИЗИКИ

1. Обсуждение проблемы. Изучение общей физики представляет для студентов объективную трудность, так как оно предполагает анализ явлений, многие из которых не воспринимаются органами чувств. При этом используются сложные физические и математические модели, понимание которых требует владения абстрактными понятиями (интеграл, градиент, циркуляция, дивергенция). Усвоение теоретических вопросов по общей физике возможно при наличии умения выполнять алгебраические операции и проводить геометрические рассуждения, а также знаний тригонометрии, дифференциального и интегрального исчисления.

Для «измерения» ДС учебного текста необходимо просуммировать семантические сложности всех слов. Если УТ имеет большой объем, то это довольно трудоемкая задача, требующая оценки семантической сложности большого количества терминов. Поэтому предлагается использовать **метод ключевых понятий**: разбить УТ на блоки, из каждого блока выбрать 5–10 наиболее сложных ключевых терминов, представляющих наибольшую трудность для понимания, и оценить их сложность. Текст учебника оптимизирован, он содержит термины различной сложности, которые связаны друг с другом логическими связями и подчинены распределению Ципфа. Поэтому если оценить ДС самых сложных терминов, входящих в текстовый блок, то получившийся результат можно рассматривать как показатель сложности всего блока.

Проводимые рассуждения опираются на идеи И. П. Кузнецова [36], Н. Б. Самсонова, Е. В. Чмыховой и Д. Г. Давыдова [107] (семантическая теория информации); Вал. А. Лукова, Вл. А. Лукова [38; 39] (тезаурусный подход); Л. Я. Аверьянова [1], В. И. Шалака [118], М. D. White и Е. Е. Marsh [131] (кон-

тент-анализ текстов); Т. В. Батура [5], А. С. Кисельникова [28], Ю. Н. Марчук [86], М. М. Невдаха [95] (автоматизированная оценка сложности текстов).

2. Результаты оценки сложности разделов общей физики. С целью оценки ДС разделов общего курса физики был проведен контент-анализ учебного пособия [4]. Его выбор обусловлен следующим: 1) в пособии рассмотрены все разделы физики; 2) пособие написано коллективом из 4 авторов (Ю. А. Барков, Г. Н. Вотинков, О. М. Зверев, А. В. Перминов), отрецензировано и утверждено; 3) существует электронная версия в формате pdf; 4) пособие имеет небольшой объем (407 стр.). Оно состоит из двух частей: 1) теоретические основы общей физики; 2) контрольные и лабораторные работы. Анализировался лишь теоретический материал; примеры решения задач, контрольные и лабораторные работы не учитывались. Теоретические основы состоят из пяти глав, соответствующих основным разделам физики: 1) механика (М); 2) молекулярная физика и термодинамика (МФ + Т); 3) электродинамика (Э); 4) оптика (О); 5) основы атомной и ядерной физики (АЯФ). Каждая глава содержит от 2 до 5 параграфов; например, первая глава «Механика» включает в себя такие параграфы: 1.1. Кинематика, 1.2. Динамика, 1.3. Колебания и волны, 1.4. Основы гидро- и аэромеханики. Всего 18 параграфов, состоящих из нескольких подпараграфов объемом 3–5 страниц, которые можно охарактеризовать текстовой и формульной сложностью.

Метод ключевых понятий состоит в следующем. Для оценки текстовой сложности подпараграфа из него следует выписать 10 ключевых терминов, имеющих наибольшую сложность. Например, подпараграф 2.1.3 «Средняя энергия молекул» характеризуется следующим множеством ключевых терминов: давление, атом, молекула, абсолютная температура, кинетическая энергия, ..., средний квадрат скорости, энергетическая емкость. Именно они представляют наибольшую трудность для понимания; от их усвоения зависит усвоение данного подпараграфа. Если объединить все ключевые термины, входящие в параграф, сложить их сложности SC_i , а сумму разделить на их общее количе-

ство (от 20 до 100), то получившийся коэффициент свернутости информации (КСИ) можно рассматривать как показатель **средней сложности текстовой информации** в данном параграфе. Аналогично оценивается **сложность формульной информации**: для каждого подпараграфа выписывают по 5 ключевых терминов, входящих в формулы. Получается так: пп. 3.2.1. Характеристики и условия существования постоянного тока (производная, интеграл, работа сторонних сил, ЭДС, плотность тока). После этого определяют их суммарную сложность и КСИ.

Для оценки семантической сложности понятий следует осуществить их классификацию по степени абстрактности [56; 58], которая учитывает вхождение того или иного термина в тезаурус первоклассника, пятиклассника, девятиклассника и выпускника школы. При этом использовались метод подсчета значимых слов в определениях и метод парных сравнений. Оцениваемые слова были разбиты на 6 категорий, сложность которых принимает значения 1, 2, 4, 8, 16, 32. Также методом анализа определений была оценена сложность математических понятий, и установлено, что она изменяется от 2–3 (сложить, умножить) до 100–200 (градиент, дивергенция, ротор). Полученная база сравнения может быть использована для установления сложности других математических терминов [58].

Предлагаемая **методика оценки ДС текстовой и формульной информации** учебного пособия по физике состоит в следующем:

1. Для каждого подпараграфа выписывают по 10 ключевых терминов, знание которых необходимо для понимания текста и является индикатором усвоения учебного материала. Ключевые слова из всех подпараграфов первого параграфа помещают в файл *T1.txt*. Повторяют все это для других параграфов, создав файлы *T2.txt*, *T3.txt*, ...

2. Все отобранные ключевые термины собирают в текстовом файле и ранжируют их, исходя из семантической сложности, разделив все физические термины и обычные слова на 6 категорий в соответствии с методом, рассмот-

ренным в [56]. Создают файл *slovar.txt*, в котором перечислены все термины (включая двойные) с указанием соответствующей категории сложности. Учитывают ранее полученные оценки сложности математических терминов [58].

3. С помощью специальной программы *slozhnost.pas*, обращающейся к словарю *slovar.txt*, анализируют файлы *T1.txt*, *T2.txt*, *T3.txt* ... и определяют суммарное количество информации I_{Ti} , содержащееся в ключевых понятиях из различных параграфов, а также среднюю информационную емкость ключевых понятий $KСИ_{Ti} = I_{Ti} / N_{Ti}$ для каждого i -го параграфа. Применяют формулу: $I_T = n_1s_1 + n_2s_2 + \dots + n_rs_r + \dots$, где n_r – число использований r -го термина, а s_r – его сложность.

4. Для каждого параграфа оценивают долю ε_i математических и других формул по отношению к общему объему текста. Для этого читают формулы, называя входящие в них величины, и считают слова. Например: $\rho = m/V$ – «плотность равна отношению массы к объему» – 5 слов.

5. Из каждого подпараграфа выписывают по 5 ключевых физических или математических терминов максимальной сложности, используемых в математических формулах. Для каждого параграфа создают файлы *F1.txt*, *F2.txt*, *F3.txt* ..., содержащие ключевые слова, входящие в формулы.

6. Оценивают сложность каждого термина, создают словарь *slovar1.txt* и с помощью программы *slozhnost.pas* для каждого параграфа определяют суммарное количество информации $I_{\Phi i}$ в ключевых словах и коэффициент свернутости информации $KСИ_{\Phi i} = I_{\Phi i} / N_{\Phi i}$, где $N_{\Phi i}$ – число ключевых понятий в формулах i – того параграфа.

7. Из разных разделов пособия случайно выбирают предложения, определяют среднюю длину слов и среднее число слогов в словах, находят структурную сложность C и показатель сложности структуры предложений $S_{str} = C/C_0$.

8. Для каждого параграфа вычисляют дифференциальную и интегральную дидактические сложности.

$$ДДС_i = S_{str}((1 - \varepsilon_i)КСИ_{T_i} + \varepsilon_i \cdot КСИ_{\Phi_i}), \quad ИДС_i = ДДС_i \cdot V_i.$$

9. Для каждого параграфа и каждой главы рассчитывают ИДС отдельно для текстовой и формульной информации:

$$ИДС_{T_i} = S_{str} КСИ_{T_i}(1 - \varepsilon_i) \cdot V_i, \quad ИДС_{\Phi_i} = S_{str} КСИ_{\Phi_i} \cdot \varepsilon_i \cdot V_i,$$

$$ИДС_{T_k} = \sum_{j=1}^{N_k} ИДС_{T_j}, \quad ИДС_{\Phi_k} = \sum_{j=1}^{N_k} ИДС_{\Phi_j},$$

где j – номер подпараграфа k -й главы ($k = 1, 2, \dots, 5$), N_k – число параграфов в k -го главе.

Таблица 8. Результаты оценки дидактической сложности разделов физики

i	Название параграфа	V	I_T	N_T	$КСИ_T$	I_Φ	N_Φ	$КСИ_\Phi$	ε	ДДС	ИДС
1	1.1. Кинематика	10	360	30	12,0	360	15	24,0	0,33	20,7	207
2	1.2. Динамика	18,3	952	70	13,6	525	35	15,0	0,27	18,2	333
3	1.3. Колебания и волны	25	1090	90	12,1	974	42	23,2	0,2	18,6	466
4	1.4. Основы гидроаэростр.	3,5	148	20	7,4	135	10	13,5	0,09	10,3	36
Общее (1. Механика)		56,8	2550	210	12,1	1994	102	19,5	--	18,3	1042
5	2.1. Молек.-кинетич. теория	18	1094	80	13,7	557	45	12,4	0,16	17,5	315
6	2.2. Термодинамика	17,2	882	70	12,6	630	22	28,6	0,27	22,0	379
Общее (2. Мол. физ. термод.)		35,2	1976	150	13,2	1187	67	17,7	--	19,7	694
7	3.1. Электростатика	21,2	1301	90	14,5	715	40	17,9	0,23	19,8	420
8	3.2. Постоянн. электр. ток	6,5	650	40	16,3	435	20	21,8	0,26	23,0	149
9	3.3. Магнетизм	31,5	2044	100	20,4	1166	43	27,1	0,17	28,0	883
10	3.4. Электр. колеб. и волны	13,5	721	50	14,4	748	25	29,9	0,34	25,6	346
Общее (3. Электродинамика)		72,7	4716	280	16,8	3064	128	23,9	--	24,7	1799
11	4.1. Элементы геом. оптики	6,5	364	30	12,1	178	14	12,7	0,09	15,8	103
12	4.2. Осн. волновой оптики	25,9	792	69	11,5	445	45	9,9	0,15	14,6	378
13	4.3. Осн. квантовой оптики	12,8	757	40	18,9	385	20	19,3	0,16	24,7	316
Общее (4. Оптика)		45,2	1913	139	13,8	1008	79	12,8	--	17,6	797
14	5.1. Строение атома	7	456	30	15,2	106	15	7,1	0,22	17,4	122
15	5.2. Волн. свойст. вещества	7,5	280	20	14,0	78	10	7,8	0,03	18,0	135
16	5.3. Атомное ядро	12,6	752	40	18,8	191	13	14,7	0,08	24,0	303
17	5.4. Элементарные частицы	4,5	336	11	30,5	0	0	0,0	0	39,7	179
18	5.5. Элементы космологии	2,4	192	10	19,2	0	0	0,0	0	25,0	60
Общее (5. Атом. ядер. физика)		34	2016	111	18,2	375	38	9,9	--	23,5	798

