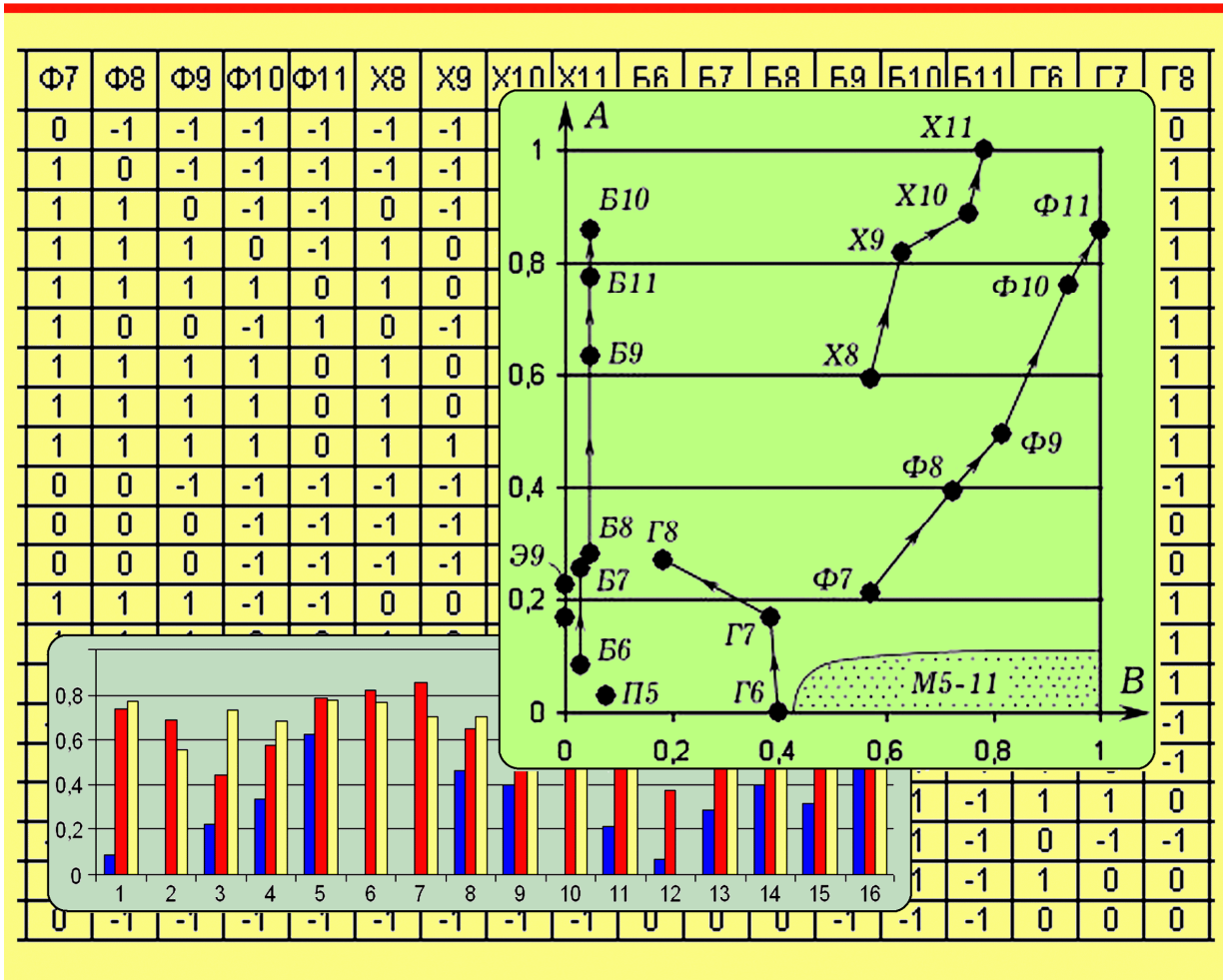


Р.В. Майер

КОНТЕНТ-АНАЛИЗ  
ШКОЛЬНЫХ УЧЕБНИКОВ  
ПО ЕСТЕСТВЕННО-НАУЧНЫМ  
ДИСЦИПЛИНАМ



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ГЛАЗОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
имени В. Г. Короленко»

**Р. В. Майер**

**КОНТЕНТ-АНАЛИЗ  
ШКОЛЬНЫХ УЧЕБНИКОВ  
ПО ЕСТЕСТВЕННО-НАУЧНЫМ  
ДИСЦИПЛИНАМ**

*Научное электронное издание  
на компакт-диске*

Глазов  
ГГПИ  
2016

© Майер Р. В., 2016  
© ФГБОУ ВО «Глазовский государственный  
педагогический институт  
имени В. Г. Короленко», 2016

**ISBN 978-5-93008-224-1**

1 – дополнительный титульный экран – сведения об авторах

**УДК 37.02**

**ББК 32.81**

**М14**

*Рекомендовано к изданию учебным научно-методическим советом  
ФГБОУ ВО «Глазовский государственный педагогический институт имени В. Г. Короленко»*

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

*Майер Роберт Валерьевич*, доктор педагогических наук, профессор кафедры физики и дидактики физики Глазовского государственного педагогического института.

Рецензенты:

*Ю. А. Сауров*, доктор педагогических наук, профессор кафедры физики и методики обучения физике ВятГУ, профессор, член-корреспондент РАО

*В. А. Саранин*, доктор физико-математических наук, профессор кафедры физики и дидактики физики ГГПИ

**М14 Майер Р. В. Контент-анализ школьных учебников по естественно-научным дисциплинам:** монография [Электронное научное издание на компакт-диске]. – Глазов: Глазов. гос. пед. ин-т, 2016. – 13,00 Мб.

Монография посвящена проблеме качественно-количественного анализа школьных учебников с целью оценки количества содержащейся в них информации и ее сложности. Ее решение потребовало определения сложности понятий методом парных сравнений и использования компьютерных программ с целью подсчета числа упоминаний научных терминов в анализируемых текстах. Все это позволило оценить уровень сложности и информационной насыщенности различных тем школьного курса физики и сравнить дидактическую сложность учебников по естественно-научным дисциплинам.

Электронное издание предназначено для ученых и работников образования, интересующихся проблемами совершенствования учебника, занимающихся контент-анализом учебных текстов и оценкой их сложности.

Системные требования: PC не ниже класса Pentium I; 128 Mb RAM; свободное место на HDD 16 Mb; Windows 95/98/2000/XP/7/8; Adobe Acrobat Reader; дисковод CD-ROM 2-х и выше; мышь.

© Майер Р. В., 2016

© ФГБОУ ВО «Глазовский государственный педагогический институт  
имени В. Г. Короленко», 2016

Назад

Содержание

Вперёд

2 – дополнительный титульный экран – производственно-технические сведения

## НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

Электронная монография «Контент-анализ школьных учебников по естественно-научным дисциплинам» поставляется на одном CD-ROM и может быть использована в локальном и сетевом режимах. В случае, когда система установлена на одном из серверов вычислительной сети, к ней обеспечивается одновременный доступ нескольких пользователей.

Технический редактор, корректор: *Л. А. Калинина*

Оригинал-макет: *А. В. Абдулова*

Дизайн обложки: *Р. В. Майер*

Подписано к использованию 30.12.2016. Объём издания 13,00 Мб.

Тираж 11 экз. Заказ № 4386 – 2016.

ФГБОУ ВО «Глазовский государственный педагогический институт  
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



## Введение

В последнее время повысился интерес к использованию математических и компьютерных методов в педагогике и особенно в дидактике, что привело к возникновению цифровой педагогики. Применение математических методов в дидактике и других гуманитарных областях отвечает важному принципу научного познания: исследуемый объект (явление) нельзя считать хорошо изученным, пока он не описан с помощью количественных характеристик [16, с. 9]. Для создания математических моделей учебного процесса [53, 56, 58], установления качественных и количественных закономерностей необходимо уметь оценивать различные качества педагогических объектов: уровень знаний учеником учебного материала, сложность понятий, формул, тем, задач, информативность рисунков и т. д. Анализ, оценка и сравнение учебников, учебных пособий и методик требуют определения каких-то объективных и относительно устойчивых характеристик учебного материала и входящих в него элементов. К этим характеристикам относятся **сложность и информативность**.

Уровень образования во многом определяется качеством используемого учебника, его сложностью и понятностью для ученика. Совершенствование методики преподавания отдельных дисциплин, разработка новых учебников требует определения дидактических характеристик различных элементов учебного материала, к которым могут быть отнесены фрагменты теории, задачи, описания физических экспериментов и т. д. [3]. Проблема оценки слабо формализуемых свойств дидактических объектов и измерения количества содержащегося в них того или иного качества перекликается с проблемами использования математических методов в гуманитарных исследованиях, оценки сложности и классификации объектов, определения сложности понятий, оценки психических свойств личности и знаний учащихся, имитационного моделирования процесса

обучения на компьютере [8, 12, 27]. Настоящая монография опирается на идеи и работы В. С. Аванесова [1], Л. Я. Аверьянова [2], В. П. Беспалько [6, 7], Б. Битинаса [8], Г. Дэвида [11], В. И. Загвязинского [15], Л. Заде [16], М. П. Карпенко [21, 22], В. В. Майера [28, 46], Е. Я. Таршиса [47], В. И. Шалака [52].

Разработка и совершенствование методов определения количества информации, объективной сложности учебного текста и составляющих его элементов имеет большое практическое значение. Существующая теория текста изучает вербальный текст, хотя ее выводы могут быть распространены на любые знаковые последовательности [45, 48]. Тесты характеризуются связностью, цельностью, логичностью, эмоциональностью, художественной образностью, коммуникативной направленностью, завершенностью, информативностью, членимостью и т. д. В настоящей работе предполагается, что анализируемые тексты учебников оптимизированы с содержательной точки зрения, то есть соответствуют требованиям связности, цельности, научности, логичности и т. д.

При обсуждении проблемы оценки того или иного качества в дидактическом объекте следует помнить о **принципе несовместимости**: высокая точность измерений (оценок, предсказаний) несовместима с большой сложностью изучаемой системы [16, с. 10]. Действительно, если объект состоит из большого числа разнородных элементов, связанных между собой разнотипными связями, то построить его модель, точно соответствующую оригиналу, практически невозможно. Л. Заде делает вывод, что “для получения существенных выводов о поведении гуманистических систем придется, по-видимому, отказаться от высоких стандартов точности и строгости, которые мы, как правило, ожидаем при математическом анализе четко определенных механистических систем, и относиться более терпимо к иным подходам, которые являются приближенными по своей природе” [16, с. 10]. При увеличении точности измерения той или иной характеристики уменьшается достоверность. Поэтому при анализе сложных систем приходится “жертвовать точностью перед лицом ошеломляющей сложности” [16, с. 10], как того требует методология мягких систем. Это в полной

Майер Р. В. Контент-анализ школьных учебников по естественно-научным дисциплинам  
мере относится к проблеме оценки сложности и информативности учебного  
текста средствами нечеткого моделирования [20].

В монографии рассматриваются способы оценки сложности понятий, тем  
и учебников, а также методы измерения количества учебной информации в  
учебном тексте. Полученные результаты представляют интерес для ученых-  
педагогов, интересующихся проблемами образования.

Р. В. Майер

---

Вверх

## **Глава 1.**

# **ОБ ОЦЕНКЕ ДИДАКТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК УЧЕБНОГО ТЕКСТА И ЕГО ЭЛЕМЕНТОВ**

Развитие методики преподавания отдельных дисциплин и теории обучения в целом предполагает совершенствование учебников. В главе обсуждаются способы определения объема, количества информации и сложности учебных текстов, а также сложности входящих в него понятий. Перечисленные проблемы связаны с процедурами сравнения, оценки и ранжирования объектов, часто используемыми в гуманитарных науках. Вводится понятие исторической сложности вопроса (закона, теории, эксперимента) и рассматривается метод ее оценки. Предложены программы, применяемые для автоматизации оценки понятий методом парных сравнений и определения количества различных видов информации в тексте.

**1.1. Характеристики учебного текста.** Все дидактические объекты, которыми оперируют учитель и ученик в процессе обучения, можно разделить на два класса: 1) научные объекты: понятия, факты, теории, описания научных экспериментов, приборов; 2) методические объекты: бумажные и электронные учебники, методические пособия, тесты, учебные опыты и компьютерные модели. Все они характеризуются различными параметрами (дидактическими характеристиками), величины которых влияют на результат использования данного объекта в обучении. Важнейшими характеристиками учебника является его объем, сложность и информационная насыщенность.

Любая учебная дисциплина и методика ее изучения могут быть охарактеризованы совокупностью характеристик, среди которых – научность, сложность, эффективность, связь с практикой, требуемые временные и материальные затраты и т. д. Это относится и к отдельным разделам учебного курса (темам, параграфам), а также к учебникам и учебным пособиям, которые фактически представляют собой модель дисциплины. Важной характеристикой является теоретическая доступность. Как отмечал Я. А. Микк [42, с. 3], “научность без доступности теряет смысл: незачем обучать, если школьники не могут усвоить учебный материал”. Доступность учебного материала зависит от соотношения его сложности и уровня знаний ученика: чем выше сложность и ниже уровень знаний, тем большую трудность представляет данный вопрос для ученика и тем меньше его доступность.

Существуют различные подходы к проблеме анализа учебных текстов, определения их сложности, информативности и других характеристик [2, 4, 5, 43]. Например, в книге Я. А. Микка [42, с. 32] выделяются следующие компоненты сложности текста: 1) информативность; 2) лингвистическая сложность; 3) ясность структуры; 4) абстрактность изложения [42, с. 32]. При этом считается, что лингвистическая сложность текста зависит от разнообразия словаря, средней длины слов и средней длины предложений. Уровень абстрактности текста предлагается оценивать по шкалам конкретности-абстрактности либо по количеству слов с абстрактными суффиксами [42, с. 45].

Кроме перечисленных выше характеристик, тексты характеризуются связностью, цельностью, логичностью, точностью, эмоциональной окраской, художественной образностью, правильностью речи и т. д. [10, 19]. Существуют различные методы оценки этих характеристик, в том числе с помощью компьютера [52]. Например, в Интернете распространяется пакет программ ВААЛ, который позволяет оценить эмоциональное воздействие фонетической структуры слов на подсознание человека, провести полноценный контент-анализ текста по большому числу категорий, осуществить анализ эмоциональной оценки отдельных слов и целых текстов [60].

**1.2. Объем и информативность учебного текста.** Проблема измерения количества информации (КИ) в учебном тексте остается актуальной. К. Р. Поппер (1934), а позже Р. Карнап и И. Бар-Хиллел (1952) утверждали, что количество семантической информации в сообщении растет по мере увеличения количества состояний, которые это сообщение исключает; оно тем больше, чем сильнее уменьшается неопределенность знаний читателя об объекте [18, с. 56–57]. М. С. Бургин, используя функционально-кибернетический подход, пришел к выводу, что информация для системы  $R$  – это любая сущность, приводящая к изменению инфологической подсистемы  $F$  системы  $R$ . Подсистема  $F$  состоит из инфологических элементов: данных, знаний, сообщений, идей [18, с. 62].

Известны различные способы измерения количества информации в тексте: 1) вероятностный подход, предусматривающий применение формул Хартли или Шеннона; 2) объемный подход, требующий определения объема текста, подсчета количества символов (слов, страниц); 3) семантический подход, предполагающий выделение в тексте семантических единиц информации и их подсчет; 4) прагматический подход, учитывающий новизну и полезность информации для ее потребителя (ученика).

Вероятностный подход используется в технике; он дает правильный результат, когда символы (или сигналы) следуют друг за другом случайным образом. На наш взгляд, применение формулы Хартли для оценки информационной емкости учебника, как это сделано в работах [13, 14], не совсем обосновано. Ссылаясь на тот факт, что сообщение, уменьшающее неопределенность в 2 раза, несет 1 бит информации, Б. Е. Железовский и Ф. А. Белов утверждают, что информативность словосочетаний типа “если ... то ...”, “скорость тела”, “действующая сила” равна 1 биту. При этом не учитывается, что формула Хартли дает правильный результат, когда символы (термины или словосочетания) следуют друг за другом случайным образом и встречаются с равными вероятностями. Для измерения информативности учебного текста больше подходят объемный или семантико-прагматический подходы.

В настоящей работе рассматриваются методы оценки таких количественных характеристик, как **объем** и **количество информации** (КИ) учебного текста. Объем  $V$  текста может измеряться в символах, словах, страницах. Так как средняя длина слова русского языка 6,3 символа (включая пробел), то количество слов  $N_{сл} = N / 6,3$ , где  $N$  – число символов. Можно подсчитать количество значимых слов (существительных, глаголов и т. д.), имеющих свой собственный смысл. Так как на одно значимое слово русского языка приходится 12 бит, то для приблизительной оценки объема информации в битах достаточно умножить число значимых слов на 12.

**Количество информации** (КИ)  $I$  в тексте – величина, показывающая, насколько снижается неопределенность знаний ученика после прочтения данного текста. Определить уменьшение энтропии знаний человека, прочитавшего сообщение, – непростая задача. Текст учебника, как правило, соответствует требованиям логичности и научности. Поэтому можно приближенно считать, что КИ такого текста равно числу используемых в нем понятий или терминов соответствующей науки. Под термином будем понимать слово, представленное в физическом (химическом, биологическом) словаре или энциклопедии. Интуитивно понятно, что чем больше физической (химической, биологической) информации в тексте, который удовлетворяет требованиям логичности и научности, тем больше в нем встречается физических (химических, биологических) терминов. Из-за возможного наличия повторов, подробных объяснений, лирических отступлений, исторических обзоров и т. д. КИ текста в общем случае не пропорционально его объему. Чтобы определить КИ в тексте  $A$ , его можно заменить сокращенным текстом  $B$  без повторов, несущим ту же смысловую информацию и имеющим наименьший объем. После этого следует подсчитать количество научных терминов в тексте, оно и будет примерно равно КИ  $I$ .

КИ текста является объективной характеристикой и иногда называется информационной насыщенностью, информационной емкостью текста или его информативностью. Часто под информативностью текста понимают относительную характеристику, зависящую от читателя и показывающую степень

смыслосодержательной новизны текста для конкретного человека. При этом получается, что для одного читателя текст содержит новую информацию, а для другого его информативность равна нулю, так как его содержание уже известно или вообще непонятно. В дальнейшем речь идет только об измерении объективной характеристики учебного текста – количества содержащейся в нем информации КИ. Отношение количества информации КИ к объему текста называется его **информационной плотностью**  $\rho = I/V$ . Понятно, что если текст содержит повторы и пространственные рассуждения, то его информационная плотность ниже.

Для определения количества информации в тексте может быть использован семантический метод, состоящий в подсчете смысловых единиц, или СЕД: суждений, понятий, формул, а также связей между ними. Информационная емкость понятия равна количеству его связей (или линков) с другими, ранее изученными понятиями; в среднем емкость одного понятия равна трем линкам [4, 21, 22]. М. П. Карпенко предлагает использовать универсальную единицу оценки объема учебной информации – приведенное понятие [22, с. 256]. Это имеет практическое значение, так как: 1) человек усваивает знания как совокупность понятий и связей между ними; 2) методом тестирования можно оценить количество усвоенных понятий; 3) подсчитав количество понятий в тексте, возможно оценить содержащееся в нем КИ. Кроме понятий, в качестве единицы измерения КИ можно использовать элементарные суждения или высказывания. Рисунок или формула несут в себе столько информации, сколько понятий содержится в их наиболее кратком словесном описании.

**1.3. Сложность учебного текста как системы элементов.** Из теории систем [26, 55] известно, что сложность любого объекта характеризует его степень разнообразия и зависит от: 1) числа входящих в него элементов; 2) сложности элементов; 3) количества связей между ними. Понятие “сложность” также применяется в теории алгоритмов. При этом под сложностью текста (совокупности символов) понимают “длину самого короткого двоичного слова, содержащего



всю информацию, необходимую для восстановления рассматриваемого текста при помощи какого-нибудь фиксированного способа декодирования" [17, с. 90].

Учебный текст является системой взаимосвязанных понятий, суждений, теорий, формул, рисунков. Каждый элемент учебного материала (ЭУМ) характеризуется дидактической сложностью (ДС), которая пропорциональна затратам усилий или времени, требуемым для его усвоения. Анализ учебника и определение сложности предполагает **юнитизацию**, то есть его разбиение на элементы содержания с целью их подсчета и классификации. Универсальной единицей содержания текста является высказывание (или суждение); они отличаются по типу, объему и сложности. Другой удобной единицей анализа текста является слово, понятие, термин.

Примером использования системного подхода [9] с целью оценки сложности дидактического объекта является разработка концепции измерения сложности образовательной программы А. К. Колесникова [23]. В качестве количественных оценок сложности он выбрал: 1) характеристики элементов программы обучения: количества основных понятий, второстепенных понятий, число их свойств (или признаков) и обоснований (или методов); 2) характеристики связей: количества связей между элементами образовательной программы, число подсистем, количество уровней иерархии каждой подсистемы.

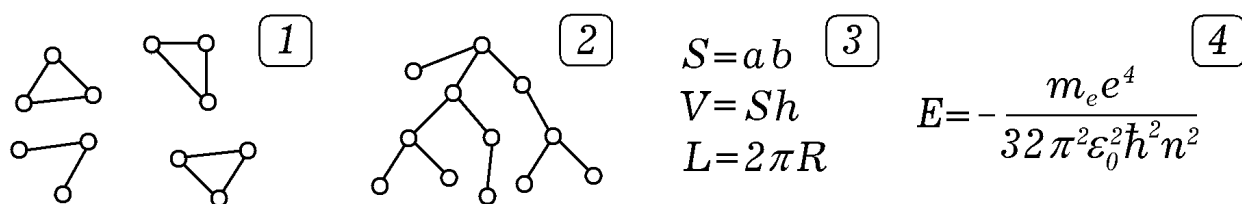


Рис. 1.1. Сложность и объем системы. Сложность формулы.

На рис. 1.1.1 и 1.1.2 представлены структуры двух систем, состоящих из одинакового количества элементов. В первом случае система изображается четырьмя не связанными между собой графами, а во втором случае – одним связанным графом. Понятно, что сложность второй системы выше. Если речь идет о двух текстах, элементами которых являются понятия (или суждения), то для понимания и усвоения текста 1 достаточно уметь одновременно оперировать с

3 различными понятиями, а для понимания текста 2 необходимо удерживать в своем сознании 10 понятий. Как известно, построить один небоскреб сложнее, чем множество одноэтажных домиков. Понять и научиться использовать формулу 4 сложнее, чем систему из трех уравнений 3.

Сложность текста зависит от сложности входящих в него элементов (понятий, суждений, теоретических моделей) и связей между ними. Не следует путать сложность текста с количеством содержащейся в нем информации (КИ), которое пропорционально количеству научных понятий, формул и рисунков.

**1.4. Суммарная сложность текста и ее связь с абстрактностью понятий и рассуждений.** Как отметил В. П. Беспалько [7, с. 97-98], школьники, сравнивая различные дисциплины, интуитивно “реагируют” на степень абстрактности изучаемых вопросов, поэтому критерием сложности прежде всего является степень теоретичности и абстрактности текста. Сложность текста зависит от соотношения между опытом ученика и содержанием учебного материала: “учебный предмет представляется учащемуся тем более сложным, чем больше разница в ступенях абстракции учебника и прошлого опыта ученика”. “Будучи понятием относительным, сложность тем не менее может выступать как понятие объективное, когда сравниваются два учебника (учебных материала), и субъективное, когда сравнение осуществляется с прошлым опытом учащегося” [7, с. 98]. Рассмотренный подход в большей степени соответствует концепции сложности учебного текста, сформировавшейся в современной дидактике, поэтому и мы будем считать, что сложность различных учебников приближенно равна степени абстрактности представленного в них учебного материала.

Если предположить, что ученик не испытывает трудностей с чтением длинных слов и предложений, то можно не учитывать лингвистическую сложность. Тогда **дидактическая сложность** учебника будет приближенно равна его уровню абстрактности, который пропорционален числу и сложности используемых понятий, суждений, логических выводов, математических выражений и рисунков, содержащих абстрактную информацию. Действительно, для большинст-

ва школьников, справляющихся с учебной программой, основную трудность представляет собой не собственно чтение текста, а понимание и усвоение некоторых довольно абстрактных рассуждений о строении Вселенной, структуре атомов и молекул, процессов, происходящих внутри живого организма и т. д., а также приобретение навыка использования этих знаний для решения задач. Учебный текст, содержащий понятия “синус”, “логарифм”, “производная”, “интеграл”, ощутимо сложнее текста, в котором на качественном уровне объясняется плавание тел или движение Земли вокруг Солнца.

Если элемент учебного материала (понятие или суждение) имеет информационный объем  $\Delta I$  УЕИ (усл. ед. информации) и оптимальное время изучения  $\Delta t_H$ , то средняя скорость его усвоения  $v = \Delta I / \Delta t_H$  (УЕИ/час). Чем больше сложность  $S$ , тем больше времени  $t_H$  (а значит и усилий) должен затратить среднестатистический ученик, чтобы усвоить данный ЭУМ. Под дидактической сложностью  $S$  будем понимать безразмерную величину из интервала  $[0; 1]$ , зависящую от количества усилий и времени изучения  $t_H$ , которые требуется затратить, чтобы выпускник 5-го класса (или человек, давно закончивший школу) понял и усвоил одну УЕИ данного ЭУМ. При этом можно считать, что  $S \approx 1 - \exp(-\gamma \cdot t_H / \Delta I)$ . Пусть  $\gamma > 0,05$  УЕИ/час. Если вопрос очевиден для ученика, то  $t_H \approx 0$  и  $S = 0$ . В случае, когда для усвоения единицы учебной информации требуется много времени ( $t_H / \Delta I \approx 100$  часов/УЕИ), то  $S \approx 1$ . Если нужно, величину  $S$  можно умножить на коэффициент и прибавить 1.

Для определения суммарной сложности текста можно поступить следующим образом. Будем считать, что сложность  $i$ -го понятия  $s_i$  пропорциональна затратам времени и усилий, требующихся для его усвоения учеником 5-го класса; причем у самого простого понятия  $s_i = 1$ , а у более сложных –  $s_i$  больше 1 (например, 2, 3 или 5). Так как вся учебная информация, в конечном счете, передается в словесной форме, то можно оценить сложность того или иного блока учебного материала. Суммарная сложность текста  $S_{sum}$  равна:

$$S_{sum} = \sum_{i=1}^n s_i = s_1 + s_2 + \dots + s_n,$$

где  $s_i$  – сложность  $i$ -го понятия,  $n$  – количество понятий в тексте. Можно предположить, что эта характеристика пропорциональна количеству усилий, требующихся ученику, чтобы усвоить данный текст. Средняя сложность понятия равна  $S_{non} = S_{sum} / n$ . Если все  $n$  понятий имеют сложность 1, то  $S_{sum} = n$ .

**1.5. Об измерении сложности учебного текста и его элементов.** Для определения КИ в тексте и его сложности нами будут использоваться следующие методы: 1) подсчет в тексте количества понятий-маркеров, соответствующих определенным видам знаний; 2) определение числа рисунков и изображенных на них объектов различной степени абстрактности; 3) подсчет количества формул или переменных в формулах; 4) попарное сравнение понятий, рисунков, параграфов, учебников и т. д.

Для определения дидактической сложности (ДС) понятий  $S$  может быть использован метод экспертных оценок [49]. Для этого создается список понятий, содержащий самые простые и самые сложные понятия. Разрабатываются критерии оценки, учитывающие количество усилий и времени, которое должен затратить ученик, чтобы усвоить то или иное понятие. Исходя из этих критериев, эксперт производит оценку каждого понятия по отдельности, допустим, по пятибалльной шкале. Оцениваемые понятия могут быть написаны на небольших карточках для того, чтобы эксперт разложил их в порядке возрастания ДС  $S$  на шкале. Другой вариант состоит в использовании метода парных сравнений, при котором понятия попарно сравниваются друг с другом. В результате получается матрица оценок; на ее основе вычисляется ДС  $S$  для каждого понятия.

Работа большой группы экспертов связана с определенными материальными и временными затратами. Поэтому иногда этот метод упрощают, используя одного эксперта, который оценивает некоторые качества объектов по жестким критериям или осуществляет их парное сравнение. Так часто поступают в

педагогике: учитель ставит оценки ученикам, преподаватель оценивает текущую работу студента во время семестра и единолично ставит оценку на экзамене, педагог-исследователь оценивает присутствие какого-либо качества в том или ином дидактическом объекте. Это возможно в том случае, когда оценки различных экспертов хорошо коррелируют друг с другом.