Результаты оценки ДС представлены в табл. 8, содержащей столбцы: 1) номер i параграфа; 2) название параграфа; 3) объем i -го параграфа в страницах V_i ; 4) семантическая сложность ключевых понятий в тексте I_{Ti} , измеренная с помощью программы; 5) число ключевых понятий N_{Ti} ; 6) коэффициент свернутости информации $KСИ_{Ti} = I_{Ti} / N_{Ti}$ в ключевых словах, выбранных из i -го параграфа; 7) семантическая сложность ключевых физических и математических понятий $I_{\Phi i}$, составляющих формулы; 8) число ключевых понятий в формулах $N_{\Phi i}$; 9) коэффициент свернутости информации $KСИ_{\Phi i} = I_{\Phi i} / N_{\Phi i}$ в ключевых понятиях, входящих в формулы; 10) доля формул в тексте ε_i ; 11) дифференциальная дидактическая сложность $ДДС_i$; 12) интегральная дидактическая сложность $ИДС_i$. Для анализируемого учебного пособия средняя длина слова в слогах $D_{СЛ} = 3,17$, средняя длина предложения $D_{ПР} = 11,9$ слов, показатель сложности структуры предложений $S_{стр} = 1,3$.

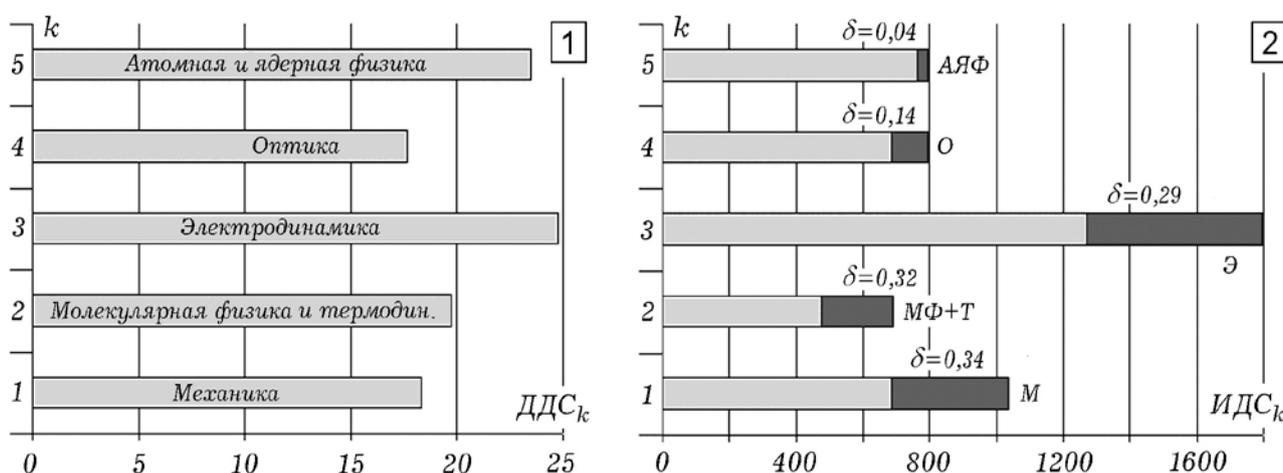


Рис. 15. Показатели $ДДС$ и $ИДС$ для отдельных разделов физики в [1]

В табл. 8 представлены $ДДС$ и $ИДС$ для каждого раздела и параграфа; на ее основе построены гистограммы на рис. 15 и 16. Из рис. 15.1 видно, что наибольшую $ДДС$ (которая пропорциональна среднему КСИ ключевых понятий и показывает трудность понимания УТ) имеют разделы «Электродинами-

ка» (24,7) и «Основы атомной и ядерной физики» (23,5); затем идут «Молекулярная физика и термодинамика» (19,7), «Механика» (18,3), «Оптика» (17,6). Так как глава 3 «Электродинамика» имеет наибольший объем (73 стр.), то ее *ИДС*, которая пропорциональна суммарному количеству семантической информации, также максимальна (рис. 15.2). За ней идут «Механика» (1040), «Основы атомной и ядерной физики» (800), «Оптика» (800) и «Молекулярная физика и термодинамика» (690). Глава 3 «Электродинамика» характеризуется высоким КСИ для текста (16,8) и формул (23,9) и большой долей формул; поэтому она имеет самую высокую *ДДС* (24,7). В разделе 5 «Основы атомной и ядерной физики» КСИ текста высок (18,2), а КСИ для формул – нет (9,9), доля формул невелика, объем УТ мал (34 стр.), поэтому при высокой *ДДС* (23,5) интегральная *ДС* невысока (798).

Из табл. 8 можно рассчитать *ИДС* текстовой и формульной составляющих для каждой главы пособия [4]; получающееся распределение показано на рис. 15.2. Рядом указана доля формульной *ИДС_Ф* в общей *ИДС* каждого раздела физики $\delta_k = ИДС_{Фk} / (ИДС_{Тk} + ИДС_{Фk})$ ($k = 1, 2, \dots, 5$). При этом получается, что в пособии [4] наиболее сложной в математическом отношении является гл. 3 «Электродинамика» ($ИДС_{Ф3} = 528$), в которой используются понятия «циркуляция», «дивергенция», «ротор»; наименее сложной – гл. 5 «Основы атомной и ядерной физики» ($ИДС_{Ф5} = 36$).

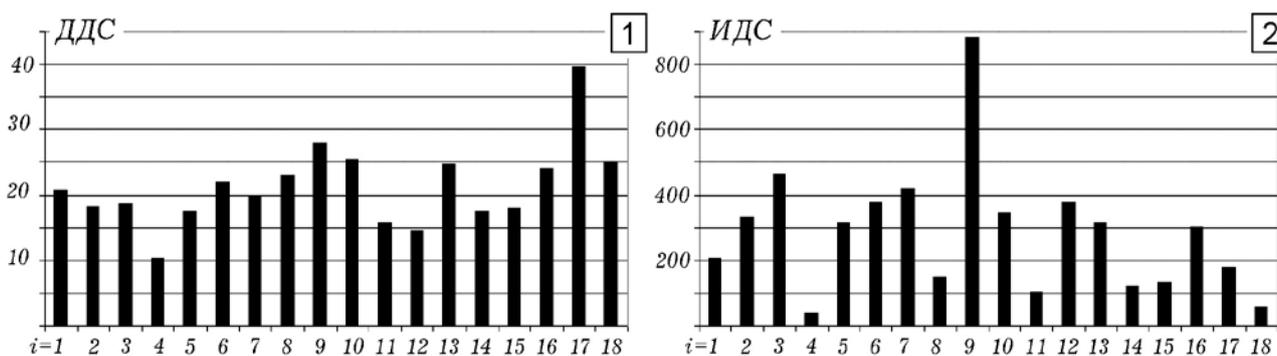


Рис. 16. Показатели *ДДС* и *ИДС* у отдельных параграфов учебного пособия [1]

Как следует из рис. 16.1 и 16.2, показатели $ДДС$ некоторых подпараграфов учебного пособия [4] отличаются в 4 раза (пп. 4 и 17), а $ИДС$ – в 24 раза (пп. 4 и 9). Наибольшую $ДДС$ имеют пп. 17 «Элементарные частицы» (ключевые понятия: нейтрино, позитрон, мезон, античастица, адрон, лептон, аннигиляция, кварк, барион, гиперон, глюон), наименьшую – пп. 4 «Основы гидро- и аэромеханики» (ему также соответствует наименьшая $ИДС$). Подпараграф 9 «Магнетизм» имеет максимальный объем (32 стр.) и наибольшую $ИДС$ (883).

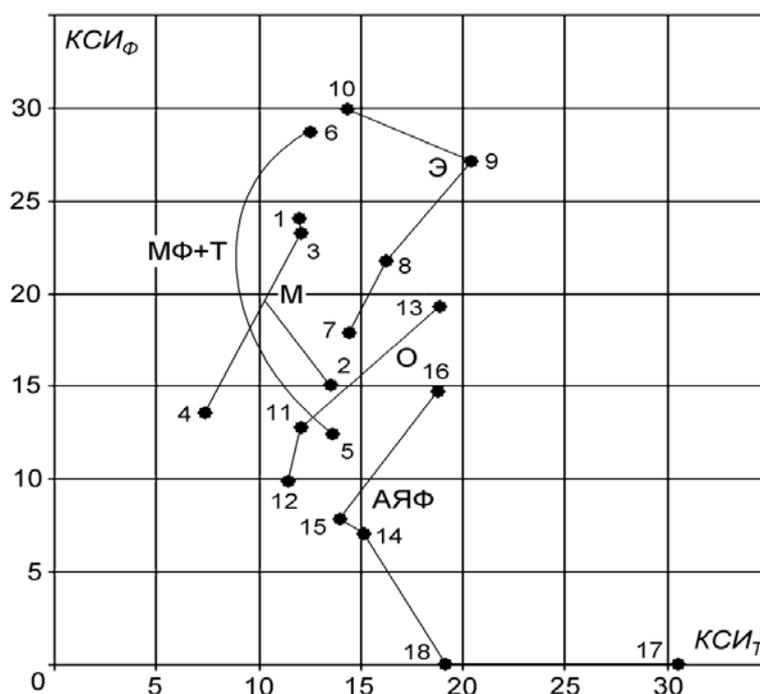


Рис. 17. Распределение подпараграфов учебного пособия [4] в пространстве «текстовый $КСИ_T$ – формульный $КСИ_Ф$ »

Рассмотрим распределение параграфов учебного пособия [4] в пространстве «текстовый $КСИ_T$ – формульный $КСИ_Ф$ » (рис. 17). Текстовый $КСИ_T$ для большинства подпараграфов лежит в интервале от 7 до 20, а формульный $КСИ_Ф$ – в интервале от 7 до 30. Так как точки, соответствующие подпараграфам, располагаются хаотически, а не выстраиваются в линию, то можно утверждать, что $КСИ$ текстовой и формульной информации слабо коррелируют друг

с другом и являются независимыми характеристиками учебных текстов по физике. Из рис. 17 видно, что у п. 17 высокий $KСИ_T$, но отсутствуют формулы, а у пп. 1, 3, 6, 8, 9, 10 высокий $KСИ_Ф$, то есть обсуждаемые в них математические модели представляют трудность для понимания.

Таким образом, рассмотрена методика оценки дифференциальной и интегральной дидактической сложности учебных текстов по физике. Она заключается в выявлении **ключевых понятий** в тексте, формулах и определении их средней информационной емкости ($KСИ$). При оценке семантической сложности научных понятий учитывались количества слов в их определениях, вхождение в языковую картину мира и степень абстрактности. Кроме того, принималась во внимание структурная сложность текста, зависящая от средних длин слов и предложений. В результате анализа учебного пособия [4] установлено, что **наиболее сложными для понимания** являются разделы «Электродинамика» и «Основы атомной и ядерной физики»; их $ДДС$, показывающая сложность элементарных высказываний, высока. Суммарное количество времени и усилий, требующихся для усвоения всего учебного материала, характеризуется $ИДС$; у раздела «Электродинамика» $ИДС$ существенно больше, чем у других разделов физики, что вызвано большим объемом и использованием понятий с высокой степенью абстрактности. Из подпараграфов наибольшую $ИДС$ имеет параграф 9 «Магнетизм»; это обусловлено объективной сложностью магнитных явлений. Использование предложенного **метода ключевых понятий** поможет оценить дидактическую сложность различных учебных текстов и произвести их сравнение.

2.8. ОЦЕНКА СЛОЖНОСТИ УЧЕБНЫХ ТЕКСТОВ ДЛЯ НАЧАЛЬНОЙ ШКОЛЫ

1. Обсуждение проблемы. С точки зрения лингвистов, семантическая сложность выше у того слова, значение которого характеризуется большим числом семантических признаков. Этот подход не учитывает влияние повседневной жизни, чувственно-наглядный опыт человека. Семантическая сложность слов «компьютер», «телевизор», «телефон» не велика даже для первоклассника, хотя обозначаемые ими объекты имеют сложную структуру и характеризуются большим числом признаков. Психологами установлено, что семантическая сложность слова тем выше, чем больше времени требуется для понимания, припоминания и т. д. [130]. Это соответствует **закону Хика**: чем выше информативность (сложность) раздражителя, тем больше времени требует мозг для его узнавания, классификации, принятия решения и т. д.

Учеными исследуется влияние абстрактности, частотности и лексического многообразия на сложность учебного текста [10; 90]. В [93] выявлена отрицательная корреляция между возрастом усвоения слов и их частотностью; это означает, что **редко встречающиеся слова усваиваются позже**. Возраст приобретения, частотность, образность связаны между собой и определяют время извлечения слова из памяти. Ранее приобретенные слова частотнее и образнее [129]. Исследования [121; 129; 130] подтвердили, что возраст приобретения слова существенно влияет на простоту его припоминания, то есть на сложность слова.

Итак, необходимо разработать простой метод оценки дидактической сложности текстов для младших школьников, основанный на учете их структурной сложности и частотности используемых слов. При этом учитывается, что чем выше частотность слова, тем меньше его семантическая сложность;

слова с высокой частотностью усваиваются раньше и более понятны школьнику. В основе предлагаемого подхода лежат работы следующих ученых: Э. Г. Гельфман, М. А. Холодная [16] (психодидактика), А. Я. Вахрушева, М. И. Солнышкина, Р. В. Куприянов, Э. В. Гафиятова и И. О. Климагина [10], Е. Мартынова, А. Мерзлякова и Д. Гизатулина [85] (параметры текста), Л. В. Коростелева [33], О. Н. Ляшевская и С. А. Шаров [40], О. В. Нагель, Н. Ф. Кокшарова и А. С. Буб [93] (частотность слов), Д. А. Морозов и Б. Л. Иомдин [90], E. Bates, S. D'Amico, T. Jacobsen et al. [121], С. М. Morrison, A. W. Ellis, P. T. Quinlan [129], P. W. Thorndyke [130] (сложность слов), В. И. Шалак [118] (контент-анализ). Для оценки ДС текстов использовались компьютерные программы, предназначенные для удаления стоп-слов, вычисления частотной сложности слов (основываясь на данных из частотного словаря) и общей семантической сложности УТ.

2. Предлагаемый метод оценки сложности текста. ДС текста равна произведению коэффициента лингвистического разнообразия, структурной и семантической сложности текста: $DC = R K_{cmp} SC$ [55]. Коэффициент разнообразия

$$R = -\frac{1}{\ln(N)} \sum_{i=1}^{N'} p_i \ln p_i,$$

где N – объем УТ в словах, N' – число различных слов, $p_i = n_i / N$ – эмпирическая вероятность использования i -го слова в тексте ($i = 1, 2, \dots, N'$); n_i – число использований i -го слова. Если все слова используются по одному разу, то $N' = N$, $p_i = 1/N$, и R достигает максимального значения 1.

Структурная сложность конкретного предложения или текста равна [55]: $K' = D_{cl}(1 + \ln D_{np})$, где D_{cl} – среднее число букв в слове, D_{np} – среднее число слов в предложении. Если предложение из одного слова ($D_{np} = 1$), то $K' = D_{cl}$. Структурная сложность предложения из 5 слов по 5 букв каждое равна

$K' = 5(1 + \ln 5) \approx 13$; ее примем за единицу. Тогда относительная структурная сложность предложения $K_{стр} = D_{сл}(1 + \ln D_{пр})/13$.

Семантическая сложность слова характеризуется количеством смысловой информации, которое оно несет. Чем больше информации в сообщении, тем сильнее уменьшается **неопределенность знаний** читателя после его получения. Из двух слов «город» и «Лондон» чаще употребляется слово «город», но информативнее (и сложнее) слово «Лондон», так как оно более конкретно.

Оценка семантической сложности научных понятий осуществляется путем [55]: 1) парных сравнений по шкале 1 – 2 – 4 – 8 – 16 – 32 – 64, исходя из учета их абстрактности и сложности определений или объяснений; 2) суммирования сложностей понятий, входящих в их определения; 3) установления возраста усвоения термина или вероятности его вхождения в тезаурусы Z_1 первоклассника, Z_5 пятиклассника, Z_{11} одиннадцатиклассника [38; 39]. Если слово входит в тезаурус Z_1 , то его семантическая сложность низкая, а если не входит в Z_{11} – довольно высокая.

Этот подход эффективен для научных терминов, сложность которых в десятки раз выше сложности «простых» слов: «дом», «человек» и т. д., принимаемой за единицу. Он неприменим для оценки сложности «обычных» слов, составляющих тексты для 1–4 классов. Особенностью таких УТ является почти полное отсутствие скрытой (имплицитной) информации: ученик не должен вспоминать какой-нибудь закон, теорему или определение, чтобы понять текст. В текстах используется большое количество слов, которые известны младшему школьнику без дополнительных пояснений и определений. При оценивании таких УТ следует учитывать, что **смысловая сложность** слова тем выше, чем реже оно встречается в корпусе русского языка, то есть чем ниже его частотность.

Почему увеличение сложности приводит к уменьшению частоты употребления слов? Потому что: 1) обсуждение любой проблемы начинается с простых вопросов и переходит к сложным, причем уровень сложности может

быть низким, средним или высоким (это зависит от целевой аудитории); 2) число специалистов по конкретной проблеме всегда меньше количества неспециалистов (включая детей), которые не смогут понять сложные рассуждения.

Психологи отмечают, что во время формирования языковой системы ребенка его мышление дологическое, комплексное. Ребенок легче усваивает слова, характеризующиеся высокой наглядностью и обозначающие объекты, встречающиеся в повседневной жизни [16]. Формируются связи «образ – значение», вокруг них образуются семантические поля, возникают концепты, составляющие **обыденную картину мира**. Усвоенные слова активно употребляются в устной речи, то есть оказываются включенными в деятельность. При этом дошкольник часто слышит другие непонятные для него слова. Родители, воспитатели и учителя объясняют те понятия, которые ребенок способен понять и представить. Абстрактные термины, образованные от других абстракций, он узнает позже. Чем сложнее понятие, чем оно абстрактнее и дальше от обыденной картины мира, тем позднее усваивается членами общества и тем реже употребляется. Поэтому семантическая сложность слова может быть охарактеризована возрастом его усвоения или частотой использования.

Ранее использовалось понятие **частотной сложности** F слова:

$$F = \ln(10^6 / f) - 3,318,$$

где f – среднее число использований слова, приходящееся на миллион слов, определенное по частотному словарю [40]. У наиболее часто используемых слов F близко к 1 (быть, весь, он, что, я); у самых редких слов, встречающихся в словаре, $F \approx 10,5$ (консерватизм, приобщать, безотрадный, гамбит). Можно предположить, что существует ученик $У$, для которого смысловая сложность слова прямо пропорциональна его частотной сложности: $SC \approx kF$.

За единицу измерения семантической сложности примем сложность слов, для которых $F = 5$ (солнце, любовь, отвечать, ухо, неделя, молчать). Тогда для нахождения семантической сложности текста достаточно просуммировать F_i для всех N составляющих его слов, а результат разделить на 5:

$$SC = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^N F_i.$$

Важным показателем является удельная ДС, равная отношению общей ДС к количеству слов N в УТ. Если удельная ДС $DC_{y\partial}(T_1)$ текста T_1 в k раз больше $DC_{y\partial}(T_2)$ текста T_2 , то для ученика $У$ чтение и понимание 10 случайных слов из текста T_1 в среднем в k раз труднее, чем из текста T_2 .

Предлагаемый метод определения дидактической сложности учебных текстов для 1–4 класса требует использования специальных компьютерных программ, написанных на языке *ABCPascal*, а также файла *slovar.txt*, в котором перечислены слова и их частотность. Он заключается в следующем:

1. Копируют анализируемый текст в файл *1.txt*. Используя компьютерную программу *program1.pas*, убирают из текста стоп-слова, частицы, предлоги длиной 1–2 буквы: а, в, и, к, о, с, у, бы, до, же, за, из, ко, ли, на, не, ни, но, от, по, то и т.д.; результат сохраняют в файле *2.txt*.

2. Используя скачанную из Интернета программу *Text_analyzer.exe*, получают список всех встречающихся в тексте слов; их помещают в файл *3.txt*.

3. Редактируют файл *3.txt*, преобразовав существительные, прилагательные, глаголы в начальную форму, в которой они представлены в частотном словаре *slovar.txt*. Если какое-то слово встречается в исходном тексте n раз, то и в файле *3.txt* оно должно встречаться n раз.