Иногда оцениваемое качество  $X$  имеет смысл разделить на элементарные составляющие  $A$ ,  $B$  и  $C$ , которые могут быть оценены с минимальной неопределенностью. В простейших случаях могут быть использованы следующие математические модели: 1) составляющие  $A$ ,  $B$  и  $C$  связаны друг с другом и поэтому откладываются вдоль одной числовой оси, поэтому:  $X = k_1A + k_2B + k_3C$ ; 2) составляющие  $A$ ,  $B$  и  $C$  независимы и откладываются вдоль взаимно перпендикулярных осей, тогда:  $X = (k_1A^2 + k_2B^2 + k_3C^2)^{1/2}$ . Здесь  $k_1$ ,  $k_2$  и  $k_3$  – весовые коэффициенты, позволяющие учесть вклад составляющих  $A$ ,  $B$  и  $C$ , которые выбираются исследователем.

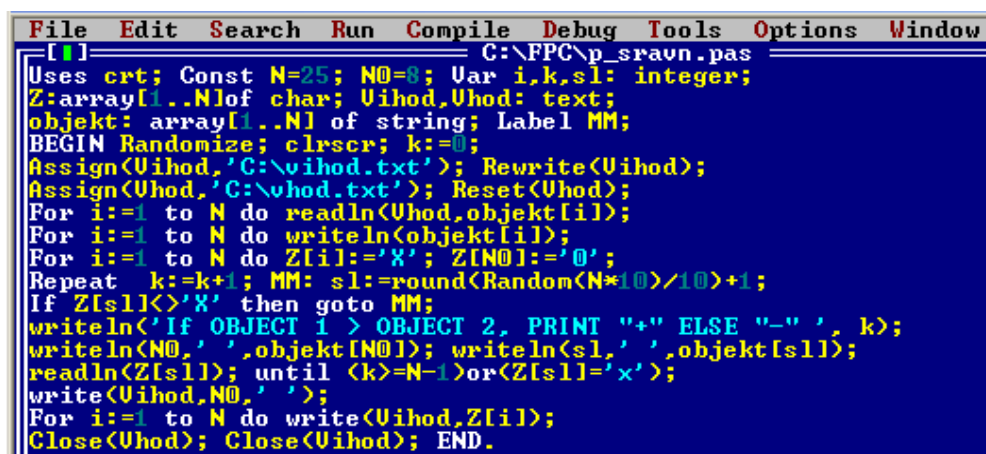
Погрешность оценки измеряемого качества  $X$  в этом случае складывается из погрешности выбранной модели, погрешностей весовых коэффициентов и погрешности оценки  $A$ ,  $B$  и  $C$ . Важно понимать, что при оценке качеств, имеющих большую неопределенность, бессмысленно выбирать сложную модель оцениваемого качества, так как очень проблематично обосновать правомерность выбора именно этой модели и данных весовых коэффициентов. Это относится к дидактическим объектам, элементарные составляющие которых определяются с достаточно большой погрешностью (10 % и выше). Критерием правильности такого подхода является соответствие получающихся результатов здравому смыслу и педагогическому опыту.

#### **1.6. Использование компьютера для парного сравнения объектов.**

Оценка и ранжирование нескольких десятков объектов – довольно трудоемкий процесс для того, чтобы его выполнять вручную. Так, для оценки 30 объектов методом парных сравнений необходимо осуществить не менее 450 различных сопоставлений, в ходе каждого из которых эксперт должен соотнести степень

наличия оцениваемого качества в двух сравниваемых объектах. Поэтому лучше автоматизировать этот процесс с помощью компьютерной программы, которая будет в случайном порядке предъявлять сравниваемые объекты, воспринимать ответы эксперта и записывать результаты в файл [32]. При этом важно, чтобы эксперт имел возможность сделать перерыв, сохранить результаты, а на следующий день вернуться и продолжить работу.

Для попарного сравнения объектов и создании матрицы оценок проще всего использовать электронные таблицы Excel. Однако это не позволяет сопоставлять понятия в случайном порядке. Нами применялась программа ПР-1, написанная в среде Free Pascal (рис. 1.2). Допустим, необходимо оценить сложность понятий из школьного курса физики [39, 41]. С помощью `Far_manager` создают файл `vhod.txt`, содержащий список из  $N=25$  оцениваемых понятий (рис. 1.3.1), случайно выбирают понятие с номером  $N_0=8$  и запускают компьютерную программу ПР-1. На экране появляются понятие  $N_0=8$ , а строчкой ниже – случайным образом выбранное понятие из списка, например, понятие 12. Эксперт должен сравнить оцениваемые качества этих двух объектов и ввести с клавиатуры символы “+”, “0” или “-”. Плюс означает, что оцениваемого качества в объекте 1 заметно больше, чем в объекте 2, ноль – примерно одинаково, а минус – меньше, чем в объекте 2.



```

File Edit Search Run Compile Debug Tools Options Window
[ ] C:\FPC\p_sraon.pas
Uses crt; Const N=25; N0=8; Var i,k,s1: integer;
Z:array[1..N]of char; Uihod,Uhod: text;
objekt: array[1..N] of string; Label MM;
BEGIN Randomize; clrscr; k:=0;
Assign(Uihod,'C:\vhod.txt'); Rewrite(Uihod);
Assign(Uhod,'C:\vhod.txt'); Reset(Uhod);
For i:=1 to N do readln(Uhod,objekt[i]);
For i:=1 to N do writeln(objekt[i]);
For i:=1 to N do Z[i]:='X'; Z[N0]:='0';
Repeat k:=k+1; MM: s1:=round(Random(N*10)/10)+1;
If Z[s1]<>'X' then goto MM;
writeln('If OBJECT 1 > OBJECT 2, PRINT "+" ELSE "-" ', k);
writeln(N0,' ',objekt[N0]); writeln(s1,' ',objekt[s1]);
readln(Z[s1]); until (k=N-1)or(Z[s1]='x');
write(Uihod,N0,' ');
For i:=1 to N do write(Uihod,Z[i]);
Close(Uhod); Close(Uihod); END.
    
```

Рис. 1.2. Программа ПР-1 для парных сравнений объектов (понятий).

После нажатия на клавишу “Enter” снова появляется понятие с номером  $N_0 = 8$  и случайно выбранное понятие 23. Эксперт снова производит сравнение и ставит оценку “+”, “-” или “0”. Программа написана так, что понятие с номером  $N_0$  не сравнивается с собой (известно, что результат “0”) и не сравнивается дважды ни с каким другим понятием. После окончания процедуры сравнения понятия 8 со всеми остальными понятиями из входного файла (рис. 1.3.1) программа создает текстовый файл vihod.txt из одной строки, содержащий номер объекта  $N_0 = 8$  и результаты его сравнений с понятием 1, понятием 2 ... понятием  $N$  в виде “+ + + ... + 0 0 - + ... - 0 + - -” (рис. 1.3.2). Затем эксперт повторяет ту же самую процедуру с другим объектом, например, с понятием  $N_0 = 10$ . В случае необходимости эксперт может сделать перерыв. С помощью текстового редактора из получающихся строчек (рис. 1.3.2) формируется двумерная матрица  $N \times N$ , похожая на представленную на рис. 1.3.3. В результате полного перебора всего списка понятий каждая пара понятий сравнивалась дважды (сначала  $i$ -е с  $j$ -м, а потом наоборот), что позволяет уменьшить влияние случайных факторов. Результаты сравнения двух объектов записываются на пересечении соответствующих строки и столбца. С левого верхнего угла к правому нижнему идет диагональ из нулей.

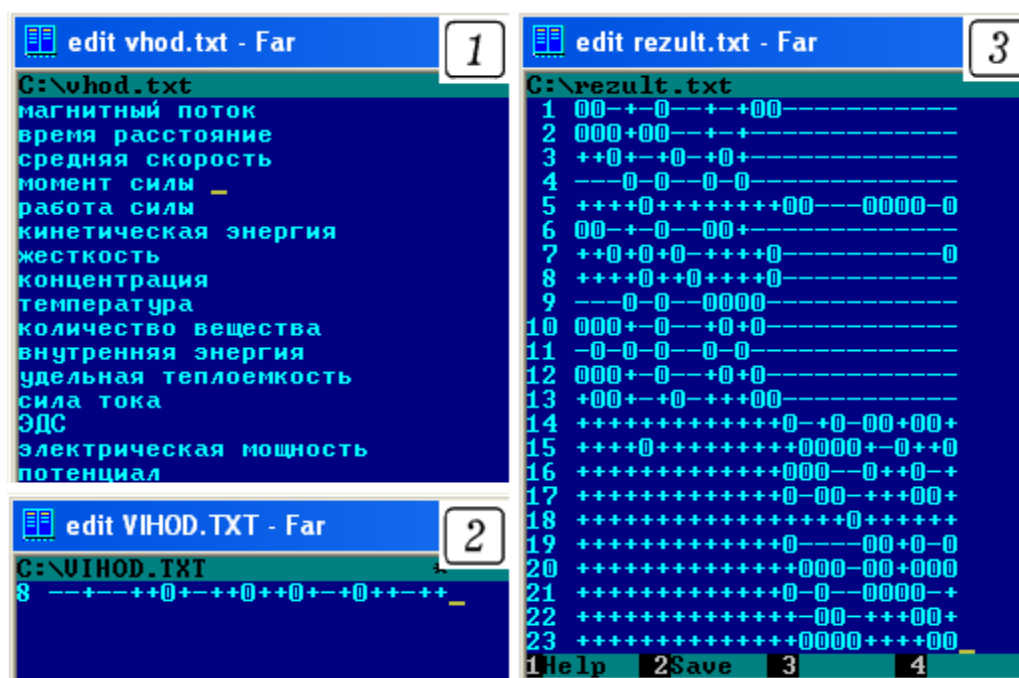


Рис. 1.3. Входной файл vnod.txt, выходной файл vihod.txt, а также матрица, получающаяся в результате парных сравнений.



Для получения оценок объектов получившаяся двумерная матрица из плюсов, нулей и единиц (рис. 1.3.3) анализируется компьютерной программой ПР-2 (рис. 1.4), которая для каждой  $i$ -й строки находит сумму всех плюсов и из нее вычитает сумму всех минусов [32]. Получающийся результат  $x_i$  для каждой строки выводится на экран. Если в программе ПР-2 активизировать  $x[j, i]$  и закомментировать  $x[i, j]$ , то она аналогичным образом обработает столбцы матрицы. Соответствующие результаты  $y_i$  ( $i = 1, 2 \dots N$ ) выводятся на экран. Величина  $S$  оцениваемого качества  $i$ -го объекта считается пропорциональной разности  $x_i - y_i$ . К ней можно прибавить некоторую постоянную и результат умножить на коэффициент так, чтобы максимальное значение характеристики  $S$  равнялось единице, а минимальное – нулю.

```

c:\FPC\2.2.2\bin\i386-win32\fp.exe
File Edit Search Run Compile Debug Tools Options Window
C:\FPC\p_sraun2.pas
Uses crt; Const N=25;
Var i,j,k,a,b: integer;
X: array[1..N,1..N] of integer;
Sum: array[1..N] of integer;
ZZ: array[1..N] of string; REZULT: text;
BEGIN Randomize; clrscr;
Assign(REZULT,'C:\rezult.txt'); Reset(REZULT);
For i:=1 to N do readln(REZULT,ZZ[i]);
For i:=1 to N do For j:=4 to N+3 do begin
If copy(ZZ[i],j,1)='0' then X[i,j-3]:=0;
If copy(ZZ[i],j,1)='-' then X[i,j-3]:=-1;
If copy(ZZ[i],j,1)='+' then X[i,j-3]:=1; end;
For j:=1 to N do begin writeln; For i:=1 to N do
Sum[j]:=Sum[j]+X[i,j]<x[i,j]>; end;
For j:=1 to N do write(Sum[j],' ');
Readkey; Close(REZULT); END.

```

Рис. 1.4. Программа ПР-2, обрабатывающая матрицу, получающуюся в результате парных сравнений объектов.

**1.7. Контент-анализ учебных текстов на компьютере.** Контент-анализ многостраничных текстов, подсчет различных терминов-маркеров самим экспертом – дело трудоемкое, а его результат зависит от случайных факторов. Повысить объективность анализа учебного текста и повторяемость получающихся результатов возможно с помощью компьютерной программы, которая, используя словарь-тезаурус, подсчитывает частоты упоминания различных терминов в текстовом файле, учитывает их сложность и принадлежность к тому или иному классу [32]. Работа эксперта при этом сводится к следующему: 1) составление



словаря-тезауруса; 2) классификация и оценка входящих в него терминов; 3) подготовка файла с анализируемым текстом; 4) создание и запуск программы, анализирующей текст; 5) интерпретация результатов.

Идея использовать компьютер для количественного анализа текста не нова [12, 19, 44, 47]. Существуют компьютерные программы, которые анализируют текст, создают его профиль, что позволяет определить его тематику и классифицировать по той или иной характеристике. Такие методы используются в различных информационно-поисковых системах (Yandex, Google, Yahoo). Выше уже упоминалась компьютерная система ВААЛ [52], осуществляющая анализ эмоциональной оценки отдельных слов и целых текстов.

Методика качественно-количественного анализа содержания учебных текстов требует применения исчерпывающих и взаимоисключающих критериев и определение правила для надежного фиксирования нужных характеристик текста так, чтобы получающиеся результаты не зависели от эксперта, имели высокую повторяемость и отражали объективные характеристики текста [2, 59]. Для оценки количества содержащихся в тексте различных видов знаний (например, эмпирических, теоретических и математических) следует определить число использований соответствующих слов-маркеров. Единицей измерения объема информации является одно упоминание термина.

Например, текст учебника физики включает в себя собственно текстовую информацию, рисунки (т. е. графическую информацию) и формулы. Чтобы оценить количество информации в рисунках и формулах, будем заменять их максимально короткими предложениями, которые полно передают заключенную в них учебную информацию. Речь идет о полезной информации, необходимой для усвоения соответствующего параграфа учебника (ненужная информация, содержащаяся в рисунках, не учитывается).

Каждый символ означает некоторое понятие, поэтому приближенно можно считать, что количество “формульной” информации пропорционально числу математических символов, встречающихся в тексте и в формулах. Сложность символов будем оценивать по пятибалльной шкале: 1. Сложность  $S = 1$ : оди-

точные символы (не вектора) в тексте, сумма, разность, произведение и деление. 2. Сложность  $S=2$ : возведение в степень, извлечение корня, сложение и вычитание векторов. 3. Сложность  $S=3$ : тригонометрические функции, логарифмы, скалярное произведение векторов. 4. Сложность  $S=4$ : пределы, дифференциалы, производные, векторное произведение. 5. Сложность  $S=5$ : интегралы, операторы и т. д. Подсчитывается число математических символов в параграфе со сложностью  $S=1, 2, 3, 4, 5$ , и результаты присваиваются элементам матрицы `mat_sim[i]` (программа `Analizer`, процедура `Formuli`).

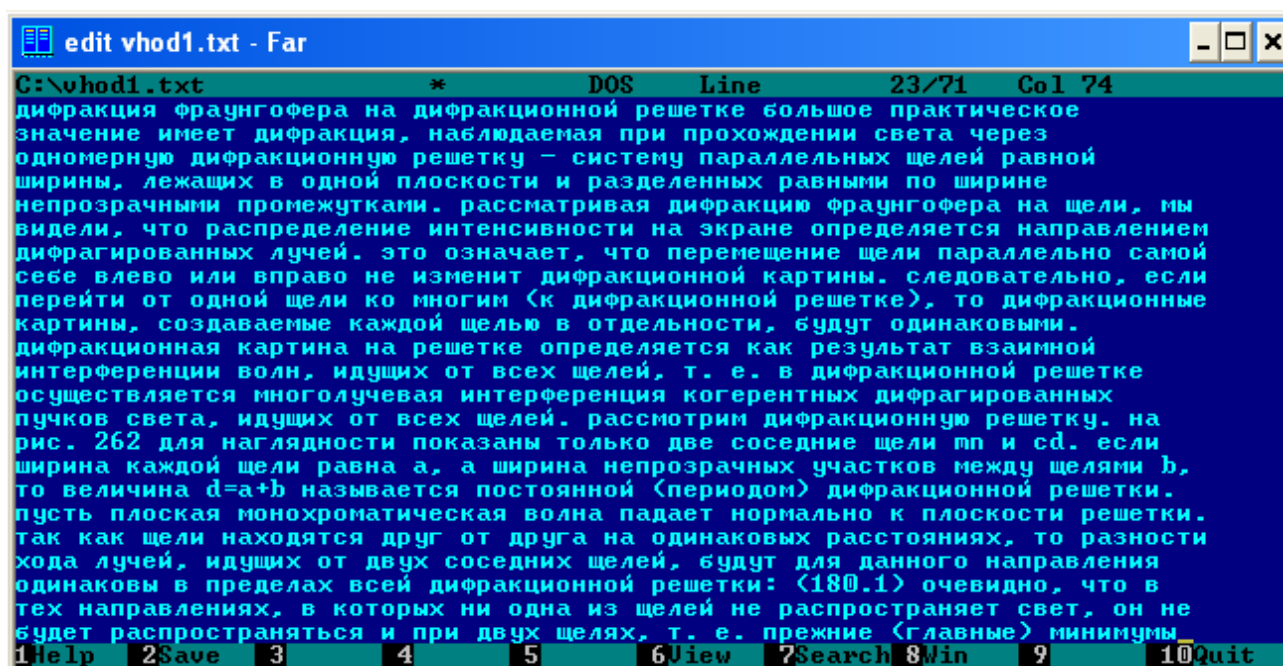


Рис. 1.5. Исходный файл, содержащий текст для контент-анализа.

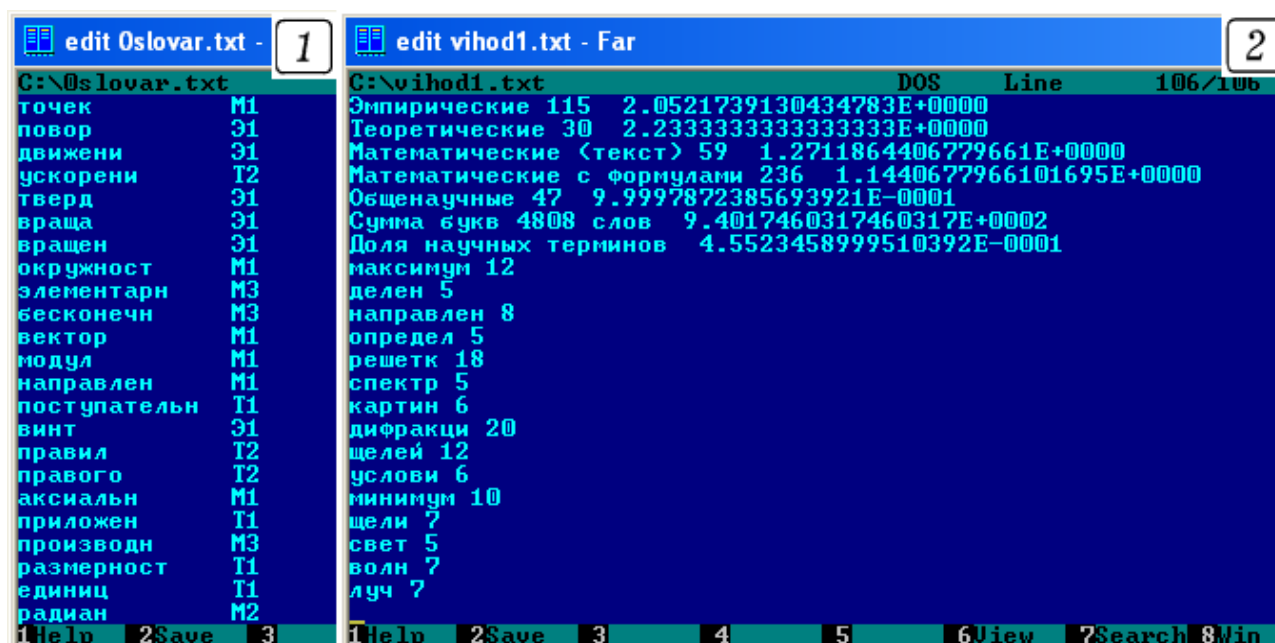


Рис. 1.6. Результаты проведения контент-анализа параграфа учебника.

В приложении 1 представлена специальная программа Analyzer, которая, используя словарь-тезаурус, подсчитывает частоты упоминания различных физических и математических терминов в текстовом файле. Контент-анализ текста осуществляется следующим образом [29]: 1. Определяют сложность и количество “формульной” информации путем подсчета числа математических символов различной сложности в тексте и формулах; результаты присваивают переменным массива `mat_sim[i]`: если число символов с  $S=1$  равно 12, то `mat_sim[1]:=12` и т. д. 2. Заменяют рисунки краткими описаниями, содержащими информацию об изображенных физических и математических объектах, а также их связях. 3. Создают текстовый файл в формате `vhod1.txt`, включающий в себя анализируемый текст с описаниями рисунков без формул (рис. 1.5). 4. Составляют список физических, математических и общенаучных терминов, встречающихся в данном тексте. Для этого используют программы `Word_stat`, `Word_count`, `Word_statistic`, которые можно найти в Интернете. 5. Создают словарь-тезаурус текста, содержащий общие части однокоренных терминов (например, слова дифракция, дифрагировать, дифракционный – общая часть “дифра”), который сохраняют в файле `slovar.txt` (рис. 1.6.1). 6. Каждый термин относят к одному из классов – “эмпирический”, “теоретический”, “математический”, “общенаучный” – и оценивают его сложность  $S$  по шкале 1–2–3; результаты записывают в файл `slovar.txt`. 7. Запускают программу Analyzer, которая, обращаясь к файлу `slovar.txt`, анализирует текст, хранящийся в файле `vhod1.txt`, а результаты записывает в файл `vihod1.txt`. Также создается профиль текста, состоящий из матрицы наиболее часто встречающихся слов и их частот (рис. 1.6.2). 8. Интерпретируют полученные результаты, создают таблицы, строят гистограммы и т. д.

### **1.8. Объективная сложность отдельных вопросов курса физики.**

Субъективные трудности, которые испытывает учащийся при изучении той или иной темы, зависят: 1) от объективной сложности изучаемых элементов учебного материала (ЭУМ); 2) от уровня требований учителя (сложности изложения этих вопросов в учебнике); 3) от индивидуальных способностей учащегося абстрактно мыслить, проводить качественные рассуждения и математические преобразования. При этом **объективная** (или историческая) **сложность** вопро-

са (теории, опыта) определяется трудностью осознания тех или иных идей, проведения умозаключений, математических выкладок и выполнения соответствующих научных экспериментов учеными и не зависит от сложности изложения этого ЭУМ в том или ином учебнике физики [35].

Человеческая цивилизация, наука, культура, технология в целом развиваются поступательно от простого к сложному. Возникновению таких сложных теорий, как теория относительности или теория сверхпроводимости, предшествовало открытие более простых истин: рычаг, плавание тел, механика Ньютона, молекулярно-кинетическая теория, теория электромагнитных волн и т. д. Это не случайно: данный путь развития физической науки обусловлен особенностями восприятия человеком окружающего мира, а также закономерностями развития техники и технологии. Совершенствование техники физического эксперимента привело к установлению новых фактов и стимулировало появление новых, более сложных теоретических моделей [25]. Очевидно, что теория относительности Эйнштейна объективно сложнее механики Галилея-Ньютона хотя бы потому, что для ее открытия человечеству пришлось пройти существенно больший путь в познании окружающего мира. Выдвижение новых идей, построение новых теорий потребовало установления новых фактов, экспериментальной проверки тех или иных положений. Возможности экспериментальной физики расширялись по мере развития техники и технологии, которая в среднем тоже развивалась поступательно от простого к сложному.

Установлено, что развитие науки и техники было неравномерным: количество ученых, университетов, научных журналов, книг и другие показатели уровня развития науки возрастали по экспоненциальному закону: сначала медленно, а затем все быстрее и быстрее. Допустим, что все ученые в мире работают над одной проблемой, а их количество изменяется по закону  $N = N_0 \exp(At)$ . Проблема оказывается решенной в момент  $T$ . Ее сложность пропорциональна количеству затраченных человеко-часов:

$$S' = \int_0^T N_0 e^{At} dt = \frac{N_0 e^{AT}}{A} - \frac{N_0}{A} = e^{AB} e^{AT} - e^{AB}, \text{ где } e^{AB} = \frac{N_0}{A}.$$

Второе слагаемое остается постоянным, его можно отбросить. Отсюда следует, что объективная сложность элемента знания (ЭЗ) связана со временем открытия этого ЭЗ экспоненциальным законом:  $S' = \exp(A(T + B))$ , где  $T$  измеряется в годах, а коэффициенты  $A$  и  $B$  зависят от выбора шкалы. Мысль о том, что сложность элемента научного знания связана с годом его установления указанным выше образом, высказывалась профессором В. В. Майером более двадцати лет назад.

Современный курс физики включает в себя знания, установленные со времен Аристотеля (300 лет до н.э.) до 2000 года. Пусть объективная сложность теории Аристотеля, для которой  $T = -300$  равна 1 усл. ед. Сложность открытия (неважно, какого именно), совершенного в 2000 году ( $T = 2000$ ), будем считать равной 100. Из уравнения  $1 = \exp(A(-300 + B))$  следует, что  $B = 300$  лет. Коэффициент  $A$  находится из уравнения  $100 = \exp(A(2000 + 300))$ . Решая его, получаем:  $A = \ln 100 / 2300 = 0,002002248 \dots \text{год}^{-1}$ . Понимая приблизительный характер установленного соотношения, округлим  $A$  и  $B$  до одной значащей цифры. В результате получим, что объективную сложность элемента учебного материала удобно рассчитывать по формуле:  $S' = \exp(0,002(T + 300))$ . В этом случае сложность  $S' = 100$  усл. ед. соответствует открытию, состоявшемуся примерно в 2005 году.

Таблица 1.1

Сложность различных тем школьного курса физики (10 и 11 кл.)

Элемент учебного материала	Год от-крытия	Страница учебника	Момент изучения	Объектив-ная слож-ность	Средняя слож-ность
1	2	3	4	5	6
<b>МЕХАНИКА</b>					
Классич. закон сложения скоростей	1590	27	0,063	43,8	51,2
Падение тел, опыт Галилея	1590	38	0,098	43,8	
Законы Ньютона	1666	65	0,184	51,0	
Принцип относительности Галилея	1600	73	0,209	50,6	
Закон всемирного тяготения	1667	79	0,228	51,1	
Опыт Кавендиша, определение G	1798	83	0,241	66,4	
Закон Гука, упругие деформации	1670	90	0,263	51,4	

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5	6
МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА					
Основы МКТ	1740	145	0,437	59,1	71,3
Броуновское движение	1827	147	0,443	70,4	
Постоянная Больцмана	1885	168	0,509	79,0	
Шкала Кельвина	1880	167	0,506	78,3	
Опыт Штерна	1920	171	0,519	84,8	
Уравнение Менделеева–Клапейрона	1870	176	0,535	76,7	
Закон Бойля–Мариотта	1670	178	0,541	51,4	
Закон Гей–Люссака	1830	179	0,544	70,8	
Закон Шарля	1787	180	0,547	65,0	
Закон сохранения энергии (Майер)	1850	205	0,627	73,7	
Второе начало термодинам.(Клаузиус)	1870	211	0,646	76,7	
Цикл Карно	1824	220	0,675	70,0	
ЭЛЕКТРОСТАТИКА. ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА					
Электризация, электромметр	1750	230	0,706	60,3	66,2
Два вида электричества	1734	230	0,706	58,4	
Закон сохранения заряда	1843	231	0,709	72,7	
Закон Кулона	1785	233	0,715	64,7	
Электрическое поле (Фарадей)	1831	241	0,741	71,0	
Емкость	1746	261	0,804	60,0	
Электрический ток (Вольта)	1795	271	0,835	66,0	
Закон Ома	1826	275	0,848	70,2	
Закон Джоуля–Ленца	1840	279	0,861	72,2	
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В РАЗЛИЧНЫХ СРЕДАХ					
Электронная проводимость металлов	1915	289	0,892	83,9	81,8
Сверхпроводимость	1911	292	0,902	83,2	
Транзистор	1940	301	0,930	88,2	
Полупроводники (Браун)	1906	295	0,911	82,4	
Ток в вакууме	1895	305	0,943	80,6	
Открытие электролиза	1832	309	0,956	71,1	
Получение плазмы	1879	315	0,975	78,1	
Электронно–вакуумный диод, ЭЛТ	1930	303	0,937	86,5	
МАГНИТНОЕ ПОЛЕ. ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ					
Магнитное взаимодействие токов	1820	11	1,025	69,4	74,2
Сила Лоренца	1900	17	1,044	81,5	
Гипотеза Ампера	1820	20	1,054	69,4	
Электромагнитн. индукция (Фарадей)	1831	27	1,076	71,0	
Вихревое поле (Максвелл)	1865	34	1,098	75,9	
Трансформатор	1878	107	1,330	77,9	
ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ					
Электромагнитные волны (Максвелл)	1865	131	1,406	75,9	81,1
Опыты Герца с ЭМ волнами	1886	135	1,419	79,2	
Радио Попова	1896	139	1,432	80,8	
Принципы радиосвязи	1910	143	1,444	83,1	
Телевидение	1930	151	1,470	86,5	



Окончание таблицы

1	2	3	4	5	6
ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ И ВОЛНОВАЯ ОПТИКА					
Теория света (Гюйгенс)	1666	161	1,506	51,0	56,9
Теория света (Ньютона)	1666	162	1,505	51,0	
Измерение скорости света (Ремер)	1676	158	1,492	52,0	
Измерение скорости света (Физо)	1849	159	1,495	73,6	
Закон преломления	1626	164	1,511	47,1	
Дисперсия	1666	184	1,575	51,0	
Опыт Юнга (интерференция)	1802	197	1,616	67,0	
Кольца Ньютона (интерференция)	1670	191	1,597	51,4	
Опыты Френеля (диффракция)	1810	198	1,619	68,0	
ОСНОВЫ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ					
Специальная теория относительности	1910	214	1,670	83,1	81,9
Опыт Майкельсона–Морли	1881	213	1,667	78,4	
Постулаты СТО	1910	214	1,670	83,1	
Следствия СТО	1910	218	1,683	83,1	
КВАНТОВАЯ ТЕОРИЯ. АТОМНАЯ И ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА					
Спектрометр	1860	229	1,717	75,2	84,96
Рентгеновские лучи	1895	235	1,737	80,6	
Гипотеза Планка	1900	241	1,756	81,5	
Теория фотоэффекта (Эйнштейн)	1905	245	1,768	82,3	
Гипотеза де–Бройля	1923	248	1,778	85,3	
Опыт Лебедева	1900	251	1,787	81,5	
Опыт Резерфорда	1911	256	1,803	83,3	
Постулаты Бора	1913	260	1,816	83,6	
Серия Бальмера	1885	262	1,822	79,0	
Лазер	1954	265	1,832	90,7	
Счетчик Гейгера	1908	270	1,848	82,8	
Камера Вильсона	1912	271	1,851	83,4	
Пузырьковая камера	1952	272	1,854	90,4	
Радиоактивность	1896	274	1,860	80,8	
Теория радиоактивности	1898	274	1,860	81,1	
Альфа–частицы	1920	277	1,870	84,8	
Преращения ядер	1919	284	1,892	84,6	
Открытие нейтрона	1932	285	1,895	86,8	
Протон–нейтронная модель ядра	1932	287	1,902	86,8	
Деление ядер	1938	292	1,917	87,9	
Цепная ядерная реакция	1942	299	1,940	88,6	
Ядерная бомба	1945	302	1,949	89,1	
Элементарные частицы	1900	310	1,975	81,5	
Позитроны, античастицы	1945	310	1,975	89,1	
Гипотеза о кварках	1964	313	1,984	92,6	
Антигелий	1969	314	1,987	93,5	

С целью оценки сложности различных тем школьного курса физики нами были проанализированы два учебника: Физика, 10 класс (Г. Я. Мякишев, Б. Б. Буховцев, Н. Н. Соцкий, 2004), Физика, 11 класс (Г. Я. Мякишев, Б. Б. Буховцев, 2004). В них представлены все основные вопросы, изучаемые в школе.

Для каждой темы был составлен список входящих в нее элементов знаний (факты, законы, принципы, теории) с указанием года их установления или открытия закона [25] и по приведенной выше формуле определена объективная сложность. Кроме того, исходя из страницы учебника, на которой упоминается данный ЭУМ, было установлено его время изучения  $t$ , отсчитываемое от начала 10-го класса. Для учебников 10-го и 11-го классов использовались формулы:  $t = n_{cmp,10} / N_{10}$  или  $t = 1 + n_{cmp,11} / N_{11}$  соответственно. Здесь  $n_{cmp,10}$ ,  $n_{cmp,11}$  – номер страницы учебника за 10-й или 11-й класс, на которой рассмотрен ЭУМ,  $N_{10}$ ,  $N_{11}$  – общее количество страниц в этих учебниках. При этом момент изучения  $t$  (в годах) изменяется в интервале от 0 до 2. Результаты сведены в табл. 1.1.

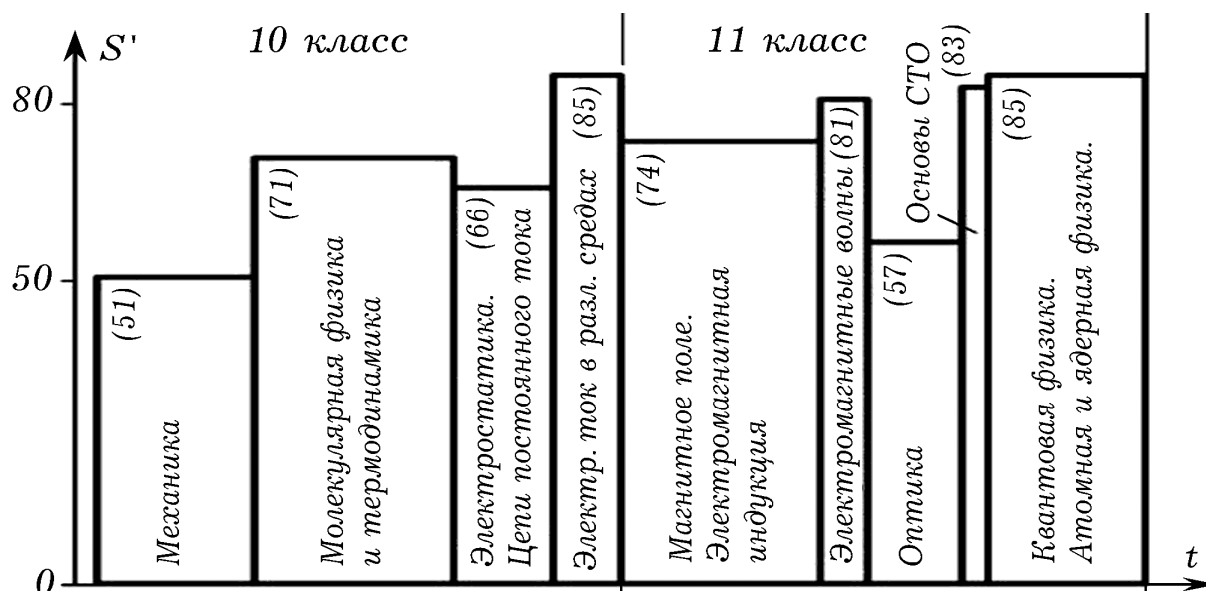


Рис. 1.7. Объективная сложность различных вопросов курса физики.

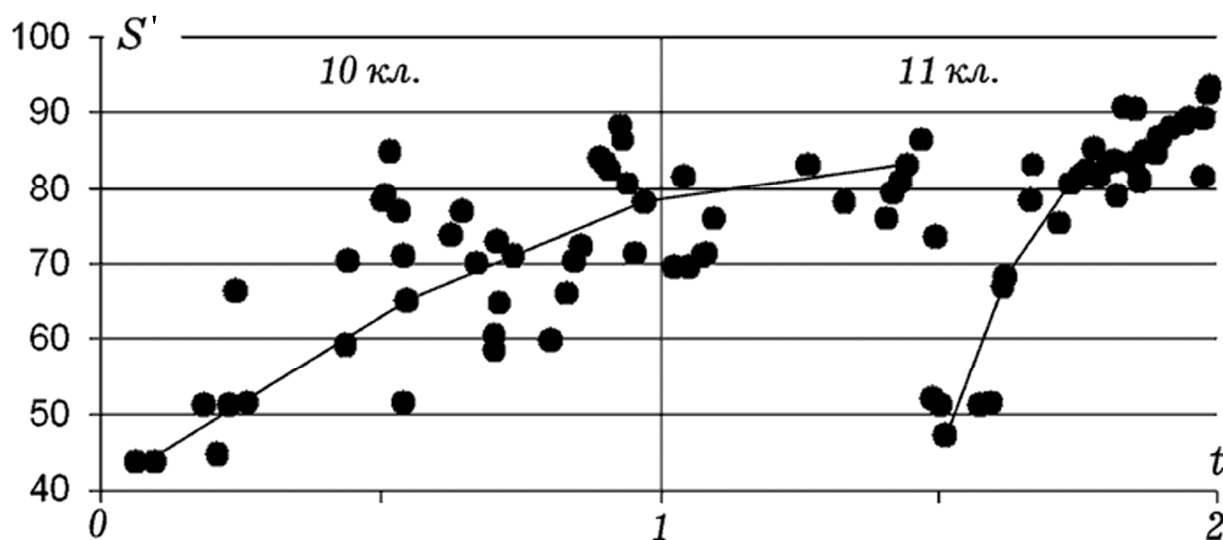


Рис. 1.8. Распределение ЭУМ на плоскости сложность – время изучения.



По представленным в таблице данным можно построить диаграмму (рис. 1.7), показывающую, как изменяется сложность изучаемого материала с течением времени (в 10–11-м классах). Видно, что сложность  $S$  изменяется немонотонно, но в среднем возрастает, что соответствует принципу “от простого к сложному”. Полученные результаты позволяют утверждать, что, например, механика объективно проще, чем молекулярная физика и электродинамика, а явления квантовой физики существенно сложнее оптических явлений.

К тем же выводам можно прийти, анализируя распределение ЭУМ на плоскости “сложность  $S$  – время изучения в школе  $t$ ” (рис. 1.8). В целом точки усредняются возрастающей кривой; провал в середине 11-го класса соответствует оптическим явлениям, систематически изучаемым с 17 века.

---

Вверх

## Глава 2.

# ОЦЕНКА СЛОЖНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Оценка сложности учебного текста предполагает учет дидактической сложности (ДС) входящих в него понятий, рисунков и формул [29–41]. Поэтому проблема разработки эффективного метода оценки ДС понятий, обозначающих величины, законы, приборы, эксперименты, является актуальной. В этой главе рассматриваются различные подходы к решению этой проблемы и получающиеся результаты на примере школьного курса физики.

**2.1. Об оценке дидактической сложности понятий.** Изучение физики предполагает овладение различными понятиями, которые обозначают физические объекты (вода, гравитационное поле, нейтрон), приборы и устройства (весы, амперметр, циклотрон), эксперименты (опыт Ома, опыт Столетова, опыт Физо), величины (импульс, интенсивность), законы, принципы, постулаты (закон Ома, постулаты Эйнштейна), теоретические модели (материальная точка, идеальный газ). Любое понятие либо обозначает некоторый физический объект (явление), либо как-то связано с ним. Трудность (субъективная сложность) усвоения понятия зависит от: 1) возможности восприятия объекта органами чувств; 2) изменения объекта с течением времени; 3) количества степеней свободы; 4) пространственной локализации объекта; 5) наличия структуры; 6) соответствия поведения объекта “здравому смыслу”.

Чтобы оценить дидактическую сложность того или иного понятия, необходимо определить уровень абстрактности используемых моделей, степень их оторванности от повседневного опыта, наличие кажущегося противоречия ме-

жду теоретическими рассуждениями и повседневным опытом [35, 39, 41]. При этом следует учитывать: 1) возможность и сложность экспериментального изучения учеником соответствующих объектов, устройств, экспериментов и т. д.; 2) сложность теоретического объяснения сущности данного понятия; 3) сложность структуры оцениваемого объекта или понятия, зависящую от числа входящих в него элементов и связей между ними. В табл. 2.1 представлены результаты приблизительной оценки понятий по шкале 1–2–3–4–5–6, обозначающих объекты, явления, физические модели, идеи, законы и теории.

Таблица 2.1

Сложность физических понятий

Сложность	Примеры понятий, обозначающих физические объекты, явления, модели, законы, принципы
1	Механическое движение, материальная точка, твердое тело, упругое тело, механические колебания; явления геометрической оптики; явления термодинамики без учета молекулярной структуры вещества; законы Ньютона;
2	Молекулярное строение вещества (без структуры молекул), механические волны, звук, явления электростатики и электрический ток (без обсуждения движения электронов, дырок, ионов); молекулярно-кинетическая теория;
3	Точечный заряд, электростатическое поле, стационарное магнитное поле, гравитационное поле, электроны, протоны, ионы, дырки, их движение, ток как упорядоченное движение заряженных частиц, электрические колебания, световые волны (без обсуждения электромагнитной природы);
4	Нестационарное электромагнитное поле, электромагнитная индукция, электромагнитная волна, свет как ЭМВ, поляризация света; планетарная модель атома; закон Фарадея для ЭМИ;
5	Ядро, состоящее из протонов и нейтронов, ядерные силы, энергия связи, массовое и зарядовое числа, ядерные реакции, лептоны и адроны;
6	Идея квантования энергии, импульса, свет как поток фотонов, модель атома Бора, волны Де-Бройля, корпускулярно-волновой дуализм, релятивистские эффекты, свойства пространства и времени;

Любая естественная наука есть синтез теории и практики; поэтому почти любое научное понятие может быть рассмотрено с двух точек зрения: с экспериментальной и с теоретической. Поэтому можно предположить, что дидактическая сложность  $S_i$   $i$ -го понятия пропорциональна сумме двух характеристик:

1) возможности и сложности экспериментального изучения  $A_i$  учеником соответствующего прибора, эксперимента, величины, закона; 2) сложности объяснения или теоретического изучения  $B_i$  сущности этого понятия. Эти обе характеристики зависят от сложности структуры оцениваемого объекта, количества составляющих его элементов и связей между ними. Можно использовать формулу  $S_i = a(A_i + B_i) + b$ , где  $a$  и  $b$  подбираются так, чтобы ДС  $S_i$  заполняла интервал  $[0; 1]$ . В идеале процедура определения ДС научного понятия должна: 1) быть не очень трудоемкой и занимать немного времени; 2) иметь погрешность не более 10 %. С помощью метода парных сравнений можно точно оценить ДС 20–30 понятий из различных разделов физики и, расположив их в порядке возрастания, использовать получившийся список для оценки ДС других понятий, которые не подвергались анализу.

**2.2. Дидактическая сложность понятий, обозначающих физические приборы: Двухкомпонентная модель.** Будем считать, что дидактическая сложность понятий, обозначающих физические приборы и устройства, зависит от: 1) сложности экспериментального изучения  $A$ ; 2) сложности теоретического изучения  $B$ . На основе анализа школьных учебников был составлен список из  $N = 28$  случайным образом выбранных механических, электрических, оптических и других приборов и устройств, начиная от линейки, весов и заканчивая циклотроном и ядерным реактором [39, 41]. Для оценки возможности и сложности экспериментального изучения  $A$  и сложности теоретического изучения  $B$  использовался метод парных сравнений. В электронных таблицах Excel была создана таблица из  $N$  строк и  $N$  столбцов, содержащих сравниваемые понятия. Если вероятность того, что учащийся может самостоятельно использовать или наблюдать использование  $i$ -го прибора в повседневной жизни или в школе, меньше, чем  $j$ -го устройства, то  $A_i > A_j$ . В этом случае на пересечении  $i$ -й строки и  $j$ -го столбца ставится “1”, а на пересечении  $j$ -й строки и  $i$ -го столбца ставится “–1”. Если значения характеристики  $A$  для обоих приборов (уст-

роЙств) примерно одинаковы, то в обе клетки таблицы ставятся нули. Можно уверенно утверждать, что понятия “масс-спектрограф”, “осциллограф”, “амперметр”, “весы” расположены в порядке уменьшения характеристики  $A$ . Для нахождения  $A_i$   $i$ -го понятия необходимо найти сумму всех элементов  $i$ -й строки  $A_{i,sum}$ , прибавить к ней некоторую постоянную и разделить на нормировочный коэффициент так, чтобы минимальное значение  $A_i$  было равно 0, а максимальное – 1.

Аналогичным образом производилась оценка сложности  $B_i$  теоретического объяснения устройства и работы  $i$ -го прибора. Можно представить ученика 5-6 класса, еще не изучавшего физику, либо человека, давно окончившего школу, которому объясняют устройство и принцип работы того или иного прибора, не демонстрируя его. Понятно, что чем сложнее прибор и физические принципы его функционирования, тем больше времени и усилий потребуется для объяснения. Некоторые приборы (весы) почти не требуют объяснений, другие (циклотрон) – предполагают довольно сложные рассуждения. Сложность объяснения принципа работы прибора (устройства) зависит от числа составляющих его элементов, сложности используемых теоретических моделей, понятий и законов, которые определяются характером происходящих процессов и взаимодействий. Если все физические процессы расположить по возрастанию сложности, то получится ряд: механические, тепловые, электромагнитные и оптические, квантовые и ядерные.

Кроме оценки характеристик  $A$  и  $B$  с помощью таблиц Excel, также использовалась компьютерная программа ПР-1 (п. 1.6), которая выводила на экран два сравниваемых понятия, случайным образом выбранных из списка. Одно понятие – заранее заданное название  $i$ -го прибора, а другое – случайным образом выбранное понятие из входного файла, содержащего список из 28 физических приборов и устройств. Эксперт должен был сравнить оцениваемые качества этих двух приборов (то есть сложности  $A$  или  $B$ ) и ввести с клавиатуры символы “+”, “0” или “–”, что соответствует “больше”, “примерно одинаково”,

“меньше”. Затем компьютер случайно выбирал следующее понятие и снова выводил его рядом с названием  $i$ -го прибора, а эксперт снова сравнивал оцениваемые качества этих понятий. После того, как  $i$ -е понятие было сопоставлено с каждым понятием из входного файла, результат помещался в выходной файл в виде строки “+ + + ... + 0 0 – + ... – 0 + – –”. В результате полного перебора всего списка приборов каждая пара понятий сравнивалась дважды, что позволило уменьшить влияние случайных факторов. Из этих строк вручную создавался текстовый файл, содержащий матрицу 28 x 28. Этот файл анализировался программой ПР-2 (п. 1.6), которая для каждой  $i$ -й строки находила сумму всех плюсов и из нее вычитала сумму всех минусов, получая результат  $x_i$ . Аналогичная процедура осуществлялась со столбцами; для  $i$ -го столбца получалось  $y_i$ . Величина оцениваемого качества считается пропорциональной разности  $x_i - y_i$ . К ней прибавлялась некоторая постоянная, и результат умножался на коэффициент так, чтобы максимальное значение характеристики равнялось 1, а минимальное – 0. При этом использовались формулы:

$$A_i = (x_i - y_i + 53)/107, \quad B_i = (x_i - y_i + 54)/103.$$

Таблица 2.2

Сводная таблица результатов оценки ДС приборов.

ПОНЯТИЕ	A	B	S	ПОНЯТИЕ	A	B	S
Линейка	0,000	0,000	0,000	ДВС	0,523	0,563	0,568
Термометр	0,121	0,117	0,124	Радиоприемник	0,140	1,000	0,596
Насос	0,215	0,068	0,148	Спектрометр	0,748	0,485	0,645
Весы рычажные	0,187	0,126	0,164	Трансформатор	0,551	0,699	0,654
Динамометр	0,271	0,117	0,203	Эл. генератор	0,505	0,757	0,660
Секундомер, часы	0,093	0,369	0,242	Эл. луч. трубка	0,514	0,777	0,675
Лупа	0,252	0,301	0,289	ПП диод	0,551	0,796	0,704
Холодильник	0,093	0,505	0,313	Счетчик Гейгера	0,794	0,660	0,760
Ареометр	0,486	0,194	0,356	Эл. лампа-диод	0,785	0,699	0,776
Барометр-анер.	0,430	0,301	0,382	Масс-спектрогр.	0,907	0,621	0,799
Конденсатор	0,542	0,272	0,425	Диффр. решетка	0,738	0,854	0,833
Телескоп	0,439	0,573	0,529	Циклотрон	0,963	0,874	0,960
Психрометр	0,664	0,388	0,550	Интерфером. М.	0,907	0,942	0,966
Амперметр	0,467	0,602	0,559	Ядерный реактор	1,000	0,913	1,000

Для нахождения дидактической сложности  $S_i$  характеристики  $A_i$ ,  $B_i$  складывались, а результат нормировался так, чтобы наименьшее  $S_i$  равнялось

0, а наибольшее – 1. Использовалась формула:  $S_i = (A_i + B_i)/1,91$ . Результаты оценки характеристик  $A_i$ ,  $B_i$  и дидактической сложности  $S_i$  представлены в табл. 2.2; в ней понятия упорядочены по возрастанию  $S_i$ . Хотя эта и последующие таблицы содержат величины с тремя значащими цифрами, погрешность составляет около 0,1. Связь между  $A$  и  $B$  характеризуется коэффициентом корреляции  $r_{AB} = 0,63$ . Из табл. 2.2 следует, что ДС конденсатора ощутимо меньше ДС трансформатора, но больше, чем ДС весов, а циклотрон и интерферометр Майкельсона примерно одинаково сложны для изучения.

**2.3. Трехкомпонентная модель ДС приборов и устройств.** Возможен иной подход к оценке ДС приборов и устройств, изучаемых в школьном курсе физики. Допустим, что ДС устройства в равной степени зависит от следующих характеристик: 1) сложности конструкции  $A$ ; 2) сложности экспериментального изучения  $B$ , характеризующей возможность ученика увидеть и использовать этот прибор в повседневной жизни или физической лаборатории; 3) сложности  $C$  объяснения (теоретического изучения) устройства и принципов функционирования прибора, зависящей от характера происходящих процессов, описывающих их законов и т. д.

Для оценки сложности  $A$  конструкции устройства определялось количество  $N_{\Sigma}$  входящих в рассматриваемое устройство элементов (деталей, частей), которые изучаются школьником. Для этого анализировался рисунок или словесное описание прибора и подсчитывалось число используемых понятий. Для того, чтобы  $A$  находилась в интервале  $[0; 1]$ , использовалась формула  $A = (N - 1)/9$ ; результаты приведены в табл. 2.4.

Для оценки возможности и сложности экспериментального изучения  $B$  и сложности теоретического изучения  $C$  использовался метод парных сравнений. В табл. 2.2, созданной в Excel, представлены предварительные результаты оценки характеристики  $B$  для 27 приборов и устройств. Если вероятность того, что учащийся может самостоятельно использовать или наблюдать использова-



ние  $i$ -го прибора в повседневной жизни или в школе, меньше, чем  $j$ -го устройства, то  $B_i > B_j$ . В этом случае на пересечении  $i$ -й строки и  $j$ -го столбца ставится “1”, а на пересечении  $j$ -й строки и  $i$ -го столбца ставится (или подразумевается) “-1”. Если сложность обоих приборов (устройств) одинакова, то в обе клетки таблицы ставятся нули. Для нахождения  $B_i$   $i$ -го понятия необходимо найти сумму всех элементов  $i$ -й строки  $B_{sum,i}$ . Получившиеся оценки следует нормировать так, чтобы они заполняли интервал  $[0; 1]$ . Можно заполнить только половину таблицы (см. табл. 2.3), а значения  $B_i$  вычислять, вычитая из суммы элементов  $i$ -й строки сумму элементов  $i$ -го столбца и умножая результат на нормировочный коэффициент.

Таблица 2.3

Результаты предварительной оценки характеристики  $B$

i	название	ВОЗМОЖНОСТЬ И СЛОЖНОСТЬ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИЗУЧЕНИЯ ПРИБОРА																											B		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27			
1	Линейка	0																											0	24	0
2	Весы	1	0																										1	15	0,208
3	Динамометр	1	0	0																									1	10	0,313
4	Ареометр	1	1	0	0																								2	3	0,479
5	Секундомер, часы	1	0	-1	-1	0																							-1	18	0,104
6	Термометр	0	-1	-1	-1	0	0																						-3	20	0,021
7	Насос	1	0	0	0	1	1	0																					3	10	0,354
8	Барометр-анер.	1	1	0	0	1	1	1	0																				5	6	0,479
9	Холодильник	0	-1	-1	-1	0	0	-1	-1	0																			-5	17	0,042
10	ДВС	1	0	0	0	1	1	1	0	1	0																		5	3	0,542
11	Психрометр	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0																	8	3	0,604
12	Лупа	1	0	0	-1	1	1	0	0	1	-1	-1	0																1	12	0,271
13	Телескоп	1	1	0	0	1	1	0	0	1	-1	0	1	0															5	7	0,458
14	Спектрометр	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0														11	1	0,708
15	Диффр. решетка	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0													11	1	0,708
16	Интерфер. Майк.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0												15	-5	0,917
17	Эл.генератор	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	-1	0	0	-1	-1	-1	0											1	7	0,375
18	Конденсатор	1	1	1	0	1	1	0	0	1	0	-1	1	0	-1	-1	-1	1	0										4	3	0,521
19	Трансформатор	1	1	1	0	1	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	-1	1	0	0									8	2	0,625
20	ПП диод	1	1	1	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	-1	-1	-1	1	0	-1	0								4	4	0,5
21	Эл лампа-диод	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	-1	1	1	1	1	0							16	1	0,813
22	Эл.луч.трубка	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	-1	0	-1	-1	0	-1	-1	0	-1	0						-1	3	0,417
23	Радиоприемник	1	0	0	-1	0	1	0	-1	0	-1	0	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0					-11	4	0,188	
24	Счетчик Гейгера	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-1	1	1	1	1	0	1	1	0				20	3	0,854
25	Циклотрон	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0			24	0	1
26	Масс-спектрогр.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0		24	0	1
27	Ядерн. реактор	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	24	0	1
		24	15	10	3	18	20	10	6	17	3	3	12	7	1	1	-5	7	3	2	4	1	3	4	3	0	0	0			

Аналогичным образом осуществлялась оценка сложности  $C$  объяснения устройства и работы приборов (приложение 2). Чем сложнее прибор и принципы его функционирования, тем больше времени и усилий потребуется для объяснения его работы ученику 5 класса. При этом механические устройства, как



правило, проще тепловых машин, а те, в свою очередь, проще электрических приборов и т. д.

Таблица 2.4.