4. С помощью программы *program2.pas*, обращающейся к частотному словарю, анализируют файл *3.txt*. У каждого слова определяют частотную сложность F_i и суммируют их для всех слов, вычислив общую семантическую сложность текста SC . Для определения частотности собственных имен обращаются к [40].

5. С помощью MS Word определяют количество букв (пробел не считается) и слов в тексте *2.txt*. Вычисляют среднюю длину слов и их среднее число в предложении; для этого следует сосчитать количество точек (точка с запятой, двоеточие и тире, поставленные между частями сложного предложения, также заменяются точкой). Определяют структурную сложность $K_{стр}$.

6. С помощью MS Excel вычисляют коэффициент разнообразия R . Рассчитывают интегральную ИДС и дифференциальную ДДС сложность текста.

3. Результаты оценки дидактической сложности текстов.

В качестве примера оценим ДС следующих шести текстов.

Текст 1. КОЗА. Волк видит – коза пасётся на каменной горе и нельзя ему к ней подобраться. Он ей и говорит: «Пошла бы ты вниз. Тут и место поровнее, и трава для корма много слаще». А коза и говорит: «Не за тем ты, волк, меня вниз зовёшь – ты не об моём, а своём корме хлопчешь». (Л. Толстой)

Текст 2. БАСНЯ. Да, гениальный способ придумали в древности мудрецы, как, не причинив человеку прямой обиды, все же сказать ему правду в глаза. Они давали людям заглянуть в чудесное зеркало, в котором отражались всякие звери и диковинные вещи, являвшие собой зрелище сколь занимательное, столь и поучительное. Мудрецы называли это зеркало басней, и что бы ни делали звери, всё разумное и глупое люди поневоле относили к себе и при этом думали: эта басня сложена про меня. Поэтому и рассердиться на басню никто не мог. Приведем пример. Стояли две высокие горы, а на их вершинах стояло по замку. Внизу, в долине, рыскала голодная собака, обнюхивая землю в поисках мышей или куропаток. Вдруг из одного замка послышался звук трубы; он вещал, что там вот-вот сядут за стол. Собака тотчас помчалась на гору, надеясь, что и ей перепадет кусочек, но не успела она и полпути пробежать, как там перестали трубить, зато затрубили в другом замке. Тут собака подумала, что в первый замок ей не поспеть, там, видно, уже отобедали, а вот во втором еще только за стол садятся. Она сбежала с этой горы и помчалась на другую. Тут снова затрубили в первом замке, во втором же труба смолкла. Собака снова сбежала вниз и снова помчалась на гору; так она и бегала взад и вперед до тех пор, пока не смолкли обе трубы, потому что и здесь, и там уже отобедали. А ну-ка догадайся, что хотели сказать этой басней древние мудрецы и кто этот глупец, который бегают, пока не свалится с ног, но так ничего и не находит ни здесь, ни там? (Х. К. Андерсен)

Текст 3. ДРУЗЬЯ. В октябре Сережа и Витя ловили с лодки рыбу в лесной речке. Забросил Витя удочку и застыл от изумления. По реке плыли белки. Зверьки пытались переплыть реку. Но сильное течение уносило их от берега. Белки стали тонуть. Мальчики решили помочь животным. Сачками и руками они ловили белок. Пассажиры смело сидели в лодке. Лодка наполнилась. Витя причалил к берегу. Белки живо помчались в лес. Больше часа трудились мальчики, пока выловили из воды белок. Ребята помогли животным спастись от голода. Ведь белки шли искать другие леса, где в этом году уродилось много орехов, шишек, желудей. (Г. Скребицкий)

Текст 4. ЗВЕЗДЫ. Наука, которая изучает звёзды, называется астрономией. В переводе с греческого «астра» – это звезда. Астрономы наблюдают за звёздами при помощи специального и очень мощного прибора – телескопа. Звезда – это небесное тело, которое состоит из раскаленного газа. Звёзды зарождаются в космическом пространстве из сгустка межзвёздного газа. Сгусток начинает вращаться с очень большой скоростью и постепенно увеличивается в размерах в несколько раз. Внутри него температура достигает колоссальных значений – несколько миллионов градусов, и он начинается светиться – так происходит зарождение новой звезды. Ближайшая к нашей планете звезда – Солнце, которое во много раз больше Земли. Из-за его яркого света днем мы не можем видеть других звёзд, потому что они находятся дальше и их свечение не такое яркое. На самом деле в нашей галактике есть звёзды, которые светят во много раз ярче Солнца, однако они находятся очень далеко от земного шара.

Текст 5. А. С. ПУШКИН. Александр Сергеевич Пушкин – самый известный русский поэт и писатель. Двести лет назад он создал литературный русский язык, которым мы пользуемся до сих пор. В тридцать семь лет Пушкина убил на дуэли француз Жорж Дантес. За свою недолгую жизнь Пушкин создал сотни произведений всех видов и жанров: поэм и стихотворений, повестей и романов, заметок и критических статей. Еще при жизни он был признан величайшим из русских поэтов.

Текст 6. СТАЛЬ. На металлургических заводах из железной руды выплавляют чугун, а из чугуна – сталь. Чугун и сталь – это сплавы железа с углеродом. Чугун хрупок, поэтому он идёт на изготовление только некоторых изделий. Сталь же имеет огромное значение для экономики. Очень многое делают из стали – от обыкновенных кухонных ножей до сложных машин и механизмов. Сталь – основное сырьё для машиностроения. Железную руду нужно расходовать экономно. (Природоведение, 4 класс)

Таблица 9. Результаты определения ДС учебных текстов

ТЕКСТ	N	$D_{сл}$	$D_{пр}$	$K_{стр}$	R	SC	$ИДС$	$ДДС$
1. Коза	39	4,59	4,88	0,91	0,89	35,8	29,1	0,75
2. Басня	195	5,63	11,5	1,49	0,90	195,8	261,8	1,34
3. Друзья	78	5,79	5,20	1,18	0,94	97,0	107,1	1,37
4. Звезды	114	6,54	10,4	1,68	0,89	122,8	183,7	1,61
5. Пушкин	56	6,04	11,2	1,59	0,95	63,54	96,0	1,71
6. Сталь	49	6,75	7,00	1,53	0,90	66,0	91,1	1,86

Результаты оценки дидактической сложности УТ представлены в табл. 9. Она состоит из столбцов: 1) название текста; 2) объем $V = N$ в словах; 3) средняя длина слова в тексте $D_{сл}$; 4) среднее число слов в предложении $D_{пр}$; 5) структурная сложность $K_{стр}$; 6) коэффициент разнообразия R ; 7) суммарная семантическая сложность текста SC ; 8) интегральная дидактическая сложность $ИДС = R K_{стр} SC$; 9) дифференциальная ДС $ДДС = DC / N$. Тексты в табл. 9 расположены в порядке возрастания $ДДС$, показывающей среднюю ДС, приходящуюся на одно слово. Видно, что ДС рассмотренных текстов варьируется от 29 до 262, что отчасти обусловлено их различными объемами. Семантическая сложность текста 4 «Звезды» приблизительно равна 123; значит, этот УТ примерно в 120 раз сложнее по смыслу одного слова с частотной сложностью $F = 5$ («солнце», «ухо», «неделя»). $ДДС$ изменяется от 0,75 до 1,86, то есть почти в 2,5 раза.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей монографии решены следующие проблемы:

1. Выявлены следующие основные факторы, влияющие на абстрактность и семантическую сложность учебных физических понятий: 1) степень вхождения понятия *П* в тезаурус первоклассника, пятиклассника, девятиклассника и выпускника школы; 2) длина слова; 3) частота использования понятия, определенная по всему корпусу русского языка; 4) возможность восприятия соответствующего объекта (процесса) органами чувств или необходимость представлять его в своем воображении; 5) структурная сложность обозначаемого объекта или процесса; 6) пространственная и временная протяженность объекта или процесса; 7) похожести научного термина на хорошо известные слова.

2. Изучена зависимость семантической сложности понятий от физической сложности объекта. Показано, что термины, обозначающие объекты микро- и мегамира, имеют более высокую смысловую сложность, чем термины, обозначающие объекты макромира. Проанализированы два подхода к формированию понятия: 1) изучение «в глубину», «от целого к частям» (атом, животные, растения, компьютер, устройство радиоприемника, строение Солнца, Земли, других небесных тел и т. д.); 2) изучение «от частей к целому» (сначала изучают числа и арифметические действия, а затем математические выражения; сначала – атомы химических элементов, а затем молекулы органических веществ; сначала – операторы, а затем компьютерные программы; сначала – полупроводниковые приборы, а затем работу электронных устройств и т. д.).

3. Рассмотрен метод оценки семантической сложности понятий, основанный на парных сравнениях. Предложен новый метод, предусматривающий использование компьютерных программ, автоматизирующих и рандомизирую-

щих процессы парного сравнения и оценки сложности понятий, а также сохраняющих результаты оценки в текстовый файл. Предложена компьютерная программа, которая выводит на экран оцениваемые понятия и шкалу сложности 1 – 2 – 4 – 8 – 16 – 32 – 64 с указанием соответствующих опорных понятий. Эксперт, сопоставляя оцениваемое понятие с опорными, приблизительно определяет смысловую сложность понятия и вводит ее значение с клавиатуры.

4. Проанализирована зависимость сложности слова от частоты использования. Увеличение сложности понятия приводит к уменьшению частоты его употребления; это позволяет ввести частотную сложность понятия, которая пропорциональна логарифму от величины, обратной частоте использования слова в корпусе русского языка. С помощью частотного словаря изучена зависимость количества слов от их частотной сложности.

5. Показано, что сложность понятия, оставаясь его объективной характеристикой, зависит от выбора тезауруса, относительно которого она определяется. Используя слова из тезауруса среднестатистического выпускника школы, можно объяснить некоторые понятия в «двух словах». Чтобы сделать то же самое с помощью тезауруса пятиклассника, потребуется 6–9 слов; с помощью тезауруса первоклассника – 12–18 слов. Таким образом, по мере обучения и расширения тезауруса ученика Z сложность одного и того же понятия относительно Z уменьшается. Трудность усвоения или применения понятия зависит от уровня знаний конкретного ученика и является субъективной характеристикой.

6. Выявлены 8 величин, характеризующих каждое научное понятие. Для 80 понятий с помощью шкалы Лайкерта произведена оценка этих восьми признаков; методом парных сравнений оценена их дидактическая сложность. Вычислены коэффициенты корреляции между всеми характеристиками понятий, построена математическая модель, связывающая их с категорией сложности U . Обнаружено, что определить сложность понятий на основе экспертных оценок их атрибутов довольно затруднительно, потому что: 1) точность оценки атрибутов невелика; 2) связь между атрибутами и сложностью имеет стохастиче-

ский характер. Предложен метод оценки сложности понятий с невысоким уровнем абстрактности, основанный на учете частоты их употребления в корпусе русского языка.

7. Для оценки сложности абстрактных понятий (ускорение, мощность и т. д.) предлагается использовать метод вычисления сложностей, заключающийся в следующем. Формулируют определение понятия P , в нем находят самое сложное понятие, сложность которого умножают на коэффициент $k = 1,1-1,5$ либо складывают с положительным числом m , зависящим от сложностей других слов, входящих в определение. В некоторых случаях складывают сложности двух или трех самых сложных понятий в определении понятия P . Предложена компьютерная программа, вычисляющая сложность физических понятий.

8. Методом вычисления сложности произведена оценка сложности математических понятий, обозначающих абстрактные объекты (производная, интеграл, дивергенция, ротор вектора и т. д.). При этом использовалась компьютерная программа, содержащая операторы типа: `integral := funkciya + proizvodnaya + 5`; . Полученные результаты фактически представляют собой базу сравнения, позволяющую оценить сложность других математических терминов. Это облегчает определение сложности учебных тестов, содержащих математические высказывания.

9. Рассмотрен метод оценки дифференциальной дидактической сложности (ДДС) и интегральной дидактической сложности (ИДС) учебных текстов. Обсуждены «напряженные», «мягкие» и «жесткие» тексты. Семантическая сложность УТ находится путем суммирования сложностей составляющих его терминов и обычных слов. Для учета логических связей между предложениями в УТ добавляют слова «значит», «поэтому» и к результату прибавляют их сложности.

10. Произведена оценка сложности различных школьных дисциплин путем контент-анализа учебников. Для этого из учебных текстов случайным образом выбирались по 10 страниц. С каждой страницы выписывались по 5 ключе-

вых понятий, знание которых необходимо для понимания текста, и определялась их семантическая сложность. Установлено, что наибольшую ДДС имеют биология, физика, химия и математика, это объясняется большим количеством абстрактных понятий и рассуждений, которые должен усвоить школьник. Невысокие показатели сложности у обществоведения и географии. Все это согласуется со шкалой трудности школьных дисциплин.

11. Осуществлена оценка дидактической сложности описаний 10 фундаментальных физических экспериментов (по 2 опыта из каждого раздела физики) и вычислен средний коэффициент свернутости информации. Для этого был создан текстовый файл *text.txt*, содержащий описание опыта, и файл *slovar.txt*, включающий используемые научные термины с указанием их уровня сложности. После этого был проанализирован файл *text.txt* с помощью компьютерной программы, которая обращалась к словарю и суммировала сложности слов, входящих в описание. Также получены сложностные профили описаний опытов, то есть распределение числа терминов по сложности, построены гистограммы.

12. Анализ школьных учебников позволил выделить 7 информационных блоков, из которых могут быть построены 9 постепенно усложняющихся логико-семантических моделей атома. Для оценки семантической сложности этих моделей соответствующие тексты были помещены в текстовые файлы и проанализированы компьютерной программой. Установлено, что самой сложной является модель М-123467, ДС которой в 90 раз больше, чем у модели М-1. По мере обучения в школе ученик переходит от одной модели атома к другой, при этом информативность модели увеличивается примерно в 40 раз, дидактическая сложность – в 90 раз, а плотность информации – в 2 раза.

13. Изучена проблема зависимости сложности понятий и моделей от момента их изучения в школе. Для этого были выбраны наиболее характерные понятия, соответствующие 1–11 классам общеобразовательной школы и 1–3 курсам института по специальностям «Математика» и «Физика», и затем оце-

нены их сложности. Если на координатную плоскость, образованную осями времени и сложности, нанести точки, соответствующие перечисленным понятиям, то получится область, ограниченная параболой. Сложность самых сложных понятий за время обучения в школе (11 лет) возрастает почти в 90 раз. Похожие результаты получены для различных теоретических моделей атома; их сложность по мере обучения увеличивается от 90 в 3 классе до 8000 на втором курсе института.

14. Изучены закономерности распределения учебной информации в школьных учебниках, относящейся к различным разделам физики. При этом для каждой из 27 тем были определены: объемная доля темы (отношение числа страниц темы к их общему количеству в учебнике); дифференциальная сложность темы; объемный коэффициент учебника; интегральная сложность темы, которая пропорциональна ее общей информативности; доля учебной информации, относящейся к различным разделам физики (М, МФ + Т, Э, О, КФ + ЧТО); количества информации по различным разделам физики, полученные путем суммирования с накоплением от первой до i -й темы; общее количество информации, сообщаемое школьнику с начала изучения физики. Построены графики зависимостей различных видов информации от времени.

15. Произведена оценка дидактической сложности разделов курса общей физики. Проведен контент-анализ учебного пособия, состоящего из 5 глав, соответствующих основным разделам физики: механика, молекулярная физика и термодинамика, электродинамика, оптика, основы атомной и ядерной физики. Каждый из 18 параграфов разбит на части объемом 3–5 страниц, из которых выписаны по 10 ключевых терминов из текста и по 5 ключевых терминов, входящих в формулы. Путем суммирования сложностей понятий для каждого параграфа определена дифференциальная дидактическая сложность, а затем и интегральная дидактическая сложность. Это позволило оценить дифференциальную и интегральную дидактические сложности каждого раздела физики.

16. Рассмотрен новый метод определения дидактической сложности учебных текстов для начальной школы, основанный на учете частоты использования слов в корпусе русского языка. Он состоит в следующем: 1) выписывают все используемые в УТ слова в основной форме в том количестве, в каком они встречаются в УТ; 2) рассчитывают коэффициент лексического разнообразия; 3) с помощью специальной компьютерной программы, обращающейся к частотному словарю русского языка, определяют частотную сложность каждого слова и вычисляют их сумму; 4) рассчитывают структурную сложность УТ, исходя из средней длины слов и среднего числа слов в предложении; 5) вычисляют интегральную и дифференциальную ДС учебного текста. С помощью этого метода произведена оценка ДС шести учебных текстов для 1 – 4 классов; показано, что их дифференциальная ДС изменяется примерно в 2,5 раза.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Программа ПР-1. Оценка сложности понятий на компьютере

```

Uses crt;
Const S1:array[1..8]of string=('ВОЗДУХ, ОБЛАКО, ОГОНЬ', 'СТОЛ,
СВЕТ, СОЛНЦЕ', 'ЧЕЛОВЕК, СОБАКА, РЕКА', 'КАРАНДАШ, ГРИБ, ДОМ',
'ГОРОД, КАРТОШКА, КНИГА', 'РУКА, ВОДА, СОБАКА', 'ТАРЕЛКА, КОШКА,
ГОЛОВА', 'СТУЛ, ПТИЦА, ЛОЖКА');
S2:array[1..8]of string=('ВЕС, ЖИДКОСТЬ, ДОЛЯ', 'ВЫЧЕСТЬ, МЕТАЛЛ,
ПРИБОР', 'ГОРИЗОНТАЛЬ, УРАВНЕНИЕ, ИСПАРЕНИЕ', 'СЛОЖИТЬ, ЗАПАД,
МАССА', 'ТЕЛО, ЧИСЛО, ПРУЖИНА', 'ОСЬ, ПРИТЯЖЕНИЕ, ЧАСТИЦА', 'ВЕСЫ,
ПЕРЕМЕННАЯ, ГАЗ', 'РАКЕТА, ОПЫТ, ОТРЕЗОК');
S4:array[1..8]of string=('ПЛОТНОСТЬ, ГРАВИТАЦИЯ, КОМПРЕССОР',
'КОМПЬЮТЕР, СИЛА ТЯЖЕСТИ, ИМПУЛЬС', 'ПРЯМАЯ ПРОПОРЦИОНАЛЬНОСТЬ,
КИСЛОТА, ЮПИТЕР', 'КРИСТАЛЛ, МОЛНИЯ, КАТЕТ, ЭЛ_ЗАРЯД', 'УМНОЖИТЬ,
КООРДИНАТА, ПРЕЛОМЛЕНИЕ СВЕТА', 'ПРИНЦИП, КОНДЕНСАТОР, ЧАСТОТА',
'ЖЕСТКОСТЬ, ГИПОТЕНУЗА, СКОРОСТЬ', 'КИСЛОТА, ДЕЛИТЬ,
КОЛИЧЕСТВО ТЕПЛА');
S8:array[1..8]of string=('АТОМ, МАГНИТНОЕ_ПОЛЕ, УСКОРЕНИЕ',
'МОЛЕКУЛА, ЭЛЕМЕНТАРНЫЙ ЗАРЯД, СИЛА АМПЕРА', 'ДЛИНА ВОЛНЫ, УГЛОВАЯ
СКОРОСТЬ, ЭЛЕКТР_ПОЛЕ', 'ЭЛ_ЕМКОСТЬ, ОПТИЧ_СИЛА, НАПРЯЖЕННОСТЬ',
'ИЗВЛЕЧЕНИЕ КОРНЯ, МОЛЬ, ЭЛЕКТРОН, СИЛА ТОКА', 'ВОЗВЕДЕНИЕ
В КВАДРАТ, УФ-ЛУЧИ, НАПРЯЖЕНИЕ, ГАЛЬВАН_ЭЛЕМЕНТ', 'ГЕНЕРАТОР
ЭЛ_КОЛЕБАН, СПЕКТР, ВОЛЬТМЕТР, УД_ТЕПЛОЕМКОСТЬ', 'КИНЕТИЧЕСКАЯ
ЭНЕРГИЯ, ДИФФУЗИЯ, ВНУТР_СОПРОТИВЛЕНИЕ');
S16:array[1..8]of string=('ВАЛЕНТНОСТЬ, ИЗОТОП, АРКТАНГЕНС,
РЕЛИКТ_ИЗЛУЧЕНИЕ', 'ИНДУКЦИЯ_МП, КОВАЛЕНТНАЯ СВЯЗЬ, РАДИОАКТ_РАСПАД,
АЛЬФА-ЧАСТИЦА, ПОЛУПРОВОДНИК', 'МОЛЯРНАЯ МАССА, МОЩНОСТЬ, ЦЕПНАЯ
РЕАКЦИЯ, ФОТОН, ДИФРАКЦИЯ', 'ПРОТОН, ЭЛ_МАГН_ПОЛЕ, ЯДЕРНАЯ РЕАКЦИЯ,
ЭЛ_МАГН_ИНДУКЦИЯ', 'ПОЛЯРИЗАЦИЯ, ПОТЕНЦИАЛ, ПРЕДЕЛ, ЯДЕРНЫЙ
РЕАКТОР, ДЫРКА, ИНТЕНСИВНОСТЬ', 'ЭДС ИНДУКЦИИ, ЭЛ_МОЩНОСТЬ,
НЕЙТРОН, ИНДУКТИВНОСТЬ, СИНОС', 'ТАНГЕНС, ДИФРАКЦИОННАЯ РЕШЕТКА,
ФУНКЦИЯ, ФЛУКТУАЦИЯ', 'ЭНТРОПИЯ, РАБОТА ВЫХОДА, АРКСИНОС,
МАГНИТНЫЙ_ПОТОК, ЕМКОСТЬ');
S32:array[1..8]of string=('ДНК, АДРОНЫ, ВЕКТОРН_ПРОИЗВЕДЕНИЕ,
РЕНТГЕН_ТРУБКА', 'СПИН, ВОЛНОВАЯ_ФУНКЦИЯ, ОРБИТАЛЬ, ИМПЕДАНС',
'КОВАРИАНТНОСТЬ, ВЕКТОРНОЕ ПРОИЗВЕДЕНИЕ, ТОК НАСЫЩЕНИЯ, КВАРК',
'ИМПЕДАНС, ПРОСТРАНСТВО-ВРЕМЯ, ПАРСЕК, ГАММА-ЛУЧИ', 'ГЛАВНОЕ
КВАНТОВОЕ ЧИСЛО, ЛОГАРИФМ, ДЕЙТРОН, АНТИГЕЛИЙ', 'ЭНЕРГИЯ СВЯЗИ,
АНТИЧАСТИЦА, ДИФФЕРЕНЦИАЛ ФУНКЦИИ, РН-ПЕРЕХОД', 'МАСС-СПЕКТРОГРАФ,
ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ, МЕЗОН, МОМЕНТ ИНЕРЦИИ, МГД-ГЕНЕРАТОР', 'ГЛЮОН,
ОРБИТАЛЬ, ГРАВИТОН, СИНГУЛЯРНОСТЬ, ФОТОЭФФЕКТ');
S64:array[1..5]of string=('ЭФФЕКТ МЕССБАУЭРА, ЯДЕРНЫЙ МАГНИТНЫЙ
РЕЗОНАНС, ВАРИАЦИЯ', 'ТЕНЗОР, СПЕКТР_ПЛОТНОСТЬ ИНТЕНСИВНОСТИ