Сводная таблица результатов оценки ДС приборов

$i$	название	$N_{\Sigma}$	$A$	$B$	$C$	$S$
1	линейка	1	0,000	0,000	0,000	0,000
2	весы	4	0,333	0,187	0,126	0,218
3	динамометр	3	0,222	0,271	0,117	0,209
4	ареометр	3	0,222	0,486	0,194	0,313
5	секундомер, часы	8	0,778	0,093	0,369	0,413
6	термометр	3	0,222	0,121	0,117	0,156
7	насос	4	0,333	0,215	0,068	0,207
8	барометр-анероид	5	0,444	0,430	0,301	0,402
9	холодильник	6	0,556	0,093	0,505	0,390
10	ДВС	6	0,556	0,523	0,563	0,564
11	психрометр	5	0,444	0,664	0,388	0,516
12	лупа	2	0,111	0,252	0,301	0,232
13	телескоп	3	0,222	0,439	0,573	0,431
14	спектрометр	5	0,444	0,664	0,388	0,516
15	диффр. решетка	3	0,222	0,738	0,854	0,637
16	интерферометр М.	6	0,556	0,907	0,942	0,835
17	эл. генератор	6	0,556	0,505	0,757	0,626
18	амперметр	5	0,444	0,467	0,602	0,522
19	конденсатор	3	0,222	0,542	0,272	0,360
20	трансформатор	3	0,222	0,551	0,699	0,516
21	ПП диод	3	0,222	0,551	0,796	0,550
22	эл. лампа-диод	4	0,333	0,785	0,699	0,634
23	эл. луч. трубка	6	0,556	0,514	0,777	0,637
24	радиоприемник	8	0,778	0,140	1,000	0,654
25	счетчик Гейгера	5	0,444	0,794	0,660	0,659
26	циклотрон	6	0,556	0,963	0,874	0,831
27	масс-спектрограф	5	0,444	0,907	0,621	0,685
28	ядерный реактор	10	1,000	1,000	0,913	1,000

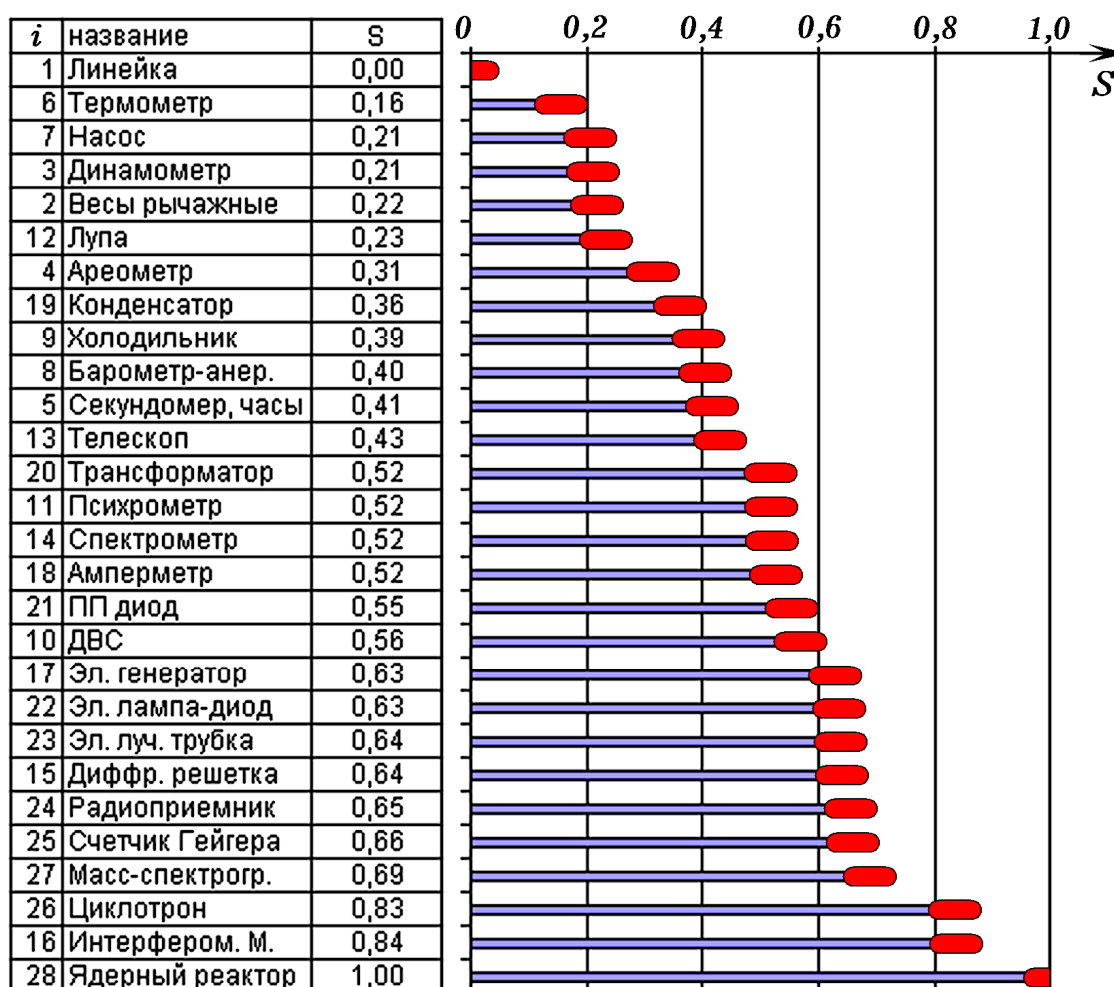


Рис. 2.1. Результаты оценки дидактической сложности физических приборов.

Для оценки характеристик  $B$  и  $C$  также применялась компьютерная программа ПР-1 (п. 1.6). Для нахождения дидактической сложности  $S_i$  характеристики  $A_i$ ,  $B_i$  и  $C_i$  складывались, а результат нормировался. Все расчеты осуществлялись в электронных таблицах Excel, при этом использовались формулы:

$$A_i = (N_i - 1) / 9, B_i = (x_i - y_i + 53) / 107, C_i = (x_i - y_i + 54) / 103,$$

$$S_i = (A_i + B_i + C_i) / 2,813.$$

Полученные результаты оценки характеристик  $A_i$ ,  $B_i$ ,  $C_i$  и дидактической сложности  $S_i$  по шкале интервалов представлены в табл. 2.4. Связь между ними характеризуется коэффициентами корреляции:  $r(A, B) = 0,28$ ,  $r(A, C) = 0,55$ ,  $r(B, C) = 0,62$  [39, 41]. С помощью пакета Excel можно упорядочить приборы по возрастанию сложности  $S_i$  и получить диаграмму, изображенную на рис. 2.1. Из него следует, что ДС двигателя внутреннего сгорания (ДВС) заметно меньше ДС масс-спектрографа, но больше, чем ДС ареометра, а счетчик Гейгера и электронно-лучевая трубка примерно одинаково сложны для изучения. Полученные результаты имеют погрешность около 0,1 и могут применяться для определения дидактической сложности других понятий.

**2.4. Оценка дидактической сложности физических величин.** Рассмотренным выше методом была произведена оценка дидактической сложности 26 величин из школьного курса физики. Предполагалось, что она пропорциональна сумме сложности объяснения (теоретического изучения)  $A$  и сложности измерения этой величины учеником  $B$ . Для оценки  $A$  и  $B$  также использовался метод парных сравнений, реализованный с помощью компьютерной программы ПР-1 (п. 1.6); затем результаты нормировались.

Результаты оценки ДС физических величин представлены в табл. 2.5. Оказалось, что между полученными оценками  $A$  и  $B$  имеет место слабая связь; коэффициент корреляции  $r(A, B) = 0,43$ . В зависимости от ДС  $S$  рассматриваемые понятия можно разделить на следующие пять групп: 1) **очень простые**: время – 0; средняя скорость – 0,15; жесткость – 0,18; фокусное расстояние – 0,19; 2) **простые**: кинетическая энергия – 0,31; момент силы – 0,32; температу-

ра – 0,32; увеличение – 0,34; сила тока – 0,36; 3) **средней сложности:** количество вещества – 0,46; концентрация – 0,51; работа силы – 0,51; электрическая мощность – 0,56; период полураспада – 0,56; удельная теплоемкость – 0,60; 4) **сложные:** ЭДС – 0,60; освещенность – 0,63; потенциал – 0,65; длина волны – 0,65; внутренняя энергия – 0,68; атомное число – 0,68; 5) **очень сложные:** работа выхода электрона – 0,86; интенсивность ЭМВ – 0,89; индукция магнитного поля – 0,93; главное квантовое число – 0,99; удельная энергия связи – 1,0.

Таблица 2.5

## Сводная таблица результатов оценки ДС физических величин

ПОНЯТИЕ	A	B	S
Время, расстояние	0,000	0,000	0,000
Средняя скорость	0,172	0,115	0,150
Жесткость пружины	0,258	0,092	0,183
Фокусное расстояние	0,194	0,172	0,191
Кинетическ. энергия	0,301	0,287	0,308
Момент силы	0,280	0,333	0,320
Температура	0,054	0,563	0,323
Увеличение	0,355	0,299	0,342
Сила тока	0,247	0,448	0,364
Кол-во вещества	0,344	0,540	0,462
Концентрация	0,667	0,299	0,505
Работа силы	0,344	0,629	0,509
Электрич. мощность	0,527	0,552	0,564

ПОНЯТИЕ	A	B	S
Период полураспада	0,849	0,218	0,558
Удельн. теплоемкость	0,602	0,540	0,597
ЭДС источника	0,258	0,897	0,604
Освещенность	0,323	0,874	0,626
Потенциал	0,387	0,851	0,648
Длина волны	0,720	0,517	0,647
Внутренняя энергия	0,785	0,517	0,681
Атомное число	0,989	0,310	0,680
Работа выхода	0,742	0,897	0,857
Интенсивность ЭМВ	0,774	0,931	0,892
Индукция МП	0,785	1,000	0,934
Гл.квант.число	1,000	0,897	0,992
Уд. энергия связи	0,946	0,966	1,000



Рис. 2.2. Результаты оценки дидактической сложности приборов и величин.

Понятия из табл. 2.4 и 2.5 расположим в порядке возрастания ДС (рис. 2.2). Найденные значения  $S_i$  позволяют оценить дидактическую сложность других понятий по шкале интервалов [39, 41]. Например, угол поворота – 0,0-0,1, напряженность электрического поля – 0,6-0,7, спектральная плотность излучения – 0,9, гальванический элемент – 0,3-0,4, ваттметр – 0,5-0,6 и т.д. На основе полученных результатов можно выработать единые критерии оценки сложности естественно-научных понятий и построить шкалу абстрактности (приложение 3, таб. 5.2).

**2.5. Дидактическая сложность физических экспериментов.** При оценке дидактической сложности физических экспериментов можно исходить из двухкомпонентной модели “теория-практика”. ДС понятия, обозначающего физический опыт или наблюдение, зависит от двух факторов [40]: 1) сложности объяснения (теоретического изучения)  $A$  этого эксперимента (наблюдения), осуществляемого умозрительно, то есть без его выполнения; 2) сложности (или возможности) выполнения  $B$  рассматриваемого эксперимента учеником в повседневной жизни или на уроке. При оценке сложности теоретического изучения  $A$  эксперт должен представить учителя, который описывает условия проведения опыта и объясняет его результат человеку, не изучавшему физику. Объяснение должно быть максимально кратким и опираться на формулы и законы, выделенные в стандартном учебнике жирным шрифтом. Предполагается, что, объясняя опыт “демонстрация закона преломления света”, учитель ссылается на закон преломления, а не на принцип Гюйгенса–Френеля, из которого этот закон может быть выведен. Сложность объяснения опыта зависит от количества элементов (приборов), составляющих экспериментальную установку, сложности используемых законов и понятий, степени абстрактности рассуждений, динамики наблюдаемых явлений, необходимости использования воображения, математических моделей и абстрактных рассуждений. Сложность объяснения опыта “кольца Ньютона” ощутимо выше, чем опыта “закон Ома”.

Сложность (невозможность) выполнения  $B$  опыта учеником тем выше, чем меньше вероятность того, что среднестатистический ученик выполнит дан-

ный эксперимент дома или в школе. Эта характеристика зависит от количества и доступности приборов и устройств, требующихся для проведения опыта. Ясно, что эксперименты “измерение температуры тела”, “односторонняя проводимость полупроводникового диода”, “счетчик Гейгера”, “работа ядерного реактора” расположены в порядке возрастания характеристики  $B$ .

Для определения  $A$  и  $B$  использовался метод парных сравнений, реализованный с помощью компьютерной программы ПР-1 (п. 1.6). Оказалось, что оценки  $A$  и  $B$  связаны между собой: коэффициент корреляции между ними 0,58. ДС опыта рассчитывалась по формуле  $S_i = (A_i + B_i)/1,92$ . Если понятия расположить в порядке возрастания сложности  $S$ , используя формат “название  $i$ -го опыта (наблюдения),  $(A_i; B_i) - S_i$ ”, то получится следующая последовательность: 1) измерение температуры термометром (0; 0,008) – 0,00; 2) измерение массы весами (0,061; 0,0) – 0,03; 3) тепловое расширение твердых тел (шар Гравезанда) (0,183; 0,023) – 0,11; 4) изучение закона Гука для пружины, резины (0,168; 0,077) – 0,13; 5) определение силы Архимеда динамометром (0,137; 0,115) – 0,13; 6) измерение плотности ареометром (0,168; 0,131) – 0,16; 7) диффузия медного купороса (0,183; 0,138) – 0,17; 8) зависимость периода колебаний математического маятника от длины (0,191; 0,182) – 0,20; 9) измерение влажности психрометром (0,382; 0,246) – 0,33; 10) измерение  $g$  на машине Атвуда (0,290; 0,492) – 0,41; 11) закон преломления (шайба Гартли) (0,405; 0,385) – 0,41; 12) опыт Кулона (0,473; 0,354) – 0,43; 13) наблюдение броуновского движения (0,771; 0,154) – 0,48; 14) дисперсия света (Ньютон) (0,397; 0,538) – 0,49; 15) электролиз медного купороса (0,481; 0,523) – 0,52; 16) электромагнитная индукция (опыты Фарадея) (0,389; 0,615) – 0,52; 17) односторонняя проводимость полупроводникового диода (0,321; 0,692) – 0,53; 18) опыты с кольцом Ленца (индукционный ток) (0,374; 0,646) – 0,53; 19) работа трансформатора (0,489; 0,723) – 0,63; 20) камера Вильсона (0,771; 0,477) – 0,65; 21) затухающие колебания в колебательном контуре (с осциллографом) (0,588; 0,677) – 0,66; 22) опыт Кавендиша по измерению  $G$  (1,0; 0,292) – 0,67; 23) кольца Ньютона (0,412; 0,885) – 0,68; 24) счетчик Гейгера (0,748; 0,631) – 0,72; 25) измерение скорости света Физо (0,992; 0,40) – 0,73; 26) усилительные свойства транзистора (0,550; 0,846) – 0,73; 27) измерения скорости света Ремером (0,977;



0,438) – 0,74; 28) резонанс электромагнитных колебаний в LC-контуре (0,634; 0,815) – 0,75; 29) детекторный радиоприемник (0,565; 1,00) – 0,82; 30) фотоэффект (опыт Столетова) (0,656; 0,923) – 0,82; 31) поляризация ЭМВ (СВЧ-генератор с рупорной антенной) (0,756; 0,831) – 0,83; 32) опыт Резерфорда (строение атома) (0,985; 0,615) – 0,83; 33) отклонение альфа- и бета-лучей магнитным полем (0,977; 0,70) – 0,87; 34) работа масс-спектрографа (0,893; 0,854) – 0,91; 35) ядерный взрыв, неуправляемая ядерная реакция (0,992; 0,777) – 0,92; 36) работа циклотрона (0,992; 0,923) – 1,0; 37) работа ядерного реактора (0,985; 0,938) – 1,0.

**2.6. Трехкомпонентная модель ДС физических экспериментов.** Возможен более детализированный подход к оценке ДС изучаемых в школе физических опытов или их описаний. Можно предположить, что дидактические свойства изучаемых в школе экспериментов связаны со следующими слабо зависимыми характеристиками [40]: 1) **сложность экспериментальной установки** *A* как системы взаимосвязанных элементов; 2) **сложность выполнения эксперимента** *B*; 3) **сложность теоретического объяснения** результатов опыта *C*; 4) год *T*, когда ученые впервые выполнили данный эксперимент.

Для оценки сложности экспериментальной установки *A* следует проанализировать схему эксперимента, графическое изображение экспериментальной установки, определить количество входящих в нее элементов (приборов) и связей между ними. Если заменить схему экспериментальной установки ее словесным описанием, то *A* будет пропорционально числу используемых терминов. Характеристика *B* отражает степень сложности (или невозможности) выполнения рассматриваемого эксперимента в повседневной жизни, в школьной или научной лаборатории. Чем выше сложность выполнения опыта *B*, тем меньше вероятность того, что среднестатистический ученик пронаблюдает этот эксперимент “вживую” либо просмотрит достоверную видеозапись проведения опыта, и тем ниже прочность его усвоения. Эксперименты “закон Гука”, “электро-

магнитная индукция”, “работа электронно-вакуумного диода”, “работа ядерного реактора” расположены в порядке возрастания характеристики  $B$ .

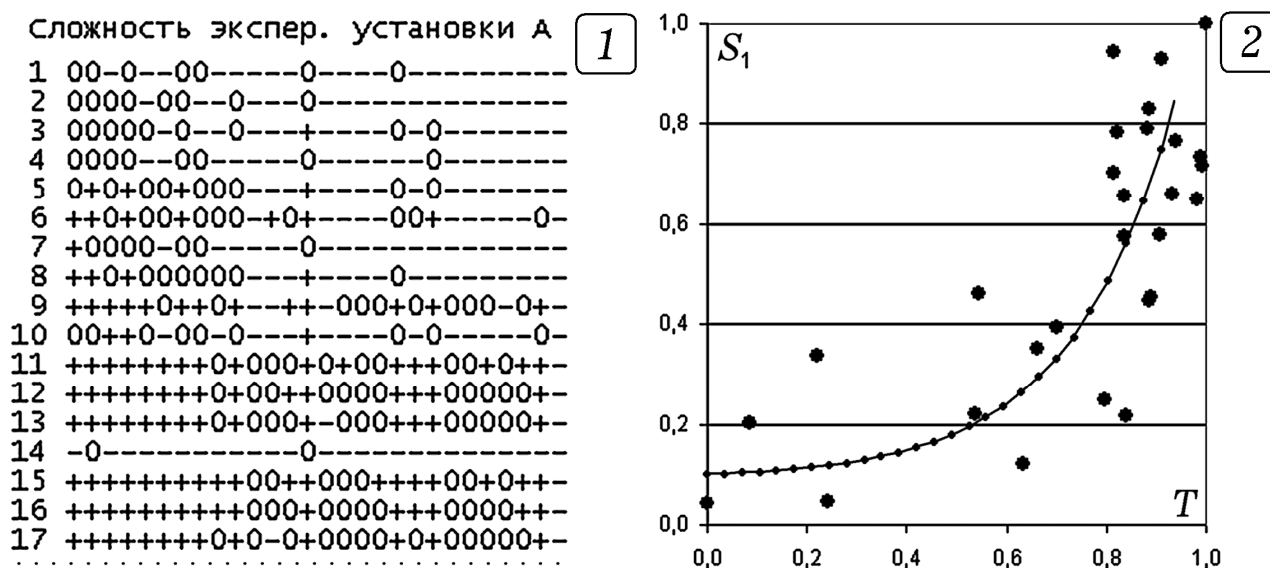


Рис. 2.3. Пример оценочной матрицы. Распределение опытов в осях “ $S_1 - T$ ”.

При оценке сложности теоретического изучения  $C$  эксперт должен представить учителя, который максимально кратко описывает условия проведения опыта и объясняет его результат ученику 5-го класса или человеку, далекому от физики. Значение  $C$  для конкретного эксперимента зависит от сложности используемых законов и понятий, степени абстрактности рассуждений, пространственно-временной протяженности и динамизма наблюдаемых явлений, необходимости использования воображения, математических моделей и идеализированных объектов. Чем больше времени (или предложений) это требует, тем выше характеристика  $C$ .

Для оценки дидактической сложности физических экспериментов были выбраны 28 фундаментальных опытов из различных разделов физики, которые попарно сравнивались друг с другом. Для каждой характеристики  $A$ ,  $B$  и  $C$  было произведено по 756 сравнений. С целью автоматизации этой процедуры применялась компьютерная программа ПР-1 (п. 1.6). Она случайным образом предъявляла названия двух фундаментальных экспериментов, воспринимая ответы эксперта (меньше, одинаково или больше), вводимые с клавиатуры, и записывая их в текстовый файл. В результате получилась квадратная матрица



(рис. 2.3.1), на основе которой и вычисляется значение оцениваемого признака. С помощью книг по истории физики (например, [25]) был установлен год выполнения каждого опыта.

Таблица 2.6

Результаты оценки дидактических характеристик

N	Название эксперимента	A	B	C	T	$S_1$	$S_2$	$C_{abs}$
1	Падение тел разной массы (Галилей)	0,079	0,043	0,000	0,000	0,042	0,054	0,154
2	Закон преломления (Снелл)	0,109	0,074	0,392	0,085	0,201	0,249	0,540
3	Кольца Ньютона	0,158	0,170	0,639	0,220	0,338	0,410	0,841
4	Эксперим. установл. закона Гука	0,109	0,000	0,021	0,242	0,045	0,067	0,130
5	Опыт Кулона	0,277	0,160	0,196	0,536	0,221	0,226	0,443
6	Опыт Каведиша (измерение G)	0,396	0,798	0,124	0,544	0,460	0,542	0,383
7	Опыт Эрстеда (магн. поле тока)	0,119	0,149	0,082	0,632	0,122	0,125	0,311
8	Электромагн. индукция (Фарадей)	0,238	0,160	0,608	0,662	0,351	0,405	0,781
9	Опыт "Первый закон Кирхгофа"	0,545	0,319	0,268	0,701	0,395	0,414	0,407
10	Прямой пьезозффект	0,238	0,160	0,309	0,797	0,247	0,254	0,287
11	Опыт Майкельсона-Морли	0,782	0,926	1,000	0,816	0,945	0,948	1,094
12	Опыты Столетова (фотоэффект)	0,762	0,532	0,948	0,821	0,783	0,801	1,106
13	Опыты Рентгена	0,703	0,649	0,526	0,838	0,655	0,658	0,732
14	Опыт Беккереля (радиоактивность)	0,000	0,585	0,072	0,841	0,229	0,356	0,238
15	Опыты Герца (ЭМ-волны)	0,822	0,532	0,660	0,816	0,703	0,712	0,853
16	Радиоприемник Попова	0,743	0,553	0,351	0,838	0,574	0,597	0,552
17	Опыт Резерфорда	0,703	0,926	0,639	0,882	0,791	0,800	0,805
18	Опыт Иоффе-Милликена (заряд e)	0,772	0,915	0,691	0,887	0,830	0,834	0,913
19	Инерционное движение электронов	0,218	0,894	0,186	0,890	0,453	0,566	0,419
20	Камера Вильсона	0,515	0,383	0,381	0,885	0,446	0,450	0,600
21	Опыт Штерна (скорость молекул)	0,307	0,894	0,454	0,907	0,577	0,632	0,660
22	Опыт Штерна-Герлаха (спин)	0,772	0,915	0,979	0,909	0,930	0,933	1,130
23	Электронно-вакуумный диод	0,673	0,553	0,660	0,934	0,658	0,659	0,853
24	Открытие нейтрона (Чедвик, Кюри)	0,614	0,904	0,680	0,940	0,767	0,776	0,805
25	Усилительный эффект транзистора	0,752	0,330	0,773	0,984	0,647	0,680	0,913
26	Голография (запись голограммы)	0,663	0,670	0,773	0,989	0,735	0,735	1,082
27	Лазер (трехуровн. система, накачка)	0,515	0,649	0,887	0,995	0,715	0,732	1,082
28	Ядерный реактор	1,000	1,000	0,866	1,000	1,000	1,000	1,046

## 2.7. Результаты оценки характеристик физических экспериментов.

Оценки характеристик  $A$ ,  $B$ ,  $C$  и  $T$  были нормированы так, чтобы они принимали значения от 0 до 1 включительно (табл. 2.6). Интуитивно понятно, что дидактическая сложность физического опыта складывается из сложности установки, возможности выполнения опыта школьником и сложности теоретического описания опыта [40]. Рассмотрим две модели: 1)  $S_1 = A + B + C$ ; 2)  $S_2 = (A^2 + B^2 + C^2)^{0,5}$ . Значения  $S_1$  и  $S_2$ , вычисленные по этим формулам для всех 28 опытов (табл. 2.6), имеют высокие коэффициенты корреляции ( $r=0,98$ )

и линейной регрессии ( $k=0,94$ ), что означает их эквивалентность. Учитывая сложность  $S_1$ , рассматриваемые физические опыты можно разделить на следующие 5 групп: 1) **очень простые**: падение тел различной массы (Галилей) – 0,04; экспериментальное установление закона Гука – 0,05; магнитное поле тока (Эрстед) – 0,12; установление закона преломления – 0,2; 2) **простые**: опыт Кулона – 0,22; опыт Беккереля – 0,23; прямой пьезоэффект – 0,25; кольца Ньютона – 0,34; электромагнитная индукция (опыты Фарадея) – 0,35; опыт “Первый закон Кирхгофа” – 0,40; 3) **средней сложности**: инерционное движение электронов – 0,45; камера Вильсона – 0,45; измерение гравитационной постоянной (опыт Кавендиша) – 0,46; радиоприемник Попова – 0,57; измерение скорости молекул (опыт Штерна) – 0,58; 4) **сложные**: усилительный эффект транзистора – 0,65; опыты Рентгена – 0,66; электронно-вакуумный диод – 0,66; открытие нейтрона (опыты Чедвика и Кюри) – 0,77; опыты Герца с электромагнитными волнами – 0,7; работа лазера (трехуровневая система, накачка) – 0,72; запись голограммы – 0,74; законы фотоэффекта (опыты Столетова) – 0,78; бомбардировка альфа-частицами атомов золота (опыт Резерфорда) – 0,79; 5) **очень сложные**: опыт Иоффе-Милликена – 0,83; открытие спина (опыт Штерна–Герлаха) – 0,93; опыт Майкельсона-Морли – 0,95; ядерный реактор – 1,0.

Таблица 2.7

Коэффициенты корреляции между  $A$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $T$ ,  $S_1$  и  $S_2$

	A	B	C	T	$S_1$	$S_2$
Сложность экспер. установки A	1					
Сложность выполнения опыта B	0,625	1				
Сложность теор. объяснения C	0,760	0,506	1			
Время проведения опыта T	0,665	0,701	0,533	1		
Дидакт. сложность опыта $S_1$	0,909	0,828	0,868	0,731	1	
Дидакт. сложность опыта $S_2$	0,870	0,862	0,847	0,738	0,992	1

С помощью таблиц Excel определены коэффициенты корреляции между  $A$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $T$ ,  $S_1$  и  $S_2$  (табл. 2.7). Коэффициент корреляции между  $B$  и  $T$  равен 0,7. Это обусловлено тем, что по мере развития человеческой цивилизации совершенствовались техника и технология, что позволило выполнить экспери-

менты, для проведения которых требуются уникальные приборы и материалы. Чем меньше сложность выполнения опыта  $B$ , тем раньше он был выполнен учеными, и тем меньше  $T$ .

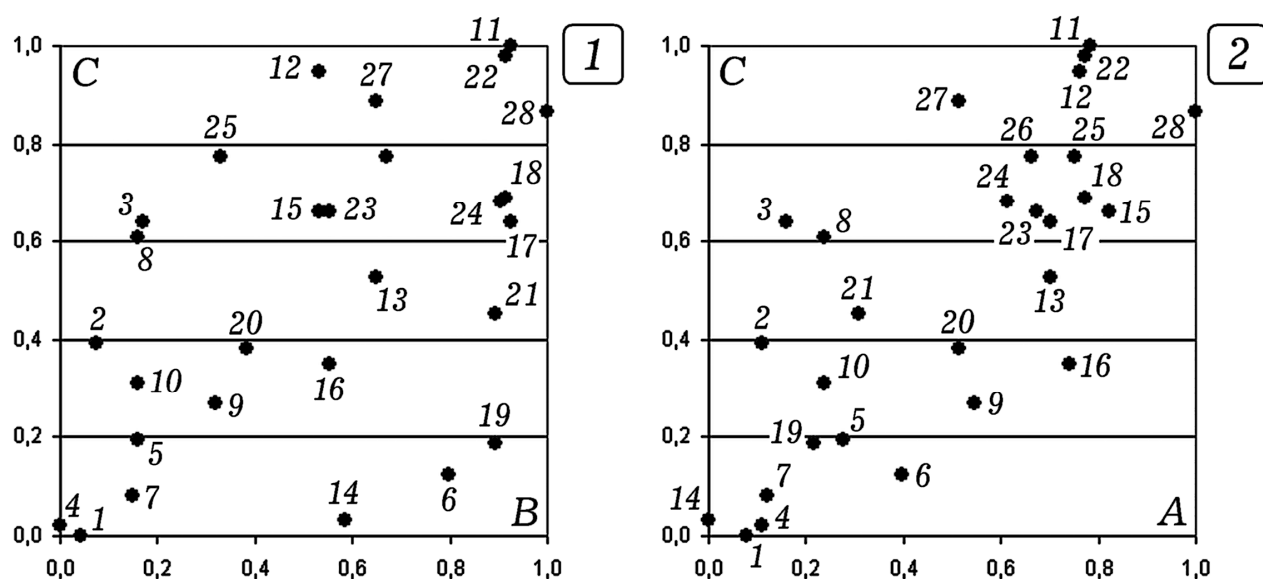


Рис. 2.4. Распределение опытов в пространстве признаков  $A$ ,  $B$  и  $C$ .