```

```

ИЗЛУЧЕНИЯ, ПРОИЗВОДНАЯ', 'УРАВНЕНИЕ ШРЕДИНГЕРА, ФУНКЦИОНАЛ,
ГРАДИЕНТ','ТЕНЗОР, ФУНКЦИОНАЛ, ВАРИАЦИЯ','ФУНКЦИОНАЛ, ГРАДИЕНТ,
ЯДЕРНЫЙ МАГНИТНЫЙ РЕЗОНАНС');
S128:array[1..3]of string=('НАБЛА, ДИВЕРГЕНЦИЯ, РОТОР', 'НАБЛА,
ДИВЕРГЕНЦИЯ, ДВОЙНОЙ ИНТЕГРАЛ', 'ЦИРКУЛЯЦИЯ, РОТОР, ДИВЕРГЕНЦИЯ');
Var i,j,k: integer; x:array[1..5,1..8] of integer;
SL:array[1..5] of single; W: array[1..5] of string;
c1,c2,c4,c8,c16,c32,c64:array[1..5,1..8] of integer;
Label m1,m2,m4,m8,m16,m32,m64,m128;
BEGIN W[1]:='АННИГИЛЯЦИЯ'; W[2]:='ИОН'; W[3]:='ФОКУС';
W[4]:='ДИСПЕРСИЯ'; W[5]:='МОМЕНТ СИЛЫ'; Randomize;
For j:=1 to 3 do For k:=1 to 5 do
begin clrscr; writeln;
writeln('ОЦЕНИВАЕМОЕ ПОНЯТИЕ: ', W[k]); writeln;
m1: i:=round(random(74)/10)+1; If c1[k,i]=1 then goto m1;
c1[k,i]:=1; writeln('S=1: ',S1[i]); writeln;
m2: i:=round(random(74)/10)+1; If c2[k,i]=1 then goto m2;
c2[k,i]:=1; writeln('S=2: ',S2[i]); writeln;
m4: i:=round(random(74)/10)+1; If c4[k,i]=1 then goto m4;
c4[k,i]:=1; writeln('S=4: ',S4[i]); writeln;
m8: i:=round(random(74)/10)+1; If c8[k,i]=1 then goto m8;
c8[k,i]:=1; writeln('S=8: ',S8[i]); writeln;
m16: i:=round(random(74)/10)+1; If c16[k,i]=1 then goto m16;
c16[k,i]:=1; writeln('S=16: ',S16[i]); writeln;
m32: i:=round(random(74)/10)+1; If c32[k,i]=1 then goto m32;
c32[k,i]:=1; writeln('S=32: ',S32[i]); writeln;
m64: i:=round(random(44)/10)+1; If c64[k,i]=1 then goto m64;
c64[k,i]:=1; writeln('S=64: ',S64[i]); writeln;
m128: i:=round(random(24)/10)+1; writeln('S > 100 ',S128[i]);
writeln;
write('СЛОЖНОСТЬ '); readln(x[k,j]); end; writeln;
For k:=1 to 5 do begin SL[k]:=(x[k,1]+x[k,2]+x[k,3])/3;
writeln(W[k], ' = ',SL[k]:2:2); end; readkey;
END.

```

Программа ПР-2. Поиск похожих понятий в словаре

```

Uses crt; Const chislo_strok=20;
Var aa:string; Vih,Vhod,Slovar: text; i,j,N,NN,x:integer;
s: array[0..35000]of string; fl: array[0..350]of integer;
w: array[0..350]of string;
BEGIN clrscr; x:=0;
Assign(Vhod,'c:\vhod_slova.txt'); Reset(Vhod);
Assign(Slovar,'c:\slovar.txt'); Reset(Slovar);
Assign(Vih,'c:\vihod.txt'); Rewrite(Vih);
Repeat i:=i+1; Readln(Vhod,w[i]); until w[i]='0000'; N:=i-1;
Repeat x:=x+1; Readln(Slovar,s[x]); until s[x]='0000'; NN:=x-1;
x:=0;
Repeat inc(x);

```

```

for i:=1 to N do begin j:=0;
Repeat inc(j); If w[i]=copy(s[x],j,length(w[i])) then begin
writeln(Vih,s[x]); writeln(s[x]); delay(10); end;
until (j>length(s[x])-3); end;
until x>NN;
Repeat until KeyPressed;
Close(Slovar); Close(Vhod); Close(Vih);
END.

```

Программа ПР-3. Вычисление сложности научных понятий

```

Uses crt; Const atom=8; chastica=2; cosin=7; delenie=2; dlina=1;
faza=8; gaz=2; koleban=5; massa=3; materiya=5; microchastica=3;
pole=9; prizma=3; put=2; sila=3; svet=2; telo=2; ugol=2; umnozh=2;
vector=5; veroyatnost=10; veshestvo=4; volna=4; vremya=2; zaryad=6; zhidkost=2;
Var annigilyaciya, antichastica, antigelii, atom_yadro, chastota,
el_m_pole, el_pole, el_tok, emv, energiya, foton, gamma_izluch,
gelii, infrakrasn, kin_en, kvant, magn_pole, moshnost, neutron,
pot_en,proton,rabota,radioaktivn, sila_toka, spectr,yad_raspad:
single; F:text;
BEGIN Assign(F,'c:\vih.txt'); Rewrite(F);
el_pole:=zaryad+2+materiya; magn_pole:=el_pole; el_tok:=zaryad+3;
rabota:=sila+put+cosin+umnozh; energiya:=rabota+2;
pot_en:=energiya+2; kin_en:=pot_en; el_m_pole:=el_pole*1.5+2;
emv:=4+el_m_pole; el_tok:=2+zaryad+chastica; sila_toka:=zaryad+vremya+delenie+1; foton:=chastica+svet;
kvant:=energiya+foton; moshnost:=delenie+energiya+vremya+1;
spectr:=5+svet; infrakrasn:=3+spectr; atom_yadro:=atom+5;
yad_raspad:=(atom_yadro+3); radioaktivn:=(yad_raspad+3);
gamma_izluch:=(emv+chastota+2); proton:=atom_yadro+3;
neutron:=proton; antichastica:=5+proton;
annigilyaciya:=antichastica+5; gelii:=proton+neutron+2;
antigelii:= gelii+antichastica+5;
writeln(F,'energiya ', energiya); writeln(F,'pot_en ', pot_en);
writeln(F,'kin_en ',kin_en); writeln(F,'el_pole ', el_pole);
writeln(F,'el_m_pole ',el_m_pole); writeln(F,'emv ',emv);
writeln(F,'el_pole ',el_pole); writeln(F,'proton ',proton);
writeln(F,'neutron ',neutron); writeln(F,'antichastica ',
antichastica); writeln(F,'atom_yadro ',atom_yadro);
writeln(F,'yad_raspad ',yad_raspad); writeln(F,'radioaktivn ',
radioaktivn); writeln(F,'gamma_izluch ',gamma_izluch);
writeln(F,'kvant',kvant); writeln(F,'moshnost ',moshnost);
writeln(F,'sila_toka ',sila_toka); writeln(F,'infrakrasn ',
infrakrasn); writeln(F,'annigilyaciya ',annigilyaciya);
writeln(F,'antigelii ',antigelii); writeln(F,'magn_pole ',
magn_pole); writeln(F,'el_tok ',el_tok); Close(F);
END.

```

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аверьянов Л. Я. Контент-анализ: монография. М.: РГИУ, 2007. 286 с.
2. Алефиренко Н. Ф. Научное и обыденное в языковой картине мира // Вестник Челябинского государственного университета. Филология. Искусствоведение. 2011. Вып. 57, № 24 (239). С. 11–14.
3. Алябышева Ю. А., Антонов А. Ю., Веряев А. А. Цифровизация тезаурусного подхода в образовании // Информатика и образование. 2020. № 1. С. 51–58.
4. Барков Ю. А. и др. Краткий курс общей физики: учеб. пособие / Ю. А. Барков, Г. Н. Вотинин, О. М. Зверев, А. В. Перминов. Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политех. ун-та, 2015. 407 с.
5. Батура Т. В. Математическая лингвистика и автоматическая обработка текстов: учеб. пособие. Новосибирск: РИЦ НГУ, 2016. 166 с.
6. Беспалько В. П. Теория учебника. Дидактический аспект. М.: Педагогика, 1988. 160 с.
7. Босова Л. Л., Босова А. Ю. Информатика: учеб. для 9 класса. М.: Бином. Лаборатория знаний, 2013. 184 с.
8. Босова Л. Л., Босова А. Ю. Информатика: учеб. для 5 класса. М.: Бином. Лаборатория знаний, 2013. 184 с.
9. Вараксина Е. И. Методология научного исследования учебного физического эксперимента: монография. М.: Флинта, 2022. 192 с.
10. Вахрушева А. Я. и др. Лингвистическая сложность учебных текстов / А. Я. Вахрушева, М. И. Солнышкина, Р. В. Куприянов, Э. В. Гафиятова, И. О. Климагина // Вопросы журналистики, педагогики, языкознания. 2021. Т. 40, № 1. С. 89–99.
11. Величковский Б. М. Когнитивная наука: Основы психологии познания: в 2 т. Т. 1. М.: Смысл; Академия, 2006. 448 с.
12. Вся школьная программа в одной книге: справочник школьника в кратком изложении. 5–11 класс / И. В. Богомолова, И. Ю. Гераськина, О. С. Давыдова и др. М.: РИПОЛ классик, 2010. 896 с.
13. Вяткин В. Б. Синергетическая теория информации: пояснения и терминологические замечания // Научный журнал КубГАУ. 2012. № 80. С. 11–46.
14. Гайсин Р. Р. Принцип сложности в естественно-научном познании: методологический анализ: дис. ... канд. филос. наук. Уфа, 2002. 169 с.
15. Гейн А. Г., Сенокосов А. И. Информатика и ИКТ. 11 класс: учеб. для общеобразоват. учреждений. М.: Просвещение, 2012. 336 с.
16. Гельфман Э. Г., Холодная М. А. Психодидактика школьного учебника. Интеллектуальное воспитание учащихся. СПб.: Питер, 2006. 384 с.

17. Гидлевский А. В. Исчисление трудности дидактической задачи // Вестник Омского университета. 2010. № 4. С. 241–246.
18. Горячев А. В. Информатика и ИКТ (Мой инструмент компьютер): учеб. для учащихся 3 класса. М.: Баласс, 2010. 80 с.
19. Гучук В. В. Технология объективизации экспертной кластеризации слабоформализуемых объектов // Управление, обработка информации и принятие решений. 2014. Т. 18, № 5 (66). С. 153–158.
20. Добря М. Я. Специфика языковой картины мира ребенка // Мир науки, культуры, образования. 2012. № 6 (37). С. 29–32.
21. Друзина Н. В. Разноуровневое представление языковой картины мира // Известия Саратовского университета. Сер.: Филология. Журналистика. 2009. Т. 9, вып. 2. С. 3–9.
22. Дэвид Г. Метод парных сравнений. М.: Статистика, 1978. 144 с.
23. Дюк В. А. Компьютерная психодиагностика. СПб.: Братство, 1994. 364 с.
24. Захарищева М. А., Камалов Р. Р., Гареева Г. А. Формирование информационной компетентности в контексте дистанционного образования // Информатика и образование. 2008. № 10. С. 124–125.
25. Зеркаль О. В. Семантическая информация и подходы к ее оценке. Часть 1. Семантико-прагматическая информация и логико-семантическая концепция // Философия науки. 2014. № 1. С. 53–69.
26. Казаринов А. С. Методы и модели экспериментальной педагогики. Часть 1. Математические модели педагогического эксперимента. Глазов: Глазов. гос. пед. ин-т, 1997. 118 с.
27. Караулов Ю. Н. Частотный словарь семантических множителей русского языка. М.: Наука 1980. 207 с.
28. Кисельников А. С. К проблеме характеристик текста: читабельность, понятность, сложность, трудность // Филологические науки. Вопросы теории и практики. 2015. № 11 (53), ч. 2. С. 79–84.
29. Клейносов Д. П. Изменение структурной и содержательной сложности учебного материала с целью реализации дидактического принципа осознанности знаний: дис. ... канд. пед. наук. М., 2017. 150 с.
30. Князева Е. Н. Когнитивная сложность // Философия науки. 2013. № 18. С. 81–94.
31. Когнитивный подход: монография / В. А. Лекторский, Л. А. Микешина, О. Е. Баксанский и др.; под ред. В. А. Лекторского. М.: Канон +; РООИ «Реабилитация», 2008. 464 с.
32. Корноушенко Е. К. Алгоритм классификации путем парного сравнения признаков // Автоматика и телемеханика. 2017. № 11. С. 151–166.
33. Коростелева Л. В. Высокочастотные имена существительные, прилагательные и числительные в современном русском языке (по материалам лексико-

- графии): монография. Нижневартовск: Изд-во Нижневартовск. гос. ун-та, 2013. 115 с.
34. Косова М. М., Зильберглейт М. А. Описательная статистика учебных текстов по физике // Труды БГТУ. Сер. 6: Издательское дело и полиграфия. 2006. Вып. 14. С. 167–170.
 35. 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.
 36. Кузнецов И. П. Механизмы обработки семантической информации. М.: Наука, 1978. 174 с.
 37. Лукашевич Н. В. Тезаурусы в задачах информационного поиска. М., 2010. 396 с.
 38. Луков Вал. А., Луков Вл. А. Методология тезаурусного подхода: стратегия понимания // Знание. Понимание. Умение. 2014. № 1. С. 18–35.
 39. Луков Вал. А., Луков Вл. А. Тезаурусы: субъектная организация гуманитарного знания: монография. М.: Изд-во Нац. ин-та бизнеса, 2008. 784 с.
 40. Ляшевская О. Н., Шаров С. А. Частотный словарь современного русского языка (на материалах Национального корпуса русского языка). М.: Азбуковник, 2009. 1112 с.
 41. Майер В. В. Элементы учебной физики как основа организации процесса научного познания в современной системе физического образования: дис. ... д-ра пед. наук. Глазов, 2000. 409 с.
 42. Майер Р. В. Классификация тем школьного курса физики на основе оценки их физической и математической сложности // Инновации в образовании. 2014. № 9. С. 29–38.
 43. Майер Р. В. Контент-анализ школьных учебников по естественно-научным дисциплинам: монография. Глазов: Глазов. гос. пед. ин-т, 2016. 137 с.
 44. Майер Р. В. Оценка количества знаний школьника и его способностей к обучению на основе анализа школьных учебников // Инновационное развитие науки и образование: монография / под общ. ред. Г. Ю. Гуляева. Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение», 2017. С. 44–52.
 45. Майер Р. В. Оценка уровня абстрактности изложения материала в школьных учебниках по естественным наукам // Стандарты и мониторинг в образовании. 2017. № 1. С. 58–63.
 46. Майер Р. В. Исследование математических моделей дидактических систем на компьютере: монография. Глазов: Глазов. гос. пед. ин-т, 2018. 160 с.
 47. Майер Р. В. Зависимость трудности восприятия информационного блока от его объема // Вестник Омского государственного педагогического университета: Гуманитарные исследования. 2019. № 3 (24). С. 154–158.

48. Майер Р. В. Количественная оценка сложности изучения электрического и магнитных полей в различных учебниках физики // НИР. Социально-гуманитарные исследования и технологии. 2019. № 1 (26). С. 11–16.
49. Майер Р. В. Математическая модель сложности учебного физического текста // Модели и моделирование в методике обучения физике: материалы докладов VIII всероссийской научно-теоретической конференции. Киров: Радуга-пресс, 2019. С. 9–12.
50. Майер Р. В. Оценка информативности основных положений школьного курса математики // Стандарты и мониторинг в образовании. 2019. № 2. С. 38–45.
51. Майер Р. В. Оценка сложности математической информации в школьных учебниках физики // Ярославский педагогический вестник. 2019. № 3 (108). С. 26–32.
52. Майер Р. В. Оценка сложности объяснения задачи: тезаурусный подход // Вестник Омского государственного педагогического университета. Гуманитарные исследования. 2019. № 2 (23). С. 119–123.
53. Майер Р. В. Проблема оценки сложности дидактических объектов и ее решение // Азимут научных исследований: педагогика и психология. Т. 8, № 4 (29). 2019. С. 126–129.
54. Майер Р. В. Различные аспекты проблемы оценки дидактической сложности учебного текста // ISCIENCE.IN.UA «Актуальные научные исследования в современном мире». 2019. Вып. 10(54), ч. 5. С. 69–75.
55. Майер Р. В. Дидактическая сложность учебных текстов и ее оценка: монография. Глазов: ГГПИ, 2020. 149 с.
56. Майер Р. В. Метод оценки дидактической сложности школьных учебников по различным дисциплинам // Стандарты и мониторинг в образовании. 2020. № 5. С. 14–19.
57. Майер Р. В. Метод оценки сложности логических рассуждений // НИР. Социально-гуманитарные исследования и технологии. 2020. № 3 (32). С. 35–40.
58. Майер Р. В. Некоторые аспекты оценивания когнитивной сложности математических понятий // Вестник Омского государственного педагогического университета. Гуманитарные исследования. 2020. № 3 (28). С. 122–126.
59. Майер Р. В. Об оценке средней сложности предложений и общей информативности учебных текстов // Проблемы школьного и дошкольного образования: материалы XI региональной научно-практической конференции «Достижения науки и практики – в деятельность образовательных учреждений». Глазов: Глазов. гос. пед. ин-т им. В. Г. Короленко, 2020.
60. Майер Р. В. Оценка дидактической сложности доказательства теорем школьного курса геометрии // Стандарты и мониторинг в образовании. 2020. № 1. С. 29–35.

61. Майер Р. В. Оценка сложности различных дидактических моделей атома // Вестник Омского государственного педагогического университета. Гуманитарные исследования. 2020. № 1 (26). С. 104–107.
62. Майер Р. В. Проблема определения дидактической сложности учебных текстов // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Социология. Педагогика. Психология. 2020. Т. 6 (72), № 1. С. 37–47.
63. Майер Р. В. Изменение сложности изучаемых понятий и теоретических моделей с возрастом ученика // Вестник Омского государственного педагогического университета. Гуманитарные исследования. 2021. № 1 (30). С. 132–136.
64. Майер Р. В. Метод оценки сложности математических рассуждений в учебных текстах (на примере учебника физики) // Стандарты и мониторинг в образовании. 2021. № 5. С. 3–8.
65. Майер Р. В. Модель дидактического процесса, учитывающая распределение элементов учебного материала по сложности // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Социология. Педагогика. Психология. 2021. Т. 7 (73), № 4. С. 94–104.
66. Майер Р. В. Об использовании шкалы Лайкерта для оценки дидактической сложности учебных понятий // Стандарты и мониторинг в образовании. 2021. № 2. С. 15–20.
67. Майер Р. В. Об оценке семантической сложности научных понятий, входящих в учебные тексты // Вестник Владимирского государственного университета. 2021. № 1. С. 77–85.
68. Майер Р. В. Оценка дидактической сложности некоторых фундаментальных физических экспериментов // Проблемы учебного физического эксперимента: сборник научных трудов. Вып. 33. М.: ИСРО РАО, 2021. С. 26–28.
69. Майер Р. В. Оценка дидактической сложности разделов курса общей физики // НИР. Социально-гуманитарные исследования и технологии. 2021. № 1 (34). С. 42–48.
70. Майер Р. В. Распределение различных видов учебной информации в школьном курсе физики // НИР. Социально-гуманитарные исследования и технологии. 2021. № 3 (36). С. 17–22.
71. Майер Р. В. Дидактическая сложность различных тем школьного курса физики и ее оценка // Стандарты и мониторинг в образовании. 2022. № 2. С. 26–33.
72. Майер Р. В. Изменение сложности концептуализации понятия «сила» при изучении физики в 7–9 классах // Инновации в образовании. 2022. № 4. С. 29–39.