Полученные результаты позволяют проанализировать распределение объектов в пространстве признаков  $A$ ,  $B$  и  $C$  (рис. 2.4). На рис. 2.3.2 представлено распределение рассматриваемых опытов в пространстве признаков “сложность  $S_1$  – время проведения  $T$ ”. Видно, что точки ложатся вблизи графика экспоненциальной функции  $S_1 = 0,09 + \exp(4,8T)/120$ , имея при этом достаточно большой разброс. Это объясняется тем, что с течением времени происходит экспоненциальный рост количества ученых и лабораторий, а также технологического уровня человеческой цивилизации.

**2.8. Оценка сложности теоретического изучения по пятибалльной шкале.** Для оценки той или иной характеристики методом парных сравнений может быть использована пятибалльная шкала  $-2, -1, 0, 1, 2$ . Она соответствует лингвистической переменной “результат сравнения  $i$ -го и  $j$ -го опытов”  $R_{ij}$ , принимающей одно из значений: “значительно проще”, “проще”, “одинаково”, “сложнее”, “значительно сложнее”. Этим способом была оценена сложность теоретического изучения  $C$  (табл. 2.8). Коэффициент корреляции между этими

результатами и значениями  $C$  из табл. 2.6 равен 0,98, то есть они довольно хорошо согласуются друг с другом. Недостаток полученных оценок состоит в том, что они приблизительно соответствуют интервальной шкале, а не шкале отношений.

Таблица 2.8

Результаты оценки характеристики  $C$  (пятибалльная шкала)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28			C
1	0																											0	-44	0,02	
2	1	0																										1	-12	0,41	
3	2	1	0																									3	13	0,71	
4	-1	-2	-2	0																								-5	-46	0,00	
5	1	-1	-1	1	0																							0	-20	0,31	
6	1	-1	-1	1	0	0																						0	-25	0,25	
7	1	-1	-1	1	-1	-1	0																					-2	-31	0,18	
8	2	0	0	2	1	1	1	0																				7	8	0,65	
9	1	-1	-1	1	0	0	0	-1	0																			-1	-23	0,28	
10	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-2	-1	0																		-6	-33	0,16	
11	2	2	1	2	2	2	2	1	2	2	0																	18	34	0,96	
12	2	2	1	2	2	2	2	1	2	2	0	0																18	35	0,98	
13	2	1	0	2	1	2	2	0	1	1	-1	-1	0															10	4	0,60	
14	1	-1	-2	1	-1	0	0	-2	-1	-1	-2	-2	-2	0														-12	-37	0,11	
15	2	0	0	2	1	2	2	0	1	2	-1	-1	1	2	0													13	14	0,72	
16	2	0	-1	2	1	1	1	-1	0	1	-2	-2	0	2	-1	0												3	-11	0,42	
17	2	0	-1	2	1	2	2	-1	2	1	-1	-1	1	2	0	1	0											12	10	0,67	
18	2	1	0	2	2	2	2	1	2	2	-1	-1	1	2	0	1	0	0										18	19	0,78	
19	2	0	-1	1	0	0	0	-1	0	0	-2	-2	-1	1	-1	0	-1	-2	0									-7	-22	0,29	
20	2	1	-1	2	0	1	1	-1	0	1	-1	-1	0	1	-1	0	-1	-1	1	0								3	-7	0,47	
21	2	1	-1	2	0	0	1	0	0	2	-1	-1	0	2	-1	1	0	0	1	0	0							8	-2	0,53	
22	2	2	1	2	2	2	2	1	2	2	2	1	1	2	1	2	1	1	2	1	1	0						33	37	1,00	
23	2	2	-1	2	1	1	2	0	2	2	-1	-1	1	2	0	1	0	0	2	1	1	-1	0					18	14	0,72	
24	2	1	-1	2	1	1	2	0	2	2	-1	-1	0	1	-1	1	0	-1	1	1	1	-1	1	0				13	10	0,67	
25	2	1	0	2	2	2	2	1	2	2	-1	-1	1	2	0	1	0	0	2	1	1	-1	0	0	0			21	19	0,78	
26	2	2	1	2	2	2	2	1	2	2	-1	-1	1	2	1	2	1	1	2	2	2	0	1	1	1	0		33	33	0,95	
27	2	2	1	2	2	2	2	1	2	2	-1	-1	1	2	1	2	1	1	2	2	2	0	1	1	1	0	0	33	33	0,95	
28	2	2	1	2	2	2	2	1	2	2	-1	-1	1	2	1	2	1	0	2	2	2	-1	1	1	0	0	0	30	30	0,92	
	44	13	-10	41	20	25	29	-1	22	27	-16	-17	6	25	-1	14	2	-1	15	10	10	-4	4	3	2	0	0	0			

Чтобы получить значения  $C$  по шкале отношений, необходимо определить **абсолютную сложность теоретического изучения**  $C_{abs}$  для нескольких физических экспериментов [40]. Так как вся учебная информация в конечном счете передается в словесной форме, то можно оценить сложность описания того или иного опыта. Нами была использована формула:  $S_{text} = s_1 + s_2 + \dots + s_i + \dots + s_N$ , где  $s_i$  – сложность  $i$ -го слова,  $N$  – количество слов в описании опыта. Если слово входит в словарь по физике, математике, химии и т. д., то оно является научным термином. **Сложность слова** определялась так:  $s = 1$  – слова, которые не являются научными терминами (“можно”, “движется”, “ученый”);  $s = 2$  – научные термины с низкой степенью абстрактности, используемые школьником в повседневной жизни (“шар”, “вода”, “испа-

рение”);  $s = 3$  – научные термины, имеющие среднюю степень абстрактности, не используемые в повседневной жизни, но характеризующие явления и объекты, с подобными которым школьник встречается ежедневно (“импульс”, “теплоемкость”, “кадмий”);  $s = 4$  – научные термины с высокой абстрактностью, соответствующие явлениям и объектам, которые невозможно пронаблюдать (“ядро атома”, “энергия связи”). Для оценки сложности описания опыта создавался текст, содержащий исчерпывающую информацию об опыте (с точки зрения школьного курса физики), к которому добавлялись определения сложных терминов, не используемых в повседневной жизни.

В качестве примера рассмотрим описание опытов Чедвика и Кюри, позволивших открыть нейтрон: *“Источник испускал поток альфа-частиц, который падал на бериллий. Из бериллия выходило сильно проникающее излучение, способное преодолеть свинцовую пластину толщиной 10 см. Ученые предположили, что это гамма-излучение. Когда на пути этого излучения была поставлена парафиновая пластина, произошло увеличение его ионизирующей способности. Из бериллия альфа-частицы выбивают нейтроны – массивные частицы, не имеющие заряда. Эти нейтроны выбивают из парафина протоны, которые ионизируют газ. С помощью камеры Вильсона были обнаружены протоны и по длине пробега оценена их энергия. Альфа-частицы – ядра атома гелия. Ионизация – добавление или отрывание электрона от атома. Нейтрон – элементарная электрически нейтральная частица, входящая в состав ядра. Протон – элементарная положительно заряженная частица, входящая в состав ядра. Камера Вильсона – прибор для регистрации элементарных частиц и наблюдения их треков в перенасыщенных парах спирта. Гамма-излучение – высокочастотное электромагнитное излучение, возникающее при ядерных превращениях.”* Общая сложность описания  $S_{text} \approx 204$ . Сложность первого предложения равна  $S_1 = 2 + 2 + 1 + 4 + 2 + 1 + 1 + 3 = 16$ .

Были проанализированы описания следующих пяти экспериментов и определены их сложности  $S_{text}$  (значения указаны в скобках): 1) падение тел раз-



личной массы или опыт Галилея (35); 2) экспериментальное установление закона Гука (57); 3) электромагнитная индукция (171); 4) опыт Беккереля (59); 5) открытие нейтрона (204); 6) ядерный реактор (294). Если предположить, что абсолютная сложность теоретического изучения  $C_{abs}^i \approx C^i + c$  данных опытов пропорциональна полученным значениям  $S_{text}^i$ , то получается:  $k(C^i + c) = S_{text}^i$ , где  $i$  – номер опыта из табл. 2.6 и 2.8. Варьируя  $k$  и  $c$ , можно найти такие значения, при которых левые и правые части этого равенства максимально близки для всех 6 опытов. Оптимальный результат соответствует  $c \approx 0,1 - 0,15$ . Следовательно, сложность теоретического изучения опыта по шкале отношений равна  $C_{abs}^i \approx C^i + 0,13$  ( $C_i$  из табл. 2.8). По приведенным в табл. 2.6 значениям  $C_{abs}^i$  (имеющим погрешность 0,1) построен рис. 2.5. Из него следует, что с точки зрения теоретического изучения эксперимент “ядерный реактор” примерно в 6-8 раз сложнее опыта Галилея и в 2-2,5 раза сложнее опыта Кулона. Сложности самого простого и самого сложного эксперимента отличаются в 8–12 раз.

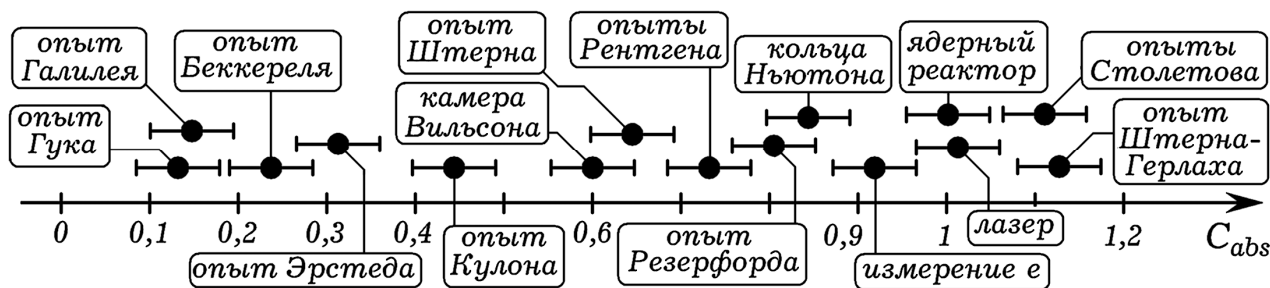


Рис. 2.5. Сложность теоретического изучения физических опытов.

**2.9. Оценка ДС физических законов разными методами.** С целью оценки дидактической сложности физических законов была проведена их педагогическая экспертиза, в которой участвовали преподаватели и студенты пединститута, обучающиеся по физико-математической специальности (всего 6 экспертов). Экспертам были выданы: 1) список из 23 оцениваемых объектов: физических законов, принципов и постулатов; 2) карточки с названиями законов; 3) шкала дидактической сложности 0–1–2–3–4–5, нарисованная на листе бумаги; 4) лист с заданием. Задание было сформулировано так: “Представьте себе ученика 5–7-го класса, которому Вы объясняете сущность того или иного

физического закона (принципа, постулата). Чем больше сложность, тем больше времени и сил необходимо затратить для объяснений. Необходимо разложить карточки с названиями физических законов в порядке возрастания их сложности.” Эксперт, попарно сравнивая объекты, располагает их на шкале в зависимости от сложности (рис. 2.6.1). После этого для каждого  $i$ -го объекта определяется координата  $x_i$  с точностью до 0,1. Зная  $x_i$  ( $i = 1, 2, \dots, 23$ ), с помощью таблицы Excel для каждого эксперта вычисляется нормированная сложность всех объектов, лежащая в интервале  $[0; 1]$ :  $S_i' = (x_i - x_{\min}) / (x_{\max} - x_{\min})$ , где  $x_{\min}$ ,  $x_{\max}$  – минимальная и максимальная оценки, использованные данным экспертом. Результаты экспертизы усреднялись; получившиеся значения сложности  $S_{\Sigma}$  по интервальной шкале представлены в таблице 2.9.

Чтобы получить значения дидактической сложности (ДС) рассматриваемых ЭУМ по шкале отношений, необходимо каким-то методом определить их абсолютную ДС. Так как вся учебная информация передается в словесной форме, то можно оценить сложность ЭУМ, выразив его в виде текста и учтя количество и сложность входящих в этот текст терминов. Понятно, что формулировка закона не просто совокупность слов, а система взаимосвязанных понятий, поэтому его сложность, строго говоря, не равна сумме сложностей слов. Из теории систем [26] известно, что сложность любой системы зависит от степени разнообразия, количества и сложности составляющих ее элементов (подсистем) и связей между ними. Утверждение, состоящее из “простых” слов, может выражать сложную мысль, которая многим будет трудна для понимания.

Как учесть “смысловую” сложность утверждения? Учитель физики или ученик, объясняя сущность закона (постулата, принципа), описывает соответствующую физическую ситуацию (явление, эксперимент и т. д.), в которой этот закон проявляется, и дает определения всем терминам. ДС закона пропорциональна затраченному времени, поэтому для ее определения следует оценить сложность текста  $S_T$ , состоящего из: 1) формулировки закона; 2) описания физической ситуации (явления, опыта), соответствующей данному закону; 3) оп-



ределений научных терминов, которые необходимо знать, чтобы понять сущность закона. Такие тексты (для каждого из 23 утверждений) представлены в приложении 4. При этом используется формула:  $S_T = s_1 + \dots + s_i + \dots + s_n$ , где  $s_i$  – сложность  $i$ -го слова,  $n$  – количество слов в данном тексте.

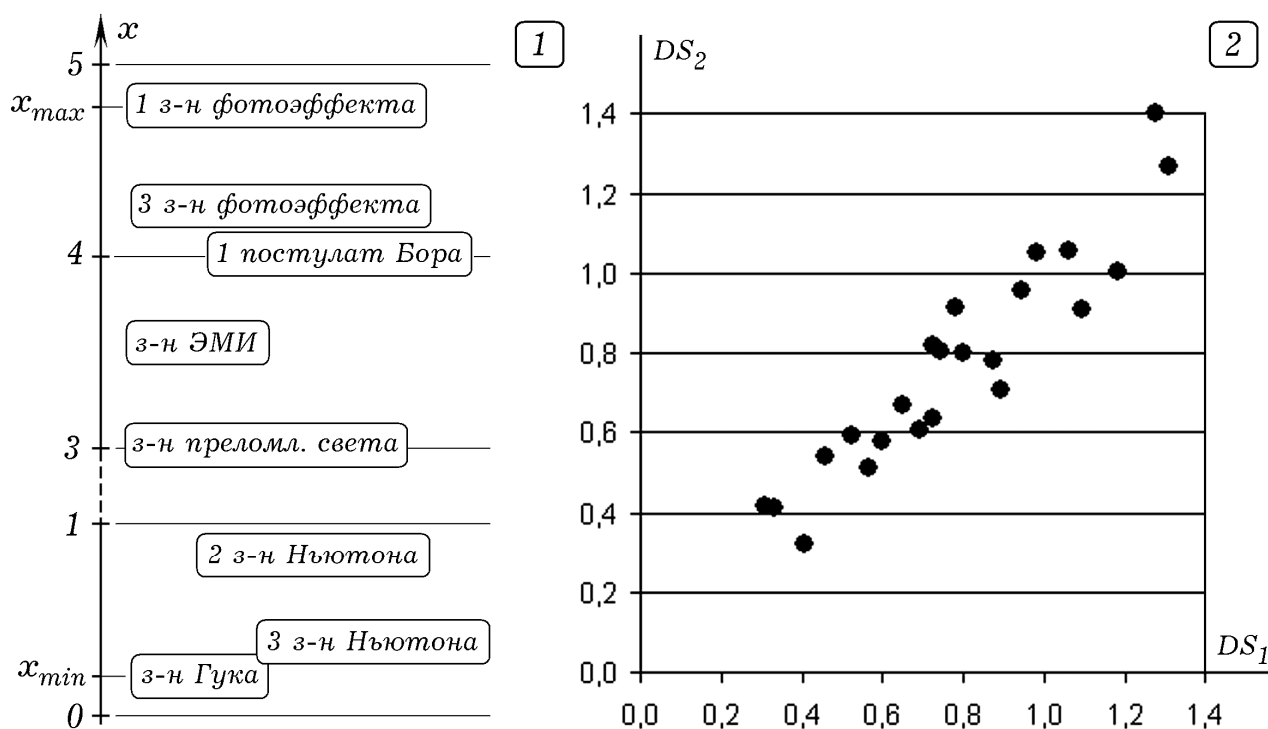


Рис. 2.6. Оценка сложности объектов “методом карточек” (1). Распределение физических законов в пространстве “ $DS_1$ – $DS_2$ ” (2).

Для оценки сложности слов (понятий) в учебном тексте (необязательно физическом) представим себе изучение данного текста школьником, успешно окончившим 5-й класс. Если данное слово (собственное или нарицательное) входит в словарь по физике, математике, химии, биологии и т. д., то оно считается научным термином. Сложность слова определяется так: ДС  $s=1$ : слова, которые не являются научными терминами и используются в повседневной жизни (“можно”, “движется”, “ученый”). ДС  $s=2$ : 1) научные термины с низкой степенью абстрактности, изучаемые в 1–5-м классах, используемые школьником в повседневной жизни, встречающиеся в художественной литературе и не требующие объяснений (“вода”, “воздух”, “испарение”, “море”, “животное”, “Солнце”); 2) имена собственные, обозначающие ученых, географические, астрономические и иные объекты, которые часто употребляются в повседневной

жизни, демонстрируются по телевидению и не требуют пояснений; 3) арифметические операции: сложение, вычитание, умножение, деление.

ДС  $s=3$ : 1) научные термины, имеющие среднюю степень абстрактности, не использующиеся в повседневной жизни и требующие несложных пояснений; они обозначают или характеризуют явления и объекты, с подобными которым школьник встречается ежедневно (“импульс”, “теплоемкость”, “сила тока”) или которые он может очень редко наблюдать (“Солнечное затмение”, “клетка”); 2) имена собственные, обозначающие ученых, географические, астрономические и иные объекты, которые редко употребляются в повседневной жизни, плохо известны ученику и требуют пояснений (“Эверест”, “Нептун”); 3) математические термины: линейная зависимость, прямая или обратная пропорциональность, векторная сумма или разность.

ДС  $s=4$ : 1) научные термины с высокой абстрактностью, соответствующие явлениям и объектам, которые ученик в принципе не может ощутить органами чувств и вынужден напрягать свое воображение, чтобы их представить. К этой категории относятся объекты микромира, мегамира, а также абстрактные понятия, которые сложно объяснить школьнику. Они не похожи на объекты, наблюдаемые в повседневной жизни (“черная дыра”, “ковалентная связь”, “хромосома”, “ядро клетки”, “атом” без учета структуры, “энергия связи”). 2) Математические операции: возведение в нецелую степень, стандартная запись числа, извлечение корня, синус, косинус, тангенс.

ДС  $s=5$ : 1) научные термины с очень высокой абстрактностью, обозначающие объекты и процессы, состоящие из большого числа компонентов (частиц), которые ученик в принципе не может пронаблюдать (“атом хлора” как система из 17 протонов, 18 нейтронов и 17 электронов; “молекула ДНК”; “молекула альдегида” с учетом структуры); 2) математические термины, обозначающие сложные функции и операции (“логарифм”, “взятие производной”, “интегрирование”, “скалярное произведение векторов”). Их очень сложно объяснить школьнику. Прилагательные, глаголы и другие части речи, образованные от научных терминов, имеют такую же ДС.

Повысить объективность контент-анализа текста и повторяемость получающихся результатов возможно с помощью компьютерной программы, которая, используя словарь-тезаурус, подсчитывает частоты упоминания различных терминов в текстовом файле и учитывает их сложность. Работа эксперта в этом случае сводится к следующему: 1) составление словаря-тезауруса; 2) классификация и оценка входящих в него терминов; 3) подготовка файла с анализируемым текстом; 4) создание и запуск программы, анализирующей текст; 5) интерпретация результатов. При этом единицей измерения текстовой сложности  $S_T$  является одно упоминание слова с  $s = 1$ .

Определение ДС формулировки физического закона (принципа) осуществляется следующим образом: 1. Создают файл `vhod.txt`, содержащий формулировку закона, определения входящих в него понятий (названия понятий второй раз не записывают) и описание физической ситуации (см. приложение 4). 2. Составляют список физических, математических и других научных терминов, встречающихся в данном тексте. Для этого используют программы `Word_stat`, `Word_count`, `Word_statistic`, которые можно найти в Интернете. 3. Создают словарь-тезаурус текста, содержащий общие части однокоренных терминов (например, слова “измерения”, “измерить” – общая часть “измер”), который сохраняют в файле `slovar.txt`. 4. Оценивают сложность каждого научного термина в соответствии с сформулированными выше критериями по шкале 2–3–4–5; результаты записывают в файл `slovar.txt`. 5. Запускают программу `Analyzer`, которая, обращаясь к файлу `slovar.txt`, анализирует текст из файла `vhod.txt`, удаляет из него все слова (точнее их неизменяемые части), подсчитывает суммарную сложность научных терминов  $S'_T$ , а результаты записывает в файл `vihod.txt`. 6. Подсчитывают количество слов с  $s = 1$ , оставшихся в файле `vihod.txt` после удаления всех терминов, и прибавляют его к суммарной сложности терминов, получая  $S_T$ . Если программа `Analyzer` учла не все термины, то их следует добавить в словарь (файл `slovar.txt`) и снова запустить программу.

**2.10. Согласование получающихся результатов.** Проверим гипотезу о тесной связи ДС  $S_{\mathcal{D}}$ , полученной в результате экспертной оценки физических законов, с текстовой сложностью  $S_T$  их формулировок. Если высказанная гипотеза справедлива, то найдутся такие  $a_1$  и  $b_1$ , при которых ДС  $DS_1 = S_{\mathcal{D}} + a_1$ , вычисленная на основе экспертных оценок, примерно равна ДС  $DS_2 = b_1 S_T$ , рассчитанной из текстовой сложности. Путем подбора коэффициентов с помощью таблицы Excel, удалось найти такие коэффициенты, когда среднее расхождение минимально:

$$DS_1 = S_{\mathcal{D}} + 0,32, \quad DS_2 = 7 \cdot 10^{-3} S_T.$$

Средняя невязка составляет

$$\Delta_{\text{средн}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |DS_1 - DS_2| = 0,124, \text{ где } N = 23.$$

Получающиеся значения  $DS_1$  и  $DS_2$  лежат в интервале  $[0,3; 1,4]$ , коэффициент корреляции между ними равен 0,85.

С целью уточнения модели была выдвинута гипотеза о том, что на результат экспертной оценки дидактической сложности также влияют следующие два фактора: 1) возможность  $B$  наблюдения соответствующего явления в повседневной жизни; 2) сложность формулы  $S_{\Phi}$ , выражающей сущность данного закона. Чем больше  $B$ , тем меньше ДС физического закона. Значение  $B$  оценивается по шкале 0–1: преломление света школьник может пронаблюдать в повседневной жизни ( $B_9 = 1$ ), а внешний фотоэффект – нет ( $B_{23} = 0$ ). Сложность формул считается равной количеству символов в ней, при этом обозначение “sin” рассматривается как один символ, обозначающий функцию синус. Так как сложность терминов "синус", "квадрат" и т. д. учитывалась при подсчете текстовой сложности закона (их определения входят в текст, анализируемый программой), то считается, что сложность всех математических символов одинакова. При этом использовалась линейная модель:

$$DS_1 = S_{\mathcal{D}} + a_1, \quad DS_2 = b_1 S_T + b_2 (1 - B) + b_3 S_{\Phi}.$$

С помощью электронных таблиц Excel коэффициенты  $a_1$ ,  $b_1$ ,  $b_2$ ,  $b_3$  подбирались так, чтобы средняя невязка была минимальна. Получилось так:

$$DS_1 = S_{\Sigma} + 0,31, \quad DS_2 = 0,0051S_T + 0,34(1 - B) + 0,015S_{\Phi}.$$

Средняя невязка 0,081 (табл. 2.9). Значение переменной  $S_T$  изменяются от 58 до 208, а  $S_{\Phi}$  – от 0 до 15; поэтому коэффициенты при  $S_T$  и  $S_{\Phi}$  малы. Если  $S_T$  и  $S_{\Phi}$  нормировать, то эти коэффициенты возрастут в 150 и 15 раз соответственно и составят примерно  $b_1' = 0,75$  и  $b_3' = 0,23$ . Коэффициент корреляции между  $DS_1$  и  $DS_2$  равен 0,93, то есть выше, чем в предыдущем случае.

Таблица 2.9

ДС физических законов (принципов, постулатов)

Законы, принципы, постулаты	$S_{\Sigma}$	$S_T$	B	$S_{\Phi}$	$DS_1$	$DS_2$	$\Delta$	DS
1. Третий закон Ньютона	0,000	58	1	8	0,310	0,416	0,106	0,363
2. Закон Гука	0,021	63	1	6	0,331	0,411	0,080	0,371
3. Золотое правило механики	0,095	63	1	0	0,405	0,321	0,084	0,363
4. Закон сохранения импульса	0,213	72	1	15	0,523	0,592	0,069	0,558
5. Закон всемирного тяготения	0,256	77	1	8	0,566	0,513	0,053	0,539
6. Второй закон Ньютона	0,148	79	1	9	0,458	0,538	0,080	0,498
7. Закон Кулона	0,287	90	1	8	0,597	0,579	0,018	0,588
8. Первый закон термодинамики	0,381	101	1	6	0,691	0,605	0,086	0,648
9. Закон преломления света	0,585	106	1	11	0,895	0,706	0,189	0,800
10. Закон сохранения мех. энергии	0,415	110	1	5	0,725	0,636	0,089	0,681
11. Закон Ома для участка цепи	0,342	116	1	5	0,652	0,667	0,015	0,659
12. Закон неубывания энтропии	0,563	121	1	11	0,873	0,782	0,091	0,828
13. Закон Ома для полной цепи	0,469	159	1	7	0,779	0,916	0,137	0,847
14. Принцип Гюйгенса – Френеля	0,488	90	0	0	0,798	0,799	0,001	0,799
15. Принц. инвариант. скорости света	0,434	91	0	0	0,744	0,804	0,060	0,774
16. Принцип относит. Эйнштейна	0,415	94	0	0	0,725	0,819	0,094	0,772
17. Закон эл. магн. индукции Фарадея	0,637	164	1	8	0,947	0,956	0,009	0,952
18. Первый постулат Бора	0,787	112	0	0	1,097	0,911	0,186	1,004
19. Второй постулат Бора	0,754	117	0	8	1,064	1,057	0,007	1,060
20. Условие максимумов (интерфер.)	0,671	125	0	5	0,981	1,053	0,071	1,017
21. Третий закон фотоэффекта	0,872	130	0	0	1,182	1,003	0,179	1,093
22. Второй закон фотоэффекта	1,000	182	0	0	1,310	1,268	0,042	1,289
23. Первый закон фотоэффекта	0,967	208	0	0	1,277	1,401	0,124	1,339
				Среднее отклонение		0,081		

В таблице 2.9 представлены: 1) названия физических законов, принципов и постулатов; 2) результаты экспертной оценки ДС  $S_{\Sigma}$ , полученные путем разложения карточек по шкале сложности; 3) текстовая сложность  $S_T$ , определенная в результате подсчета терминов и учета их сложности с помощью компью-

тера; 4) значение фактора  $B$  “возможность наблюдения соответствующего явления в повседневной жизни” по шкале 0-1; 5) сложность формулы  $S_{\Phi}$ , выражающей сущность данного закона; 6) дидактическая сложность  $DS_1 = S_{\mathcal{D}} + 0,31$ ; 7) дидактическая сложность  $DS_2$ , вычисленная как линейная комбинация факторов  $S_T$ ,  $S_{\Phi}$  и  $B$ :  $DS_2 = 0,0051S_T + 0,34(1 - B) + 0,015S_{\Phi}$ ; 8) расхождение  $DS_1$  и  $DS_2$  как модуль разности этих величин; 9) усредненная дидактическая сложность физических утверждений  $DS = (DS_1 + DS_2)/2$ . Погрешность  $DS$  примерно равна 0,1.

На рис. 2.6.2 показано распределение оцениваемых объектов в двумерном пространстве “ $DS_1 - DS_2$ ”. Видно, что точки располагаются вблизи биссектрисы первого координатного угла, то есть  $DS_1 \approx DS_2$ . Это подтверждает разумность выбранной нами модели и позволяет утверждать, что дидактическая сложность закона Гука примерно такая же, как у третьего закона Ньютона и в 3,5-4 раза меньше, чем у первого закона фотоэффекта. Иными словами, чтобы объяснить сущность первого закона фотоэффекта, необходимо затратить примерно в 4 раза больше времени, чем для объяснения закона Гука.