73. Майер Р. В. Об использовании компьютеров для оценки сложности учебных понятий // International Journal of Open Information Technologies. 2022. Vol. 10, № 9. P. 75–81.
74. Майер Р. В. Об оценке семантической сложности физических понятий // Педагогическое образование. 2022. Т. 3, № 4. С. 241–247.
75. Майер Р. В. Оценка обоснованности математических моделей, используемых в школьном курсе физики // Модели и моделирование в методике обучения физике: материалы докладов IX всероссийской научно-практической конференции. Киров: Радуга-пресс, 2022. 86 с.
76. Майер Р. В. Сложность концептуализации понятия «энергия» при изучении физики в 7–9 классах и ее изменение // Педагогический журнал Башкортостана. 2022. № 3 (97). С. 38–48.
77. Майер Р. В. Учёт частотности слов при оценке сложности текстов для 1–4 классов // Обзор педагогических исследований. 2022. Т. 4, № 8. С. 161–166.
78. Майер Р. В. Формирование умения решать физические задачи в 7–11 классах: изучение динамики процесса // Стандарты и мониторинг в образовании. 2022. № 6. С. 36–43.
79. Майер Р. В. О выявлении внутрипредметных связей с помощью компьютера (на примере курса физики) // Обзор педагогических исследований. 2023. Т. 5, № 5. С. 183–189.
80. Майер Р. В. О дидактической сложности научных понятий // World of science: сборник статей IV Международной научно-практической конференции. Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение», 2023. С. 179–182.
81. Майер Р. В. Об оценке физической, математической и вычислительной сложности задач по физике // НИР. Социально-гуманитарные исследования и технологии. 2023. № 1 (42). С. 54–60.
82. Майер Р. В. Об оценке эмпирических и теоретических знаний ученика по физике // Вестник педагогического опыта. 2023. № 1 (53). С. 43–47.
83. Майер Р. В. Оценка степени обоснованности научных фактов в школьном курсе физики // Вестник Омского государственного педагогического университета. Гуманитарные исследования. 2023. № 1 (38). С. 157–162.
84. Майер Р. В. Учет неопределенности выбора формул при оценке сложности решения физических задач // Педагогический журнал Башкортостана. 2023. № 1 (99). С. 26–38.
85. Мартынова Е., Солнышкина М., Мерзлякова А., Гизатулина Д. Лексические параметры учебного текста (на материале текстов учебного корпуса русского языка) // Филология и культура. 2020. № 3 (61). С. 72–80.
86. Марчук Ю. Н. Компьютерная лингвистика: учеб. пособие. М.: АСТ; Восток-Запад, 2007. 317 с.

87. Микк Я. А. Оптимизация сложности учебного текста. В помощь авторам и редакторам. М.: Просвещение, 1981. 119 с.
88. Мирошниченко А. А. Профессионально ориентированные структуры учебных элементов. Глазов, 1999. 62 с.
89. Михеева С. А. Система формализованных критериев оценки школьного учебника // Вопросы образования. 2015. № 4. С. 147–183.
90. Морозов Д. А., Иомдин Б. Л. Критерии семантической сложности слова // Компьютерная лингвистика и интеллектуальные технологии: по материалам международной конференции «Диалог – 2019». Вып. 18 (25). М., 2019. С. 1–13.
91. Мякишев Г. Я. и др. Физика: учебник для 10 кл. общеобразоват. учреждений / Г. Я. Мякишев, Б. Б. Буховцев, Н. Н. Сотский. М.: Просвещение, 2004. 336 с.
92. Мякишев Г. Я., Буховцев Б. Б. Физика: учебник для 11 кл. общеобразоват. учреждений. М.: Просвещение, 2004. 336 с.
93. Нагель О. В., Кокшарова Н. Ф., Буб А. С. Соотношение частотности и возраста усвоения русского производного имени и его мотивирующего слова // Язык и культура. 2016. № 1 (33). С. 43–57.
94. Наймушина О. Э., Стариченко Б. Е. Многофакторная оценка сложности учебных заданий // Образование и наука. 2010. № 2 (70). С. 58–70.
95. Невдах М. М. Исследование информационных характеристик учебного текста методами многомерного статистического анализа // Прикладная информатика: НОУ «МФПУ Синергия», 2008. № 4. С. 117–130.
96. Неволин И. Ф., Позина М. Б. Тезаурус как показатель компетентности личности // Вестник практической психологии образования. 2010. № 2 (23). С. 69–73.
97. Оборнева И. В. Автоматизированная оценка сложности учебных текстов на основе статистических параметров: дис. ... канд. пед. наук. М., 2006. 165 с.
98. Ополев П. В. Метафизика сложности и «Сложного мышления» // Омский научный вестник. 2014. № 1. С. 96–99.
99. Орлов А. И. Организационно-экономическое моделирование: учебник: в 3 ч. Ч. 2: Экспертные оценки. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2011. 486 с.
100. Петренко В. Ф., Супрун А. П. Методологические пересечения психосемантики сознания и квантовой физики. М.; СПб.: Нестор-История, 2017. 380 с.
101. Попов В. Б. Turbo Pascal для школьников: учебно-методическое пособие. М.: РИОР; Инфра-М, 2012. 372 с.
102. Попова З. Д., Стернин И. А. Семантико-когнитивный анализ языка: монография. Воронеж: Истоки, 2007. 250 с.
103. Пинский А. А., Граковский Г. Ю. Физика: учебник. М.: Форум-Инфра, 2008. 560 с.

104. Разумовский О. С. Оптимология. Ч. 1. Общенаучные и философско-методические основы. Новосибирск: Изд-во ИДМШ, 1999. 285 с.
105. Ракитина С. В. Научный текст: когнитивно-дискурсивные аспекты: монография. Волгоград: Перемена, 2006. 278 с.
106. Садовников И. В. Квалиметрия: учеб. пособие. Чита: ЧитГУ, 2009. 150 с.
107. 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. С. 6–20.
108. Саранин В. А. Капельная модель атомного ядра // Учебная физика. 2022. № 4. С. 23–30.
109. Сауров Ю. А. Физика в 10 классе: модели уроков: кн. для учителя. М.: Просвещение, 2005. 256 с.
110. Солнышкина С. И., Кисельников А. С. Сложность текста: этапы изучения в отечественном и прикладном языкознании // Вестник Томского государственного университета. Филология. 2015. № 6 (38). С. 86–99.
111. Справочник школьника. 5–11 классы // М. Б. Волович, О. Ф. Кабардин, Р. А. Лидин и др. М.: АСТ-ПРЕСС, 2001. 704 с.
112. Степанова М., Александрова И., Седова А. Новые шкалы трудности учебных предметов // Директор школы. 2004. № 4.
113. Тулохонова И. С. Моделирование системы обучения на основе тезаурусного подхода // Науковедение. 2017. Т. 9, № 4.
114. Холодная М. А. Психология понятийного мышления: от концептуальных структур к понятийным способностям. М.: Институт психологии РАН, 2012. 288 с.
115. Частотный словарь русского языка. Около 40 000 слов / под ред. Л. Н. Засориной. М.: Русский язык, 1977. 936 с.
116. Черепанов В. С. Экспертные оценки в педагогических исследованиях. М.: Педагогика, 1989. 150 с.
117. Чернейко Л. О. Лингвофилософский анализ абстрактного имени: монография. М.: ЛИБРОКОМ, 2010. 265 с.
118. Шалак В. И. Современный контент-анализ. Приложения в области: политологии, психологии, социологии, культурологии, экономики, рекламы. М.: Омега-Л, 2004. 272 с.
119. Школьная программа в таблицах и формулах: Большой универсальный справочник / под ред. Е. Е. Узлова. М.: Дрофа, 1998. 638 с.
120. Alderson J. C. Assessing Reading. New York: Cambridge University Press, 2000. 398 p.
121. Bates E., D'Amico S., Jacobsen T. et al. Timed picture naming in seven languages // Psychonomic Bulletin & Review. 2003. 10 (2). P. 344–380.

122. Davis B., Sumara D. *Complexity and Education: Inquiries Into Learning, Teaching, and Research*. Mahwah, New Jersey, London, 2006. 201 p.
123. Mayer R. V. Computer Model of the Empirical Knowledge of Physics Formation: Coordination with Testing Results // *European Journal of Contemporary Education*. 2016. Vol. 16, is. 2. P. 239–247.
124. Mayer R. V. On complexity measurement of some issues of the school mathematics course // *Proceedings of ICERI2018, Seville, Spain*. pp. 9764–9771.
125. Mayer R. V. The semantic complexity estimation of the learning task explanation // *Proceedings of ICERI2019, Seville, Spain*. P. 337–345.
126. Mayer R. V. The cognitive complexity estimation of the basic statements of the school math course // *Proceedings of ICERI2020 Conference 9th-10th November 2020*. P. 162–169.
127. Mayer R. V. Results of estimating the didactic complexity of section of the general physics course // *Proceedings of ICERI2021 Conference 8th-9th November 2021*. P. 179–187.
128. Mayer R. V. Didactic complexity of general physics course sections: evaluation results // *GESJ: Education Science and Psychology*. 2022. No. 4(64). P. 30–36.
129. Morrison C. M., Ellis A. W., Quinlan P. T. Age of acquisition, not word frequency affects object naming, not object recognition // *Memory & Cognition*. 1992. 20 (6). P. 705–714.
130. Thorndyke P. W. Conceptual complexity and imagery in comprehension and memory // *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*. 1975. 14 (4). P. 359–369.
131. White M. D., Marsh E. E. Content analysis: A flexible methodology // *Library trends*. 2006. Vol. 55, № 1. P. 22–45.