**2.11. Оценка дидактической сложности рисунков.** Для оценки ДС рисунка его заменяют полным, но предельно кратким описанием и подсчитывают количество и сложность используемых понятий. Другой подход требует определения степени абстрактности изображенных на рисунке объектов и связей между ними. Перечислим примеры таких связей: взаимодействие Солнце–Земля; нить, соединяющая два тела; причинно-следственные связи, изображенные стрелками; перпендикуляры, опускаемые на координатные оси. Критерием абстрактности объекта (или связи) является невозможность школьника пронаблюдать данный или подобный ему объект (связь) непосредственно, ощутить его с помощью органов чувств. Для оценки ДС рисунка необходимо определить: 1. Число  $x_1$  изображений физических объектов, которые школьник может пронаблюдать, ощутить органами чувств непосредственно. 2. Число  $x_2$  физиче-



ских связей, которые школьник может пронаблюдать (гальванометр подключен к катушке; микрофон расположен напротив динамика; кислота налита в колбу; в жидкость опущен термометр и т. д.). 3. Число  $x_3$  изображений реально существующих физических объектов, которые школьник не может ощутить органами чувств и вынужден представлять (атом, электрон, хромосома, ЭМ поле). 4. Число связей  $x_4$ , которые школьник не может ощутить органами чувств и вынужден представлять (химические связи, притяжение электронов к ядру атома, абстрактные связи, изображенные в виде стрелок). 5. Число  $x_5$  математических абстракций (математические формулы и обозначения, геометрические фигуры и тела, вектора, координатные оси, графики). 6. Число  $x_6$  надписей, обозначающих объекты (явления), которые школьник может пронаблюдать (надписи “Солнце”, “бензин”, “клетка”). 7. Число  $x_7$  надписей, обозначающих объекты (явления), которые школьник не может ощутить органами чувств и вынужден представлять (надписи “ $\text{HNO}_3$ ”, “кварки”, “лейкоциты”).

Рисунок может содержать  $m$  условных обозначений реально существующих объектов, которые школьник может ощутить органами чувств. Например, схема электрической цепи состоит из абстрактных элементов, соответствующих реальным объектам, которые школьник может рассмотреть и потрогать. В этом случае  $x_1$  и  $x_3$  необходимо увеличить на  $m/2$  каждый.

Общая информативность  $I$  рисунка и количество  $I_A$  абстрактной информации (в понятиях) равны:  $I = x_1 + x_2 + \dots + x_7$ ,  $I_A = x_3 + x_4 + x_5 + x_7$ . Коэффициент абстрактности и доля математической информации находятся по формулам:  $A = I_A / I$ ,  $M = x_5 / I$ . Дидактическая сложность рисунка равна его информативности с учетом сложности составляющих элементов; она определяется взвешенной суммой  $S = (I - I_A) + \alpha I_A = I + (\alpha - 1)I_A$ , где  $\alpha$  – весовой коэффициент, превышающий 1. Так как переход на другой качественный уровень связан с увеличением количества соответствующего качества в  $e = 2,72\dots$  раза, то будем считать, что  $\alpha = 2,72$ . На рис. 2.7 представлены пять рисунков из школьных учебников физики и химии; рядом приводятся вектор характеристик  $(x_1, x_2, x_3, \dots, x_7)$ , информативность  $I$ , коэффициенты  $A$  и  $M$  и дидактическая



сложность  $S$ . Полученные значения позволяют сравнить рисунки по их дидактической сложности. Например, видно, что рис. 2.7.3 и 2.7.5 одинаково информативны, но ДС  $S$  рис. 2.7.3 в полтора раза меньше, чем ДС рис. 2.7.5. Информативность рис. 2.7.1 в два раза больше, чем информативность рис. 2.7.3. В приложении 5 представлены другие рисунки и их оценки КИ  $I$  и ДС  $S$ .

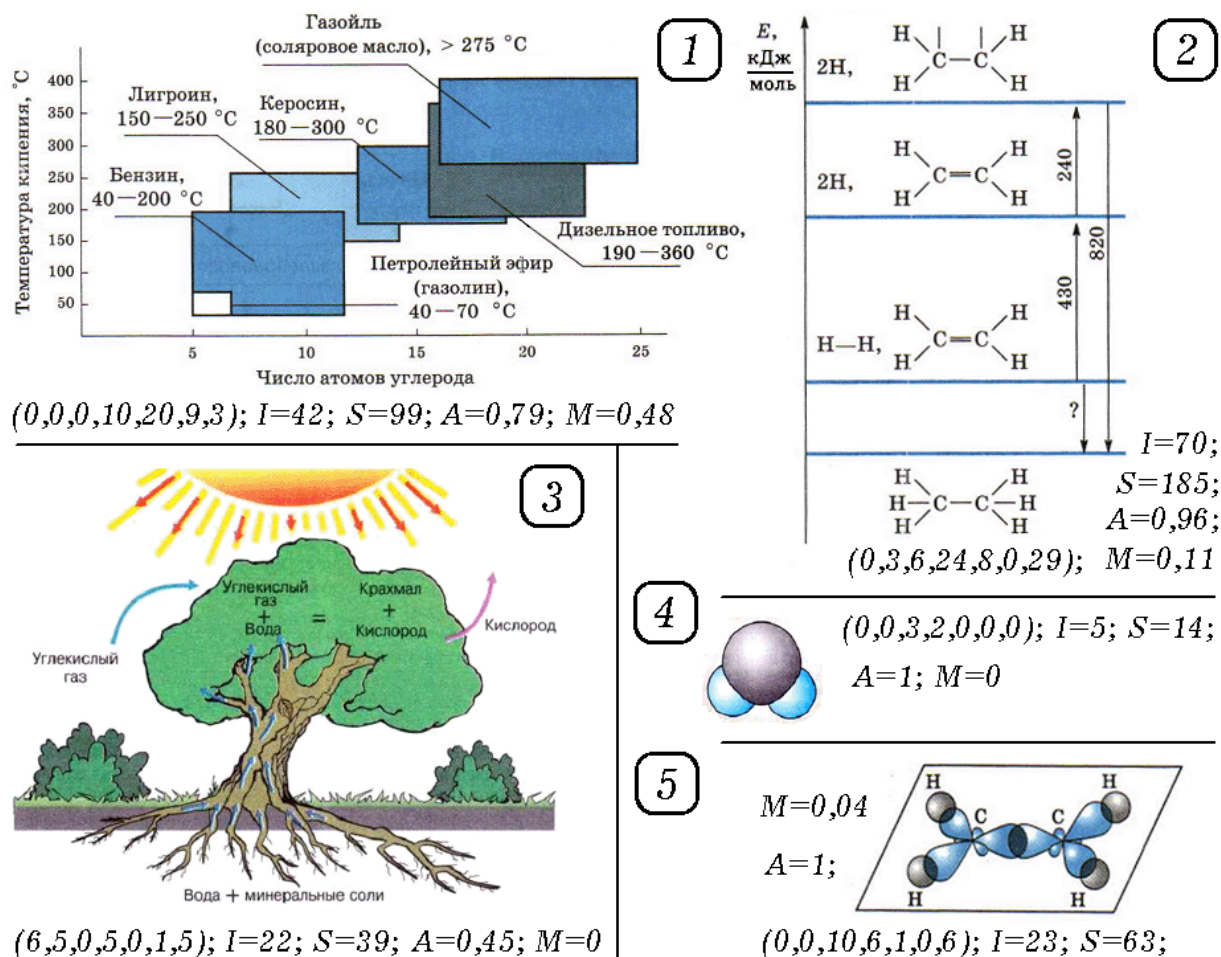


Рис. 2.7. Оценка дидактической сложности рисунков.

Для оценки КИ и ДС электрической схемы следует составить ее словесное описание. Например (рис. 2.8.4): “Цепь состоит из источника переменного напряжения, имеет два узла и три ветви. Ветвь 1: соединенные последовательно генератор и резистор. Ветвь 2: соединенные последовательно резистор и катушка индуктивности. Ветвь 3: соединенные последовательно конденсатор и амперметр”. После этого необходимо подсчитать все понятия и просуммировать их сложности.

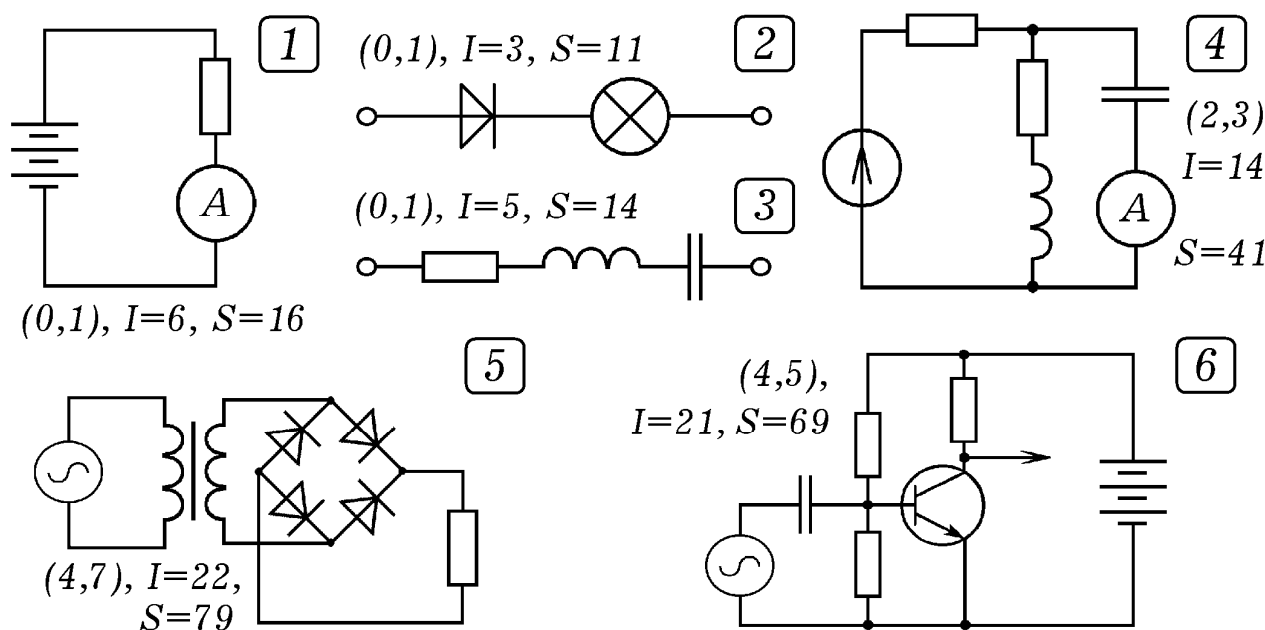


Рис. 2.8. Принципиальные схемы электрических цепей, их информативность и сложность.

Возможен другой подход, состоящий в использовании компьютерной программы, которая анализирует файл, содержащий список всех приборов, составляющих электрическую цепь, и задает вопросы о количестве узлов и ветвей в цепи. Программа работает с словарем-тезаурусом; это текстовый файл `shema.txt`, в котором перечислены названия приборов (резистор, конденсатор, операционный усилитель и т. д.) и для каждого прибора указана сложность (формат: “название прибора”,  $s_i$ ). Вот фрагмент этого файла: “... резистор 3, конденсатор 3, катушка 1, индуктивности 2, вольтметр 2, амперметр 2, ваттметр 3, диод 4, транзистор 5, ...”. Задача эксперта состоит в том, чтобы создать текстовый файл, соответствующий рассматриваемой электрической цепи, определить число узлов  $x_1$ , число ветвей  $x_2$  и, запустив программу, ввести эти данные. Программа выдает: 1) количество информации (КИ) в схеме, равное сумме всех понятий  $N$ , используемых в словесном описании:  $I = N$ ; 2) ДС схемы  $S = s_1 + s_2 + \dots + s_N + 3x_1 + 5x_2$ , где  $s_i$  – сложность  $i$ -го понятия по шкале 1–2–3–4–5.

На рис. 2.8 представлены шесть электрических схем и соответствующие им оценки КИ  $I$  и ДС  $S$ . При оценке схемы транзисторного усилителя (рис.

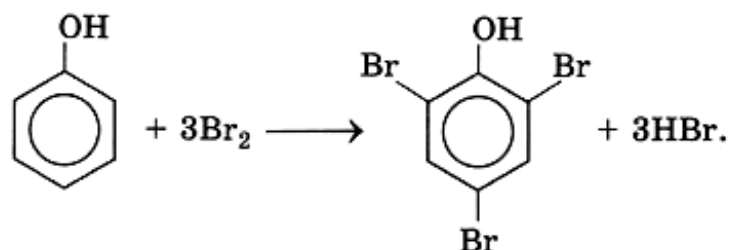
2.8.6) текстовый файл shema.txt содержит перечень: “батарея гальванических элементов, источник переменного напряжения, конденсатор, резистор, резистор, резистор, транзистор”;  $x_1 = 4$ ,  $x_2 = 5$ . Каждой схеме соответствуют вектор  $(x_1, x_2)$ , количество информации (КИ)  $I$  и дидактическая сложность (ДС)  $S$ . Коэффициенты  $A = 0,5$ ,  $M = 0$ .

### 2.12. Определение дидактической сложности химических формул.

Аналогичным образом может быть оценена сложность химической формулы вещества или химической реакции. Для анализа химической формулы  $H_2SO_4$  создается текстовый файл form.txt, в который вводят `H_2SO_4`, что означает: “молекула содержит два атома водорода, атом серы, 4 атома кислорода”. Для анализа химической формулы  $CuSO_4 + 2NaOH = Cu(OH)_2 + 2NH_4Cl$  в текстовый файл form.txt вводят: `CuSO_4+2NaOH = Cu(OH)_2+2NH_4Cl`. Данную формулу можно заменить словесным описанием типа: “Одна молекула, состоящая из атома меди, атома серы и четырех атомов кислорода, соединяется с двумя молекулами, состоящими из атома натрия, атома кислорода и атома водорода. В результате получается ...”. КИ и ДС могут быть определены путем подсчета терминов и учета их сложности.

Используемая компьютерная программа анализирует текстовый файл с записями химических формул, подсчитывает количество различных символов, учитывает их сложность и задает следующие вопросы: 1) Сколько различных молекул  $x_1$  в записи (без учета коэффициентов)? 2) Сколько изображено связей  $x_2$ ? Второй вопрос позволяет учесть изображения химических связей в структурных формулах (рис. 2.9). При этом используется словарь, в котором перечислены химические элементы, цифры и другие символы с указанием их сложности: “... Cu 5, Br 6, H 6, B 6, C 5, N 6, ...”. Символ C означает понятие “атом углерода”, его сложность 5. После запуска компьютерная программа выдает КИ  $I$ , равное числу используемых понятий, и ДС  $S$ . Если химическая формула содержит бензольные кольца, то в файле form.txt необходимо указать “бензоль-

ное\_кольцо”; его сложность считается равной 18. На рис. 2.9 представлены примеры формул химических реакций, соответствующие им описания (в кавычках), значения  $(x_1, x_2)$ , а также получающиеся значения КИ и ДС.



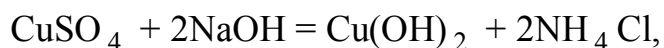
“бензольное\_кольцо OH+3Br\_2 = бензольное\_кольцо BrBrBrOH +3HBr”,

(4,5), I=23, D=109



“C\_6H\_12O\_6 = 2CH\_3-CHOH-COOH”, (2,2), I=21, DS=88

$2H_2 + O_2 = 2H_2O$ , “ $2H_2 + O_2 = 2H_2O$ ”, (3,0), I=10, DS=34



“CuSO\_4 + 2NaOH = Cu(OH)\_2 + 2NH\_4Cl”, (4,0), I=10, DS=37

Рис. 2.9. Дидактическая сложность и информативность химических формул.

---

Вверх

## **Глава 3.**

# **ОПРЕДЕЛЕНИЕ СЛОЖНОСТИ И ИНФОРМАТИВНОСТИ ТЕМ ШКОЛЬНОГО УЧЕБНИКА**

Для учащихся важным каналом получения информации об изучаемых объектах, явлениях, законах, научных теориях и методах познания являются школьные учебники. Их содержание и структура фактически определяют последовательность изучения различных вопросов соответствующих дисциплин. Изложенная в учебниках информация, ее сложность и уровень абстрактности должны соответствовать современному содержанию физической науки и психологическим особенностям развития учащихся, их способностям усваивать и осмысливать получаемые знания. Все это обуславливает необходимость разработки объективных методов измерения количества различных видов информации в учебных текстах, оценки сложности и уровня абстрактности изложения.

**3.1. Степень абстрактности текста. Э-, Т-, Ф-знания.** Рассмотрим один из подходов к проблеме определения сложности различных учебных текстов на примере экспертизы двух стандартных учебников: 1) Физика-10 (Г. Я. Мякишев, Б. Б. Буховцев, Н. Н. Соцкий, 2004); 2) Физика-11 (Г. Я. Мякишев, Б. Б. Буховцев, 2004). Ученые-методисты отмечают, что изучение школьных дисциплин естественно-научного цикла, и в первую очередь физики, требует от школьников развитого абстрактного мышления. Даже рассмотрение механических и тепловых явлений предполагает использование идеализированных моделей (материальная точка, идеальный газ) и разнообразных математических абстракций (система отсчета, вектора и их проекции, графики и т. д.). При изу-

чении основ электродинамики, оптики, атомной и ядерной физики школьники вынуждены представлять в своем воображении различные объекты (электромагнитные волны, атомы, элементарные частицы) и явления (фотоэффект, ядерная реакция), которые не воспринимаются органами чувств и которые невозможно пронаблюдать в повседневной жизни.

Под абстрагированием понимают метод познания, состоящий в отвлечении от несущественных признаков изучаемого объекта, что позволяет упростить происходящие явления и анализировать их в "чистом виде". При этом происходит **идеализация**: реальный объект познания как бы замещается другим, эквивалентным ему воображаемым объектом (идеализированной моделью). В дальнейшем это может быть использовано для формулировки эмпирического закона или построения теории. Степень отвлеченности используемых понятий и проводимых рассуждений характеризуется **уровнем абстракции**. В зависимости от конкретной задачи можно изучать один и тот же объект на различных уровнях абстракции. В теории познания абстрактное противопоставляется конкретному; самым низким уровнем абстракции является конкретная вещь, воспринимаемая органами чувств (данный шарик, именно этот термометр, конкретный амперметр). Более высоким уровнем абстракции является понятие родовой сущности вещи ("термометр вообще"). Следующий уровень соответствует использованию в своих рассуждениях идеализированных моделей (капельная модель ядра). Наибольшую степень абстрактности имеют математические модели (уравнение Эйнштейна для фотоэффекта, косинус, график колебаний). Восхождение от конкретного к абстрактному приводит к созданию качественной, а затем и количественной теории. В школьном курсе физики наивысшая степень абстрактности у математических теорий, включающих в себя сложные формулы с интегралами и производными (например, теория механических колебаний, теория электромагнитных колебаний в контуре).

Для проведения экспертизы учебников использовался **метод контент-анализа**, заключающийся в выделении в тексте индикаторов различных видов информации, их подсчете и последующей статистической обработке [2, 52]. Его

цель состоит в оценке скорости поступления учебной информации, а также степени ее абстрактности и объективной сложности при изучении физики в 10–11-м классах [42]. При этом решались следующие задачи: 1) разработка методики оценки количества эмпирической и теоретической информации (Э- и Т-знания) в учебном тексте; 2) определение частот обращения к теоретическим и эмпирическим знаниям, а также частот использования формул (Ф-знания) в различных темах анализируемых учебников; 3) оценка скорости поступления эмпирической и теоретической информации в каждой теме; 4) определение дидактической сложности изложения учебного материала в различных темах учебников.

Основой для выделения смысловых единиц анализа является классификация знаний на эмпирические (наблюдаемые), теоретические (качественно-абстрактные) и “математические” (“формульные”, Ф-знания). **Эмпирическими** называются знания об объектах и происходящих с ними явлениях, полученные как результат чувственных ощущений в процессе выполнения наблюдения или эксперимента. **Теоретические** знания – это знание сущности объектов и явлений, получающиеся в результате абстрагирования, обобщения опытных данных или конкретизации общих положений науки. К Т-знаниям будем относить знания об объектах и явлениях, которые ученик не может пронаблюдать, а также физические модели и математические абстракции, за исключением формул (координаты, вектора, силовые линии). К “**формульным**” знаниям отнесем знание формул и их выводов из других формул (включая решение задач).

**3.2. Методика проведения контент-анализа.** Нами использовалась стандартная методика контент-анализа [19, 52]. Для определения количества эмпирических, теоретических и математических знаний подсчитывались частоты упоминания различных фактов, экспериментов, законов, принципов, теорий, формул, изображений реальных объектов и математических абстракций в каждой теме. **Единицами счета** являются темы, страницы, рисунки, параграфы, абзацы, формулы, элементы учебного материала (ЭУМ), содержащие эмпири-



ческую и теоретическую информацию. В таблице 3.1 рассмотрены **маркеры** Э-знаний, Т- и Ф-знаний.

Для проведения контент-анализа эксперт подряд читает учебный текст и подсчитывает количество элементов эмпирических и теоретических знаний (Э- и Т-знаний) в каждой теме [36]. При этом можно составлять план каждого параграфа, заменяя отдельные абзацы краткими тезисами, соответствующими Э- или Т-знаниям. Удобно не просто подсчитывать количество элементов Э- или Т-знаний, но и давать им краткие названия, соответствующие их содержанию. В результате получается список, подобный тому, что приведен ниже.

### **Физика-10. Глава 5. ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ИМПУЛЬСА**

#### **Э-знания:**

1) реактивное движение воздушного шарика; 2) реактивный двигатель; 3) жидкостно-реактивный двигатель; 4) искусственный спутник Земли; 5) рисунок к задаче о соударении двух тел. Всего 5 элементов.

#### **Т-знания:**

1) импульс и изменение импульса; 2) импульс силы; 3) импульс тела; 4) закон сохранения импульса; 5) изменение импульса системы; 6) внутренние и внешние силы; 7) реактивное движение; 8) работа реактивного двигателя; 9) задача о неупругом ударе; 10) задача о соударении двух тел. Всего 10 элементов.

Таблица 3.1

Маркеры эмпирических и теоретических знаний

Смысловые единицы анализа	Индикаторы характеристик в тексте
Маркеры Э–знаний (эмпирические знания)	Опыт, эксперимент, наблюдение, измерение, экспериментальная установка, названия объектов, которые учащийся может наблюдать (вода, деформация пружины), названия приборов (ареометр, вольтметр), рисунки, содержащие изображения наблюдаемых объектов и явлений (ход лучей в призме)
Маркеры Т–знаний (теоретические знания, качественный уровень)	Определение, закон, принцип, теория, правило, следствие, рисунки, содержащие изображения идеализированных объектов (векторов, силовых линий и т.д.), принципиальные схемы
Маркеры Ф–знаний (математическая теория)	Формулы, вывод формул

Повторно анализируя эту же тему, эксперт определяет количество формул, а также число рисунков, содержащих эмпирическую или теоретическую информацию. На рисунках могут быть изображены: 1) материальные объекты, наблюдаемые человеком (рис. 3.1.1); 2) условные обозначения материальных объектов, воспринимаемых органами чувств, таких как резистор, конденсатор (рис. 3.1.2); 3) геометрические модели (т. е. изображения) материальных объектов, которые невозможно ощутить органами чувств, например, электроны, атом, магнитное поле (рис. 3.1.3); 4) математические абстракции: вектор скорости, ось координат, графики (рис. 3.1.4). В данном случае они перечислены по возрастанию степени абстрактности, оторванности от повседневной жизни человека.

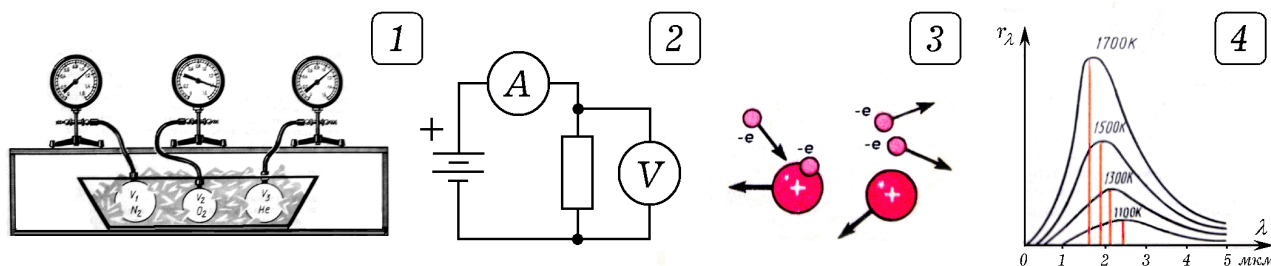


Рис. 3.1. Примеры иллюстраций из учебников физики за 10-й и 11-й классы.

Чтобы оценить наличие Э- и Т-информации в том или ином рисунке, устанавливался факт присутствия изображений реально существующих объектов, которые можно увидеть (Э-информация), и идеализированных объектов, включая математические абстракции (Т-информация). К рисункам, содержащим Т-информацию, будем относить рисунки с изображением идеального газа, электронов, силовых линий, графиков и т. д. Рис. 3.1.1 содержит только Э-информацию (экспериментальные установки), рис. 3.1.2 – Э- и Т-информацию (экспериментальная установка, условные обозначения приборов), рис. 3.1.3 и 3.1.4 – только Т-информацию (идеализированные объекты, графические модели, математические абстракции).

Таблица 3.2

Результаты контент-анализа учебника физики за 10-й класс

$i$	ФИЗИКА 10	Число стр.	$\eta_i$	$N_{\varepsilon}$	$N_m$	$N_{\phi}$	$N_{pm}$
	Название темы						
1	Кинематика точки	39	0,126	11	41	107	47
2	Кинематика твердого тела	5	0,016	2	9	25	3
3	Законы механики Ньютона	24	0,077	29	32	36	15
4	Силы в механике	21	0,068	13	25	55	14
5	Закон сохранения импульса	12	0,039	5	10	36	5
6	Закон сохранения энергии	18	0,058	8	27	103	14
7	Равновесие абсолютно твердых тел	9	0,029	9	11	51	8
8	Основы МКТ	22	0,071	19	43	36	9
9	Температура энергия тепл. движения	13	0,042	7	19	37	3
10	Уравн. сост. ид. газа. Газов. законы	8	0,026	0	20	5	7
11	Взаимн. превращ. жидкостей и газов	9	0,029	9	15	9	1
12	Твердые тела	4	0,013	10	9	0	3
13	Основы термодинамики	28	0,090	14	45	61	11
14	Электростатика	43	0,139	14	69	76	34
15	Законы постоянного тока	17	0,055	8	33	59	11
16	Электр. ток в различных средах	33	0,106	25	62	24	26

Таблица 3.2 (продолжение)

$i$	скорость Э-инф. $v_{\varepsilon i}$	скорость Т-инф. $v_{mi}$	скорость Ф-инф. $v_{\phi i}$	скорость РТ- инф. $v_{pm}$	доля Э-инф. $\mu_{\varepsilon i}$	доля Т-инф. $\mu_{mi}$	доля Ф-инф. $\mu_{\phi i}$
1	9,72	36,21	94,50	41,51	0,069	0,258	0,673
2	13,78	62	172,22	20,67	0,056	0,25	0,694
3	41,62	45,93	51,67	21,53	0,299	0,330	0,371
4	21,32	41,01	90,21	22,96	0,138	0,269	0,591
5	14,35	28,70	103,33	14,35	0,098	0,196	0,706
6	15,31	51,67	197,10	26,79	0,058	0,196	0,746
7	34,44	42,10	195,19	30,62	0,127	0,155	0,718
8	29,75	67,32	56,36	14,09	0,194	0,439	0,367
9	18,55	50,34	98,03	7,949	0,111	0,302	0,587
10	0	86,11	21,53	30,14	0	0,8	0,2
11	34,44	57,41	34,44	3,832	0,273	0,455	0,273
12	86,11	77,5	0	25,83	0,526	0,474	0
13	17,22	55,36	75,04	13,53	0,117	0,375	0,508
14	11,21	55,27	60,88	27,24	0,088	0,434	0,478
15	16,21	66,86	119,54	22,29	0,08	0,33	0,59
16	26,09	64,71	25,05	27,14	0,225	0,559	0,216

**3.3. Контент-анализ без учета уровня абстракции.** Сначала проведем экспертизу учебников на основе деления всех учебных знаний на эмпириче-

ские, теоретические (без формул) и математические (или “формульные”) знания. Также будем учитывать рисунки, содержащие эмпирическую и теоретическую информацию.

Таблица 3.3

Результаты контент-анализа учебника физики за 11-й кл.

$i$	ФИЗИКА 11	Число стр.	$\eta_i$	$N_{\varepsilon}$	$N_m$	$N_{\phi}$	$N_{pm}$
	Название темы						
1	Магнитное поле	21	0,067	14	20	25	19
2	Электромагнитная индукция	23	0,074	13	26	25	15
3	Механические колебания	26	0,083	11	25	67	11
4	Электромагнитные колебания	30	0,096	11	26	96	22
5	Производ. передача электроэнергии	12	0,038	6	5	15	4
6	Механические волны	15	0,048	8	15	7	10
7	Электромагнитные волны	25	0,080	20	24	11	16
8	Световые волны	52	0,167	45	90	74	55
9	Элементы теории относительности	14	0,045	1	20	15	6
10	Излучение и спектры	16	0,051	22	20	1	4
11	Световые кванты	15	0,048	10	17	12	4
12	Атомная физика	13	0,042	7	14	7	7
13	Физика атомного ядра	41	0,131	38	38	21	7
14	Элементарные частицы	6	0,019	3	11	0	0

Таблица 3.3 (продолжение)

$i$	скорость Э–инф. $v_{\varepsilon i}$	скорость Т–инф. $v_{mi}$	скорость Ф–инф. $v_{\phi i}$	скорость РТ–инф. $v_{pm}$	доля Э–инф. $\mu_{\varepsilon i}$	доля Т–инф. $\mu_{mi}$	доля Ф–инф. $\mu_{\phi i}$
1	23,11	33,02	41,27	31,37	0,237	0,339	0,424
2	19,59	39,19	37,68	22,61	0,203	0,406	0,391
3	14,67	33,33	89,33	14,67	0,107	0,243	0,650
4	12,71	30,04	110,93	25,42	0,083	0,195	0,722
5	17,33	14,44	43,33	11,56	0,231	0,192	0,577
6	18,49	34,67	16,18	23,11	0,267	0,5	0,233
7	27,73	33,28	15,25	22,19	0,364	0,436	0,2
8	30	60	49,33	36,67	0,215	0,431	0,354
9	2,48	49,52	37,14	14,86	0,028	0,556	0,417
10	47,67	43,33	2,17	8,67	0,512	0,465	0,023
11	23,11	39,29	27,73	9,24	0,256	0,436	0,308
12	18,67	37,33	18,67	18,67	0,25	0,5	0,25
13	32,13	32,13	17,76	5,92	0,392	0,392	0,216
14	17,33	63,56	0	0	0,214	0,786	0

В таблицах 3.2 и 3.3 представлены результаты контент-анализа учебников физики, в ходе которого подсчитывалось число элементов учебного материала (ЭУМ), содержащих Э-информацию (эмпирические знания), Т-информацию (теоретические знания без формул), Ф-информацию (формулы) и РТ-информацию (рисунки, содержащие теоретическую информацию). Таблицы состоят из следующих столбцов: 1) номер темы  $i$ ; 2) название темы; 3) количество страниц; 4) доля страниц в общем объеме учебника  $\eta_i = n_{cmp,i} / n_{cmp}$ ; 5) количество элементов Э-знаний, Т-знаний, Ф-знаний и РТ-знаний  $N_{\varepsilon}$ ,  $N_m$ ,  $N_{\phi}$ ,  $N_{pm}$ ; 6) скорость поступления Э-, Т-, Ф- и РТ-информации  $v_{\varepsilon i}$ ,  $v_{mi}$ ,  $v_{\phi i}$ ,  $v_{pmi}$ ; 7) доля Э-, Т- и Ф-знаний  $\mu_{\varepsilon i}$ ,  $\mu_{mi}$  и  $\mu_{\phi i}$ . Если считать, что весь материал учебника равномерно распределен по 9 месяцам, то длительность изучения  $i$ -й темы  $9\eta_i$  месяцев и скорость поступления информации в  $i$ -й теме  $v_i = N_i / 9\eta_i$ ; результат получается в ЭУМ/мес. Для нахождения доли Э-, Т- и Ф-информации использовались формулы:

$$\mu_{\varepsilon i} = \frac{v_{\varepsilon i}}{v_{\varepsilon i} + v_{mi} + v_{\phi i}}, \quad \mu_{mi} = \frac{v_{mi}}{v_{\varepsilon i} + v_{mi} + v_{\phi i}}, \quad \mu_{\phi i} = \frac{v_{\phi i}}{v_{\varepsilon i} + v_{mi} + v_{\phi i}}.$$

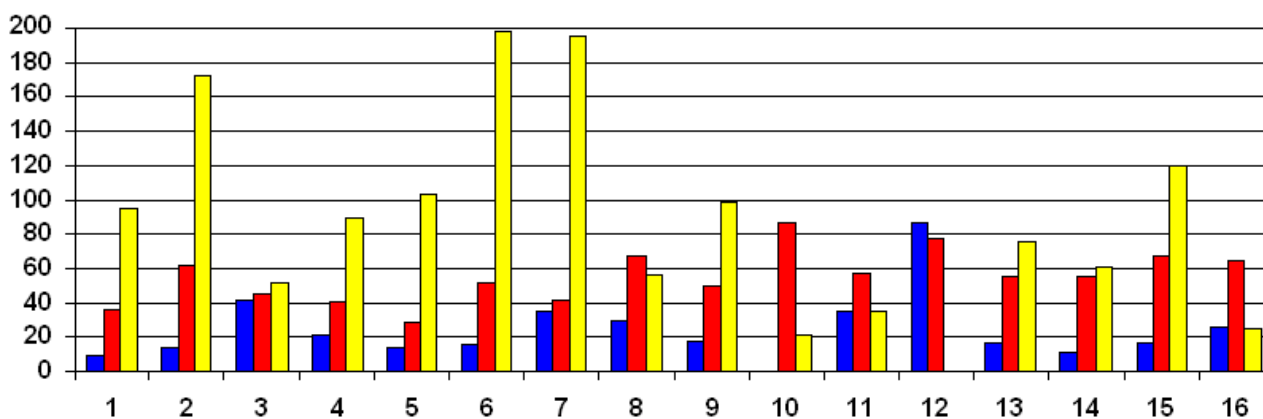


Рис. 3.2. Скорость поступления Э-, Т-, Ф-знаний (в ЭУМ/мес.) в 10-м классе.

Эти результаты могут быть отображены в виде гистограмм. На рис. 3.2 и 3.3 представлены скорости поступления Э-, Т-, Ф-знаний при изучении различных тем в 10-м и 11-м классах (Э – синий, Т – красный, Ф – желтый). Видно,

что скорости  $v_{\varepsilon i}$ ,  $v_{\tau i}$ ,  $v_{\phi i}$  при изучении различных тем сильно отличаются друг от друга. Например, скорость Ф-информации существенно превышает скорость поступления Э- и Т-знаний при изучении 1, 2, 4, 5, 6, 7, 9, 15 тем учебника за 10-й класс и 3 и 4 тем учебника за 11-й класс. Скорость поступления Э-знаний при изучении 12-й темы в 10-м классе (“Твердые тела”) и 10-й темы в 11-м классе (“Излучение и спектры”) несколько больше скорости поступления Т-знаний. Полученные гистограммы позволяют сделать вывод о соотношении эмпирической, качественно-теоретической и “формульной” информации при изучении различных тем школьного курса физики в 10–11-м классах. На рис. 3.4 и 3.5 показаны доли Э-, Т-, Ф-знаний в различных темах школьных учебников за 10–11-й классы (Э – синий, Т – красный, Ф – желтый). Видно, что темы сильно отличаются друг от друга по соотношению различных видов представленной в них информации. Используя методы кластерного анализа, можно осуществить классификацию тем школьного курса физики за 10–11-й классы, разбив все темы на 3–4 группы, как это сделано в монографии [30].

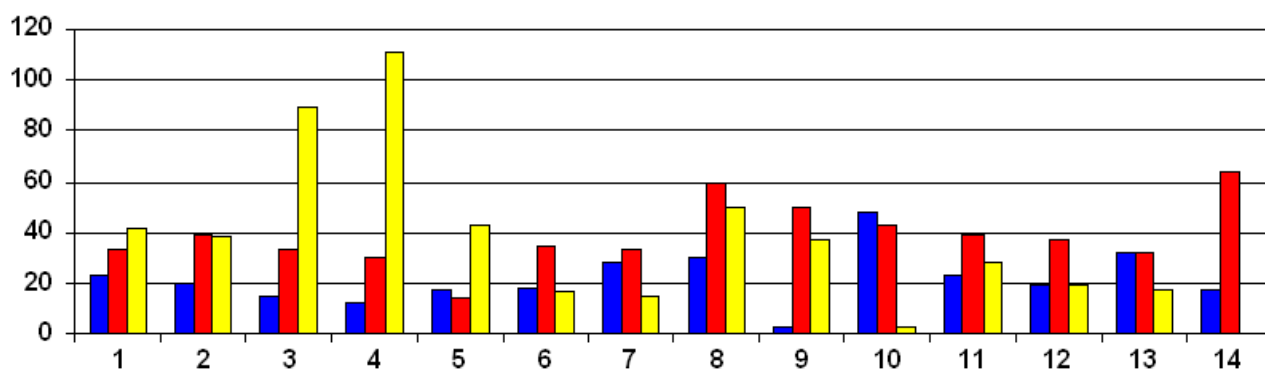


Рис. 3.3. Скорость поступления Э-, Т-, Ф-знаний (в ЭУМ/мес.) в 11 классе.

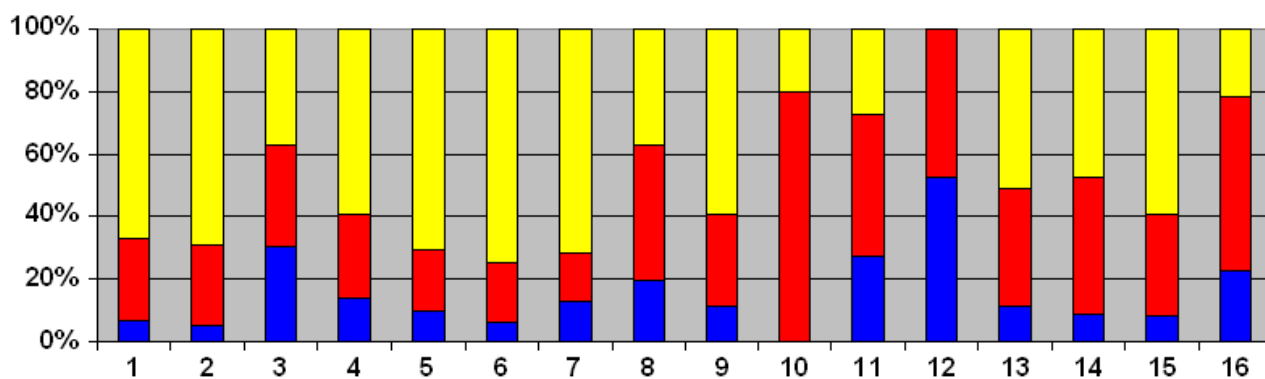


Рис. 3.4. Доля Э-, Т-, Ф-знаний в различных темах в 10-м классе.



Из результатов видно, что для 10-го класса скорость поступления Э-знаний лежит в интервале 0-86 ЭУМ/мес., Т-знаний – в интервале 28-86 ЭУМ/мес., Ф-знаний – в интервале 0-197 ЭУМ/мес. Доли Э-, Т- и Ф-знаний находятся в интервалах 0-0,53, 0,16-0,56, 0-0,75. Для 11-го класса скорость поступления Э-знаний лежит в интервале 2,5-48 ЭУМ/мес., Т-знаний – в интервале 14-64 ЭУМ/мес., Ф-знаний – в интервале 0-111 ЭУМ/мес. Доли Э-, Т- и Ф-знаний находятся в интервалах 0,03-0,51, 0,19-0,79 и 0-0,72.

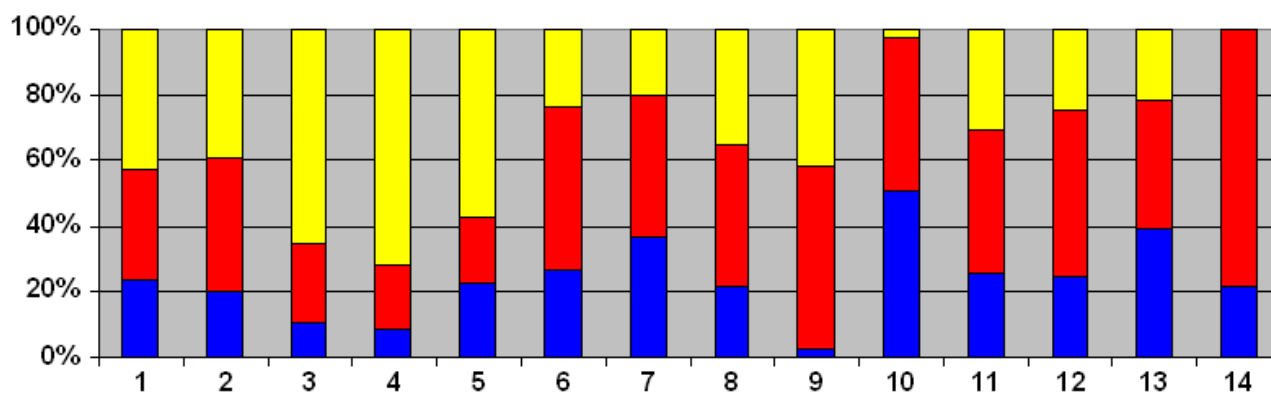


Рис. 3.5. Доля Э-, Т-, Ф-знаний в различных темах 11-го класса.

Таблица 3.4

### Скорость поступления информации

$i$	ФИЗИКА 10	Суммарная скорость $V_i$	$i$	ФИЗИКА 11	Суммарная скорость $V_i$
	Название темы			Название темы	
1	Кинематика точки	4,76	1	Магнитное поле	3,92
2	Кинематика твердого тела	5,65	2	Электромагнитная индукция	3,40
3	Законы механики Ньютона	4,66	3	Механические колебания	3,48
4	Силы в механике	4,36	4	Электромагнитные колебания	4,21
5	Закон сохранения импульса	3,57	5	Производ. передача электроэнергии	2,32
6	Закон сохранения энергии	6,20	6	Механические волны	2,94
7	Равновесие абсолютно твердых тел	6,99	7	Электромагнитные волны	3,25
8	Основы МКТ	4,29	8	Световые волны	5,18
9	Темпер. энергия теплового движения	3,80	9	Элементы теории относительности	2,48
10	Уравн. сост. ид. газа. Газовые законы	3,66	10	Излучение и спектры	3,44
11	Взаимные превращ. жидкостей и газов	3,43	11	Световые кванты	2,72
12	Твердые тела	6,64	12	Атомная физика	2,82
13	Основы термодинамики	3,77	13	Физика атомного ядра	2,64
14	Электростатика	3,97	14	Элементарные частицы	2,08
15	Законы постоянного тока	5,11			
16	Электрический ток в различных средах	4,24			

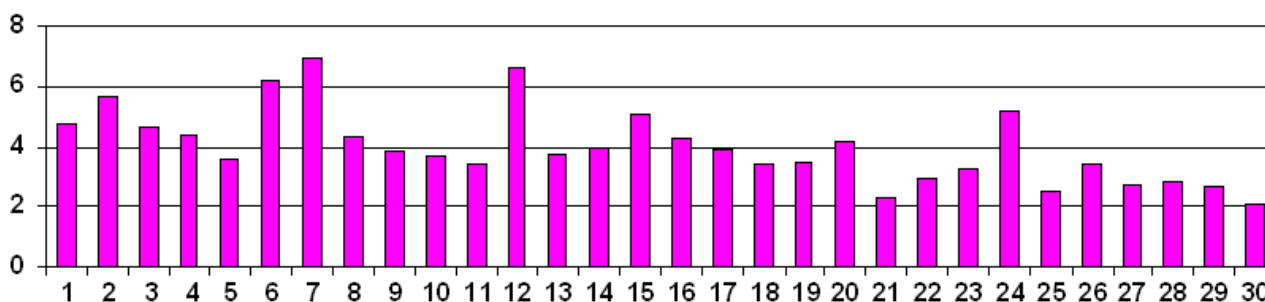


Рис. 3.6. Сложность различных тем учебников физики (10-й и 11-й классы).

**Информационная сложность** той или иной темы пропорциональна суммарной скорости поступления различных видов информации. Действительно, чем больше фактов, понятий, формул, рисунков приходится на 1 месяц изучения данной темы, тем она сложнее. Так как скорости Э-, Т-, Ф- и РТ-информации измеряются в разных единицах, то их следует нормировать. Для этого найдем среднее значение скорости поступления  $v_{m,cr}$  Т-знаний по всем 30 темам и вычислим отношение  $v_{mi}/v_{m,cr}$ . Аналогичным образом следует нормировать скорость поступления Э-, Ф- и РТ-информации. Тогда суммарная скорость поступления всех видов информации будет равна:

$$V_i = \frac{v_{\varepsilon i}}{v_{\varepsilon,cr}} + \frac{v_{mi}}{v_{m,cr}} + \frac{v_{\phi i}}{v_{\phi,cr}} + \frac{v_{pmi}}{v_{pm,cr}}.$$

В нашем случае  $v_{\varepsilon,cr} = 23,2$ ,  $v_{m,cr} = 47,7$ ,  $v_{\phi,cr} = 63,4$ ,  $v_{pm,cr} = 19,8$  ЭУМ/мес. Величина  $V_i$  характеризует **дидактическую сложность**  $i$ -й темы, которая зависит от количества элементов учебного материала в пересчете на 1 месяц обучения. Получающиеся значения суммарной скорости поступления информации в условных единицах представлены в табл. 3.4. На основе этих данных построена гистограмма (рис. 3.6); в ней все 30 тем пронумерованы по порядку.

**3.4. Контент-анализ с учетом абстрактности знаний.** Рассмотренные выше результаты не учитывали степень абстрактности изложения эмпирических и теоретических знаний. Интуитивно понятно, что умозрительное рассмотрение результатов опыта Резерфорда требует от учащегося способности абстрактно мыслить в большей степени, чем обсуждение демонстрации электромагнита, которую учитель выполнил на уроке. Для понимания теоретических рассуждений об объектах, не воспринимаемых органами чувств человека, необходимо напрягать воображение, в то время как анализ явления, которое можно пронаблюдать воочию, предусматривает использование абстрактного

мышления в меньшей степени. Поэтому будем различать следующие уровни абстрактности знаний по физике [36]:

## **1. Эмпирические знания**

**1 уровень:** явления и объекты, которые учащийся воспринимает органами чувств и может наблюдать в повседневной жизни (колебания маятника, теплообмен, искровой разряд, отражение света);

**2 уровень:** явления, объекты, законы, которые среднестатистический учащийся не может экспериментально исследовать вне школы, но может экспериментально изучить в школьной физической лаборатории (закон Ома, фотоэффект, интерференция электромагнитных волн);

**3 уровень:** явления, объекты, законы, которые невозможно экспериментально исследовать в школьной физической лаборатории, и они изучаются умозрительно (радиоактивность, термоядерная реакция, давление света).

## **2. Теоретические знания**

**1 уровень:** определения и качественные описания (рассуждения), касающиеся объектов и явлений, воспринимаемых органами чувств человека (определение вращательного движения, объяснение звуковых колебаний);

**2 уровень:** определения и качественные описания (рассуждения), касающиеся объектов и явлений, не воспринимаемых органами чувств человека, а требующих напряжения воображения (объяснение интерференции света, цепной ядерной реакции). К этому уровню относятся различные идеализации и модели (идеальный газ, модель атома Томсона).

**3 уровень:** определения физических величин (ускорение), различные математические абстракции (силовая линия, эквипотенциальные поверхности), законы, выражаемые формулами (уравнение Менделеева-Клапейрона).

Отдельно следует выделять уровень математической абстракции, зависящий от количества формул и их сложности, которая определяется так: математическое высказывание заменяется соответствующим ему предложением минимальной длины, а затем подсчитывается число входящих в него ключевых

слов и вычитается 2. Самая простая формула  $a_1 = a_2$  имеет сложность 1, формула  $s = v t$  имеет сложность 2, формула  $W = Li^2 / 2$  имеет сложность 5 и т. д. При анализе текста эксперт не только подсчитывает общее число элементов Э-, Т- и Ф-знаний, но и оценивает их уровень абстракции или сложности. Для каждой главы определяется коэффициент, выражающий ее долю в общем тексте учебника, и рассчитывается скорость поступления эмпирической, теоретической и математической информации.

Результаты контент-анализа учебников за 10-й и 11-й классы с учетом уровня абстрактности элементов эмпирических, теоретических знаний и сложности формул представлены в таблице 3.5 и 3.6 соответственно. В них приведены: 1) номера тем; 2) количества  $N_{\varepsilon}$ ,  $N_m$ ,  $N_{\phi}$  элементов Э-, Т- и Ф-знаний в каждой теме; 3) средние значения уровня абстрактности  $U_i$  Э-, Т- и Ф-знаний и соответствующие им коэффициенты абстрактности  $A_i$ ; 4) средняя сложность Ф-знаний  $S_{\phi}$  каждой темы. Уровни абстрактности эмпирической, теоретической и “формульной” информации для различных тем представлены на рис. 3.7 и 3.8.

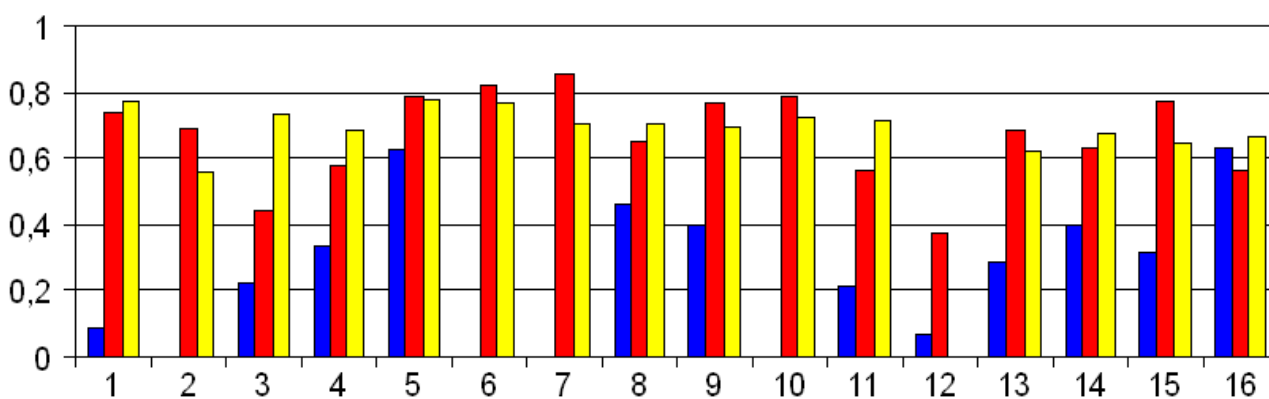


Рис. 3.7. Уровни абстрактности эмпирической, теоретической и “формульной” информации различных тем в 10-м классе.

Средний уровень абстрактности  $U_i$  данного вида знаний в  $i$ -й теме и коэффициент абстрактности  $A_i$  темы вычисляется, исходя из количества  $N_{\varepsilon}$ ,  $N_m$ ,  $N_{\phi}$  элементов Э-, Т- и Ф-знаний, их уровня абстрактности  $U_{ij}$  ( $i$  – номер темы,  $j$  – номер элемента). Использовались формулы:

$$U_i = \frac{1}{N_i} \sum_{j=1}^{N_i} U_{ij}, \quad A_i = (U_i - 1) / 2.$$

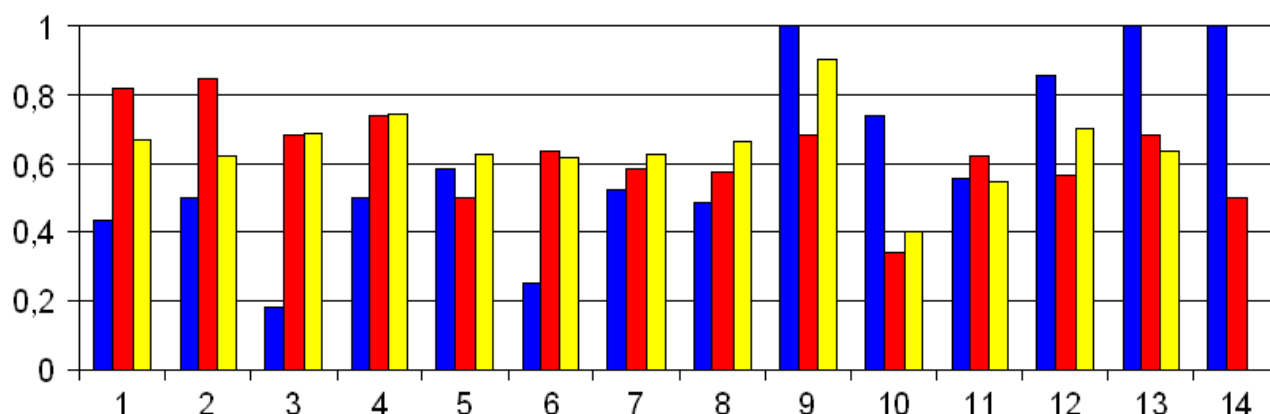


Рис. 3.8. Уровни абстрактности эмпирической, теоретической и “формульной” информации различных тем за 11-й класс.

Таблица 3.5

Э-, Т- и Ф-знания в учебнике физики за 10-й класс

Номер темы	Э–знания			Т–знания			Ф–знания		
	$N_{\varepsilon}$	$U_{\varepsilon}$	$A_{\varepsilon}$	$N_m$	$U_m$	$A_m$	$N_{\phi}$	$A_{\phi}$	$S_{\phi}$
1	13	1,18	0,09	31	2,48	0,74	107	1	6,97
2	2	1	0,00	8	2,375	0,69	25	1	5,04
3	25	1,44	0,22	27	1,89	0,45	36	1	6,61
4	12	1,67	0,34	20	2,15	0,58	55	1	6,16
5	4	2,25	0,63	7	2,57	0,79	36	1	7,03
6	5	1	0,00	17	2,65	0,83	103	1	6,89
7	5	1	0,00	7	2,71	0,86	51	1	6,31
8	12	1,92	0,46	83	2,31	0,66	36	1	6,31
9	5	1,8	0,40	19	2,53	0,77	37	1	6,24
10	0	0	0,00	14	2,57	0,79	5	1	6,48
11	7	1,43	0,22	15	2,13	0,57	9	1	6,44
12	7	1,14	0,07	8	1,75	0,38	0	1	0
13	14	1,57	0,29	46	2,37	0,69	61	1	5,61
14	10	1,8	0,40	45	2,27	0,64	76	1	6,12
15	8	1,63	0,32	24	2,54	0,77	59	1	5,81
16	29	2,27	0,64	38	2,13	0,57	24	1	6

Уровень абстрактности  $U_{ij}$  отдельного ЭУМ принимает целочисленные значения 1, 2, 3, а коэффициент абстрактности темы  $A_i$  лежит в интервале  $[0; 1]$ . Будем считать, что у формул (Ф-знаний) коэффициент абстрактности максимален и равен 1. Средняя сложность Ф-знаний  $S_{\phi i}$  в  $i$ -й теме находится как

среднее арифметическое сложностей всех входящих в нее формул. Значение  $S_{\phi i}$  изменяется от 0 до 9; его среднее значение в 10-м классе равно 6,4, а в 11-м классе – 6,9.

Таблица 3.6

Э-, Т- и Ф-знания в учебнике физики за 11-й класс

Номер темы	Э–знания			Т–знания			Ф–знания		
	$N_{\varepsilon}$	$U_{\varepsilon}$	$A_{\varepsilon}$	$N_m$	$U_m$	$A_m$	$N_{\phi}$	$A_{\phi}$	$S_{\phi}$
1	13	1,87	0,44	14	2,64	0,82	25	1	6,72
2	12	2	0,50	17	2,7	0,85	25	1	6,2
3	11	1,36	0,18	22	2,36	0,68	67	1	6,9
4	11	2	0,50	23	2,48	0,74	96	1	7,43
5	6	2,17	0,59	5	2	0,50	15	1	6,27
6	8	1,5	0,25	15	2,27	0,64	7	1	6,14
7	20	2,05	0,53	23	2,17	0,59	11	1	6,27
8	36	1,97	0,49	54	2,15	0,58	74	1	6,65
9	1	3	1,00	19	2,37	0,69	15	1	9
10	21	2,48	0,74	19	1,68	0,34	1	1	4
11	9	2,11	0,56	16	2,25	0,63	12	1	5,5
12	7	2,71	0,86	14	2,14	0,57	7	1	7
13	35	3	1,00	35	2,37	0,69	21	1	6,33
14	2	3	1,00	11	2	0,50	0	1	0

Комплексный показатель абстрактности изложения материала равен:

$$A_i = \frac{A_{\varepsilon i} N_{\varepsilon i} + A_{m i} N_{m i} + A_{\phi i} N_{\phi i}}{N_{\varepsilon i} + N_{m i} + N_{\phi i}}.$$

При этом сложность формул не учитывается и считается, что формульная информация имеет максимальный уровень абстрактности  $A_{\phi} = 1$ . Чтобы учесть сложность формул, найдем относительную сложность  $S_{отн}$  так:  $S_{отн, i} = S_{\phi, i} / 10$ , считая, что формула, для которой  $S_{\phi, i} = 10$ , имеет относительную сложность 1. В этом случае исправленный показатель степени абстрактности равен:

$$A_i' = \frac{A_{\varepsilon i} N_{\varepsilon i} + A_{m i} N_{m i} + S_{отн, i} N_{\phi i}}{N_{\varepsilon i} + N_{m i} + N_{\phi i}}$$



Эта величина будет равна 1 в случае, когда в тексте упоминаются только факты и теоретические понятия с уровнем абстракции 3 и формулы с  $S_{\phi,i} = 10$ . Результаты представлены в табл. 3.7.

Рассмотренный метод позволяет оценить количество и дидактическую сложность различных видов учебной информации для каждой темы и учебника в целом. Полученные результаты могут быть сопоставлены с аналогичными данными для других учебников физики, химии, биологии и т. д.

Таблица 3.7

Показатели абстрактности различных тем

ФИЗИКА – 10				ФИЗИКА – 11			
Номер темы	Показатель абстрактности $A$	Относит. сложность формул	Показатель абстрактности $A'$	Номер темы	Показатель абстрактности $A$	Относит. сложность формул	Показатель абстрактности $A'$
1	0,868	0,697	0,654	1	0,810	0,672	0,653
2	0,871	0,504	0,517	2	0,842	0,620	0,666
3	0,608	0,661	0,469	3	0,839	0,690	0,632
4	0,811	0,616	0,568	4	0,912	0,743	0,722
5	0,936	0,703	0,709	5	0,808	0,627	0,593
6	0,936	0,689	0,680	6	0,618	0,614	0,527
7	0,905	0,631	0,606	7	0,647	0,627	0,571
8	0,732	0,631	0,631	8	0,747	0,665	0,596
9	0,878	0,624	0,650	9	0,829	0,90	0,786
10	0,842	0,648	0,749	10	0,561	0,40	0,546
11	0,612	0,644	0,509	11	0,730	0,550	0,584
12	0,233	0	0,233	12	0,749	0,70	0,674
13	0,798	0,561	0,576	13	0,879	0,633	0,794
14	0,829	0,612	0,604	14	0,577	0	0,577
15	0,879	0,581	0,879				
16	0,702	0,601	0,597				

**3.5. Оценка количества информации в тексте и его дидактической сложности с помощью компьютера.** Выше рассмотрен метод оценки информативности и сложности, основанный на подсчете числа использований различных ЭУМ (описаний опытов, теоретических объяснений, рисунков, формул) вручную. В настоящее время используются автоматические методы анализа текста с помощью компьютера, дающие более объективные результаты [24, 44].

С целью проведения контент-анализа необходимо выбрать исчерпывающие, взаимоисключающие критерии и сформулировать правило для надежного фиксирования нужных характеристик текста так, чтобы получающиеся результаты не зависели от эксперта, имели высокую повторяемость и отражали объективные характеристики текста. Будем исходить из того, что вся учебная информация может быть разделена на эмпирические, теоретические, математические и общенаучные знания. В некоторых случаях эти виды информации не поддаются четкому и однозначному разграничению в силу объективных причин. Качественные объяснения наблюдаемых явлений (элементы теоретических знаний) могут содержать большое количество “эмпирических” терминов, обозначающих объекты и явления, приборы и устройства. Обычно это относится к простым вопросам, изучаемым в 7–8-м классах. Наличие “эмпирических” терминов показывает невысокий уровень абстракции учебного материала. Попытки разделить эмпирические и теоретические знания в этих случаях существенно усложнят процесс анализа, снизят точность и объективность результатов.

Следуя принципу “измерять то, что можно измерить”, при анализе текста будем подсчитывать число использований “эмпирических” терминов (обозначающих объекты и явления, приборы, устройства, связи между ними), “теоретических” терминов (названия физических величин), математических терминов (математические операции, символы в формулах) и общенаучных терминов (“докажем”, “измерения”, “проанализируем” и т. д.). Получающиеся значения  $N_{\mathcal{E}}$ ,  $N_T$ ,  $N_M$ ,  $N_H$  характеризуют объем Э-знаний, Т-, М- и Н-знаний в тексте. Понятно, что такой подход достаточно формален и не позволяет оценить содержательную сторону учебной информации, правильность логических выводов, методическую обоснованность рассуждений и т. д. Однако эта задача и не ставится. Предполагается, что анализируемые учебники соответствуют всем основным требованиям, предъявляемым к учебным пособиям [6, 7, 42], и необходимо определить сложность и количество различных видов информации в том или ином параграфе. Чем больше в тексте встречается абстрактных понятий, обозначающих объекты и связи между ними, тем выше его дидактическая сложность (ДС). Поэтому для оценки ДС эмпирической или теоретической ин-

формации необходимо оценить степень абстрактности всех встречающихся в тексте терминов и частоту их использования.

**3.6. Учет сложности различных элементов текста.** В учебных текстах используются научные термины, обозначающие: 1) физические объекты и явления; 2) приборы и технические устройства; 3) физические величины, законы, теории; 4) свойства объектов, связи и взаимодействия между ними. Это не только существительные, но и образованные от них прилагательные, глаголы и т. д. Для создания шкалы ДС физических понятий использовался метод парных сравнений. Автором был составлен список из 10 величин, взятых из различных разделов физики: масса, скорость, температура, внутренняя энергия, сила тока, индукция магнитного поля, длина волны, интенсивность, критическая масса, энергия связи. Перечисленные величины сравнивались друг с другом, результаты записывались в таблицу 10 x 10. Если сложности сравниваемых величин примерно одинаковы, то в соответствующие клетки таблицы заносились нули, а если разные, – то 1 или –1. Аналогичным образом была оценена сложность терминов, обозначающих физические объекты, явления, приборы, а также математические объекты и операции.

Физические объекты	вода пар	ртуть порох	ЭМ поле неон	ЭМ волна плазма	уран плутоний	молекула протон ядро
Физические явления	вращение	электрич. ток диффузия	электрич. резонанс	интерференция дифракция	радиоактивность	Ядерная реакция
Устройства и приборы	пружина весы	термометр	амперметр ДВС	усилитель	ускоритель	ядерный реактор
Физические величины	линейка объем давление масса	импульс скорость	энергия сила тока	лазер критич. масса	камера Вильсона интенсивность интервал	энергия связи работа выхода
Математ. операции	сумма разность произведение частное	возведение в степень	логарифм синус косинус	предел производная		интеграл
Сложность	1	2	3	4	5	

Рис. 3.9. Оценка сложности различных элементов физического текста.

Все это позволило создать пятибалльную шкалу сложности физических понятий (рис. 3.9). При этом наименее сложными ( $s = 1$ ) считаются термины, обозначающие явления, объекты или приборы, которые учащийся может пронаблюдать в повседневной жизни (вода), а наиболее сложными ( $s = 5$ ) – термины, обозначающие объекты и явления, которые нельзя обнаружить с помощью органов чувств, и для их изучения приходится использовать воображение (ядро атома). Сложность объектов и явлений, которые можно пронаблюдать в физической лаборатории, принимает промежуточное значение  $s = 3$ . Для оценки сложности какого-либо нового термина его необходимо сравнить с терминами, представленными на рис. 3.9, и отнести к одной из 5 категорий [29].

При измерении количества математической информации  $I_M$  будем считать, что оно равно числу математических терминов и символов, встречающихся в тексте и в формулах:  $I_M = N_M$ . Действительно, каждый символ соответствует некоторой физической величине или математической операции, и для оценки количества М-знаний необходимо к числу математических терминов прибавить количество символов в формулах и тексте. Каждое математическое высказывание можно заменить соответствующими предложениями минимальной длины, а затем определить число  $N_M$  входящих в него ключевых слов. Например, для формулы  $s = v t$  (расстояние равно произведению скорости на время)  $I_M = 5$ ; формула  $T = 2\pi\sqrt{LC}$  (период равен два пи корней из произведения индуктивности и емкости)  $I_M = 8$ . При этом индексы не учитываются.

Для определения сложности формул использовались следующие критерии: 1. Сложность  $s = 1$ : одиночные символы (не вектора) в тексте, равенство, сумма, разность, произведение и деление. 2. Сложность  $s = 2$ : возведение в степень, извлечение корня, сложение и вычитание векторов. 3. Сложность  $s = 2$ : тригонометрические функции, логарифмы, скалярное произведение векторов. 4. Сложность  $s = 4$ : пределы, дифференциалы, производные, векторное произведение. 5. Сложность  $s = 5$ : интегралы. Сложность формулы считается равной наибольшей сложности всех входящих в нее символов. Например, если в формуле имеются производные (без интегралов), то ее сложность равна 4.

Оценим количество математической информации  $I_M = N_M$  и ее сложность  $S_M$  в формулах:

$$W_M = \frac{B^2}{2\mu\mu_0} Sl \quad (1), \quad x = A \sin(\omega t + \varphi_0) \quad (2), \quad \frac{dN}{N} = -\lambda dt \quad (3), \quad A = \int_{\vec{r}_1}^{\vec{r}_2} \vec{F} d\vec{r} \quad (4).$$

Получаются следующие результаты: 1)  $I_M = 10$ ,  $S_M = 2$ ; 2)  $I_M = 8$ ,  $S_M = 3$ ; 3)  $I_M = 9$ ,  $S_M = 4$ ; 4)  $I_M = 8$ ,  $S_M = 5$ .

Кроме текста и формул, почти каждый параграф учебника включает в себя рисунки. Чтобы оценить количество информации в рисунках, будем заменять их максимально короткими предложениями, которые полно передают заключенную в них учебную информацию. Речь идет о полезной информации, необходимой для усвоения соответствующего параграфа учебника (ненужная информация, содержащаяся в рисунках, не учитывается).

**3.7. Контент-анализ текста и его результаты.** Для качественно-количественного анализа учебных текстов применялась специальная программа, подобная программе Analyzer (гл. 1, п. 1.7). В нашем случае единицей измерения количества информации является слово или одно упоминание термина. Так как в русском языке средняя длина слова 6,3 буквы (включая пробел), то для нахождения суммарного числа слов  $N$  (объема информации в тексте  $I$ ) нужно общее количество букв разделить на 6,3. Если  $m_{\mathcal{E}}$ ,  $m_T$ ,  $m_H$  – число Э-, Т- и Н-терминов в тексте (или словаре), то количество “эмпирической”, “теоретической” и “общенаучной” информации в тексте:

$$I_{\mathcal{E}} = N_{\mathcal{E}} = \sum_{i=1}^{m_{\mathcal{E}}} n_{\mathcal{E}i}, \quad I_T = N_T = \sum_{i=1}^{m_T} n_{Ti}, \quad I_H = N_H = \sum_{i=1}^{m_H} n_{Hi}.$$

Здесь  $n_{\mathcal{E}i}$ ,  $n_{Ti}$ ,  $n_{Hi}$  – число упоминаний  $i$ -го Э-, Т- и Н-термина. Объем М-информации  $I_M$  равен числу  $N_M$  использований математических терминов и

символов. Сложность Н-терминов будем считать равной 1, тогда средняя сложность Н-информации  $S_H = 1$ . Средняя сложность Э-, Т- и М-знаний равна

$$S_{\mathcal{E}} = \frac{1}{N_{\mathcal{E}}} \sum_{i=1}^{m_{\mathcal{E}}} s_{\mathcal{E}i} n_{\mathcal{E}i}, \quad S_T = \frac{1}{N_T} \sum_{i=1}^{m_T} s_{Ti} n_{Ti}, \quad S_M = \frac{1}{N_M} \sum_{i=1}^{m_{\mathcal{M}}} s_{Mi} n_{Mi},$$

где  $s_{\mathcal{E}i}$ ,  $s_{Ti}$  и  $s_{Mi}$  – сложности  $i$ -го Э-, Т- и М-термина. Доля научной информации в тексте находится как отношение объема научной информации к общему объему текста:  $\varepsilon = (N_{\mathcal{E}} + N_T + N_M + N_H) / N$ . Средняя сложность научной информации равна:

$$S = \frac{S_{\mathcal{E}}N_{\mathcal{E}} + S_T N_T + S_M N_M + S_H N_H}{N_{\mathcal{E}} + N_T + N_M + N_H}.$$

Удельное количество Э-, Т-, М-знаний определяется как отношение числа соответствующих терминов  $N_{\mathcal{E}}$ ,  $N_T$ ,  $N_M$  к общему количеству слов в тексте  $N$ :  $k_{\mathcal{E}} = N_{\mathcal{E}} / N$ ,  $k_T = N_T / N$ ,  $k_M = N_M / N$ .

В качестве апробации были проанализированы четыре параграфа из вузовского учебника Т. И. Трофимовой (Курс физики, 2001) и один параграф из школьного учебника Г. Я. Мякишева и Б. Б. Буховцева (Физика-11, 2004): 1) “Угловая скорость и угловое ускорение”; 2) “Плазма и ее свойства”; 3) “Ядерная энергетика”; 4) “Дифракция Фраунгофера на дифракционной решетке” (Курс физики); 5) “Дифракционная решетка” (Физика-11). При этом определялись сложность и объем эмпирической, теоретической, математической и общенаучной информации, объем научной информации, суммарный объем параграфа, доля научной информации, удельное количество Э-, Т-, М-знаний [29]. Результаты представлены в табл. 3.8. Из нее, в частности, следует, что в параграфе “Угловая скорость и угловое ускорение” упоминаются: 1) “эмпирические” термины (объект – явление – прибор) – 51 раз (средняя сложность – 1,31); 2) “теоретические” термины (название физической величины) – 40 раз (средняя сложность – 2,0); 3) математические термины и символы – 336 раз (средняя сложность – 1,91); 4) общенаучные термины – 6 раз (средняя слож-



ность – 1). Общий объем информации – 670 слов, из них 433 упоминания научных терминов. Доля научной информации – 0,65, средняя сложность – 1,84. Из табл. 3.8 также следует, что в параграфе “Ядерная энергетика” упоминаются: 1) “эмпирические” термины (объект – явление – прибор) – 317 раз (средняя сложность – 3,35); 2) “теоретические” термины (название физической величины) – 55 раз (средняя сложность – 2,1); 3) математические термины и символы – 41 раз (средняя сложность – 1,24); 4) общенаучные термины – 34 раза (средняя сложность – 1). Общий объем информации 1248 слов, из них 447 упоминаний научных терминов. Доля научных терминов – 0,36, средняя сложность – 2,82.

Таблица 3.8

Результаты контент-анализа учебных текстов

	Угловая скорость...		Плазма и ее свойства		Дифр. Фраунгоф. на дифрак. реш.		Ядерная энергетика		Дифракционная решетка	
	Инфор.	Сложн.	Инфор.	Сложн.	Инфор.	Сложн.	Инфор.	Сложн.	Инфор.	Сложн.
Э-знания	51	1,31	148	2,47	115	2,05	317	3,35	183	1,83
Т-знания	40	2	34	2,12	30	2,23	55	2,07	28	2,18
М-знания	336	1,91	51	1,2	236	1,99	41	1,24	95	1,17
Н-знания	6	1	28	1	47	1	34	1	39	1
Э-, Т-, М-, Н-знания	433		261		428		447		345	
Суммарный объем	670		627		940		1248		779	
Удельн. Э-знания	0,08		0,24		0,12		0,25		0,23	
Удельн. Т-знания	0,06		0,05		0,03		0,04		0,04	
Удельн. М-знания	0,50		0,08		0,25		0,03		0,12	
Доля науч. инфор.	0,65		0,41		0,46		0,36		0,44	
Средн. сложность		1,84		2,02		1,91		2,82		1,58

Используемая компьютерная программа позволяет выявить наиболее часто встречающиеся термины (или их корни) и создать профиль анализируемого текста. Получаются следующие результаты: 1) **Угловая скорость и угловое ускорение:** вектор – 17, угл(овая) – 15, направлен(а) – 12, вращен(ие) – 11, скорост(ь) – 11, точк(а) – 9, ускорени(е) – 9, окружност(ь) – 8, оси – 6, повор(от) – 5, движен(ие) – 6, врем(я) – 6. 2) **Плазма и ее свойства:** электр(он) – 12, температур(а) – 10, разряд – 6, частиц(а) – 11, заряженн(ый) – 5, ионизац(ия) – 5, плазм(а) – 31, газ – 12, числ(о) – 5, ион – 5. 3) **Дифракция Фраунгофера на дифракционной решетке:** дифракци(я) – 20, решетк(а) – 18, максимум – 12, щелей – 12, минимум – 10, направлен – 8, волн(а) – 7, луч – 7, щели – 7, картин(а) –

6, услови(я) – 6, свет – 5, делен(ие) – 5, определ(ение) – 5, спектр – 5. 4) **Понятие о ядерной энергетике:** реактор(ы) – 30, энерг(ия) – 20, ядер(ный) – 19, вод(а) – 18, нейтрон – 15, уран – 12, электр(он) – 12, активн(ый) – 9, реакци(я) – 9, трубопровод – 8, замедлител(ь) – 7, генератор – 6, теплоносител(ь) – 6, материал – 6, паро(вой) – 6, враща(ть) – 6, теплов(ой) – 6. 5) **Дифракционная решетка:** решетк(а) – 22, волн(а) – 18, дифракци(я) – 15, свет – 12, максимум(ы) – 11, щелей – 10, длин(а) – 9, спектр – 8, соответству(ют) – 6, точк(а) – 6, числ(о) – 5, пада(ет) – 5, линз(а) – 5, луч – 5.

На основе данных, представленных в табл. 3.8, может быть построена гистограмма, круговая или иная диаграмма, осуществлено сравнение проанализированных параграфов по сложности и количеству различных видов информации. Из рис. 3.10.1, соответствующего четырем параграфам вузовского учебника, видно, что наибольшее количество М-информации в параграфе “Угловая скорость ...”, а Э-информации – в параграфе “Ядерная энергетика”. С помощью гистограммы на рис. 3.10.2 можно сравнить параграфы “Дифракция Фраунгофера на дифракционной решетке” (учебник для вуза) и “Дифракционная решетка” (Физика-11). Видно, что в школьном учебнике больше эмпирической информации, а вузовском – математической. Количество Т- и Н-знаний в обоих случаях примерно одинаково. Анализ представленных результатов (табл. 3.8, рис. 3.10) позволяет утверждать, что количества Э- и М-знаний являются важными характеристиками учебных текстов по физике, которые следует учитывать при классификации школьных параграфов и тем [37].

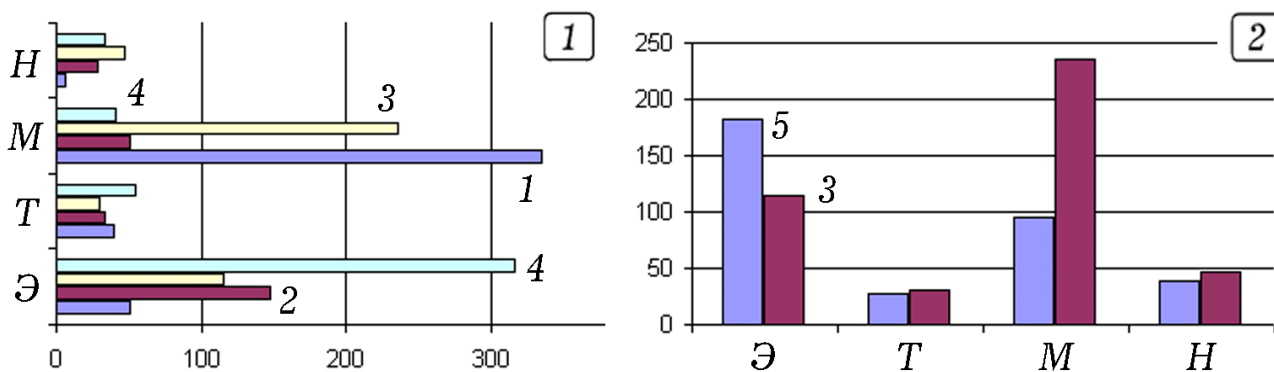


Рис. 3.10. Результаты контент-анализа учебных текстов по физике.

**3.8. Физическая и математическая сложности тем школьного курса физики.** Возможен иной подход к проблеме оценки дидактической сложности  $S$  темы, основанный на определении двух независимых характеристик: физической сложности  $F$  темы и ее математической сложности  $M$ . Для этого следует проанализировать используемые физические модели, изображенные на рисунках объекты, а также математические формулы. Результаты позволят классифицировать темы школьного курса физики по признакам  $F$  и  $M$  [37].

Чтобы оценить физическую сложность, необходимо определить уровень абстрактности используемых моделей, степень их оторванности от повседневной жизни, наличие кажущегося противоречия между теоретическими рассуждениями и повседневным опытом. При этом следует учитывать: 1) восприятие объекта органами чувств; 2) изменения объекта с течением времени; 3) количество степеней свободы; 4) пространственно-временную протяженность объекта или процесса; 5) наличие структуры; 6) соответствие поведения объекта “здравому смыслу”. Примеры классификации понятий, обозначающих объекты, явления, физические модели и идеи по уровню сложности приведены в табл. 2.1 (гл. 2). Математическая сложность текста зависит от количества и сложности используемых формул и рисунков, содержащих математические абстракции, в пересчете на единицу времени изучения (1 месяц) или единицу объема текста (например, 10000 знаков).

Контент-анализу подверглись учебники физики за 7–11-й классы (приложение 6): 1) Перышкин А. В. Физика-7, 2003; 2) Перышкин А. В. Физика-8, 2002; 3) Перышкин А. В., Гутник Е. М. Физика-9, 2005; 4) Мякишев Г. Я. Буховцев Б. Б., Сотский Н. Н. Физика-10, 2004; 5) Мякишев Г. Я., Буховцев Б. Б. Физика-11, 2003. При этом были выделены 27 тем (табл. 3.9). Методика оценки физической сложности  $F_i$   $i$ -й темы учебника физики состоит в следующем:

1. Оценивают сложность объектов, физических явлений и экспериментов, изображенных на рисунках. Каждый  $j$ -й рисунок  $i$ -й темы получает оценку  $R_{ij}^{\phi}$  по шкале 1–2–3–4–5:  $R_{ij}^{\phi} = 1$ , если на рисунке изображены только физиче-

ские объекты и явления, воспринимаемые органами чувств человека и наблюдаемые в повседневной жизни;  $R_{ij}^{\phi} = 3$ , если на рисунке представлены объекты и явления, которые можно пронаблюдать в школе;  $R_{ij}^{\phi} = 5$ , если рисунки содержат изображения объектов, явлений или экспериментальных установок, которые невозможно пронаблюдать или воссоздать в школьной физической лаборатории. Значения  $R_{ij}^{\phi} = 2$  и 4 являются промежуточными. В спорных случаях, когда на рисунке представлены объекты как воспринимаемые, так и не воспринимаемые органами чувств и непонятно, как оценить их сложность, используют табл. 2.1, изменяя оценку  $R_{ij}^{\phi}$  в пределах 1 балла. Затем вычисляют среднюю оценку физической сложности рисунков  $R_i^{\phi}$  по всем рисункам темы и приведенный показатель сложности  $F_{1i}$  из интервала  $[0; 1]$ .

2. Определяют теоретическую сложность физических моделей (идей, теорий, рассуждений), представленных в  $j$ -м параграфе  $i$ -й темы учебника по шкале 1–2–3–4–5–6 следующим образом (табл. 2.1):  $T_{ij} = 1$ , если используются понятия: механическое движение, материальная точка, твердое тело, упругое тело, механические колебания, явления геометрической оптики, нагревание, плавление, испарение, причем для объяснений не привлекаются знания об объектах, не воспринимаемых органами чувств (молекулах, ионах, фотонах и т. д.);  $T_{ij} = 2$ , если используются знания о молекулярном строении вещества (без учета структуры молекул), обсуждаются механические волны, звук, явления электростатики и электрический ток (без обсуждения движения электронов, дырок, ионов);  $T_{ij} = 3$ , если используются понятия: точечный заряд, электростатическое поле, стационарное магнитное поле, гравитационное поле, электроны, протоны, ионы, дырки, их движение, ток как упорядоченное движение заряженных частиц, электрические колебания, световые волны без рассмотрения их электромагнитной природы;  $T_{ij} = 4$ , если используются понятия: нестационар-

ное электромагнитное поле, электромагнитная индукция, электромагнитная волна, свет как ЭМВ, планетарная модель атома Резерфорда;  $T_{ij} = 5$ , если используются понятия: ядро, состоящее из протонов и нейтронов, ядерные силы, энергия связи, ядерные реакции;  $T_{ij} = 6$ , если используются понятия: квант энергии, фотоны, модель атома Бора, волны Де-Бройля, корпускулярно-волновой дуализм, релятивистские эффекты, пространство-время.

Таблица 3.9

Физическая сложность тем школьного курса физики

$i$	Темы школьного курса физики	класс	$R_i^{\phi}$	$F_{1i}$	$T_i$	$F_{2i}$	$F_i$
1	Введение. Первоначальные сведения о строении вещества [с. 3-29]	7	2,32	0,36	1,75	0,15	0,28
2	Взаимодействие тел [с. 30-76]	7	1,57	0,16	1,00	0,00	0,11
3	Давление твердых тел жидкостей и газов [с. 77-128]	7	1,84	0,23	1,00	0,00	0,17
4	Работа мощность энергия [с. 129-158]	7	1,32	0,09	1,00	0,00	0,06
5	Тепловые явления [с. 3-29]	8	2,4	0,38	1,45	0,09	0,28
6	Изменение агрегатного состояния вещества [с. 30-57]	8	2,45	0,40	1,23	0,05	0,29
7	Электрические явления [с. 58-129]	8	2,47	0,40	2,19	0,24	0,34
8	Электромагнитные явления [с. 130-146]	8	2,41	0,38	3,00	0,40	0,40
9	Световые явления [с. 147-188]	8	1,66	0,18	1,17	0,03	0,13
10	Законы взаимодействия и движения тел [с. 5-86]	9	2,13	0,31	1,00	0,00	0,22
11	Механич. колебания и волны. Звук [с. 87-137]	9	1,94	0,26	1,47	0,09	0,20
12	Электромагнитное поле [с. 138-179]	9	2,24	0,34	3,82	0,56	0,48
13	Строение атома и атомного ядра. Использование энергии атомных ядер [с. 180-225]	9	4,56	0,97	4,50	0,70	0,87
14	Кинематика [с. 8-52]	10	1,29	0,08	1,00	0,00	0,06
15	Динамика. Силы в механике. Статика [с. 52-98; 129-137]	10	1,69	0,19	1,14	0,03	0,14
16	Законы сохранения в механике [с. 99-129]	10	1,58	0,16	1,00	0,00	0,11
17	Молекулярная физика [с. 139-183]	10	3,25	0,61	2,00	0,20	0,47
18	Взаимные превращения жидкостей и газов. Твердые тела. Термодинамика [с. 184-225]	10	2,17	0,32	1,77	0,15	0,26
19	Электростатика [с. 226-269]	10	3,13	0,58	2,95	0,39	0,51
20	Законы постоянного тока [с. 270-287]	10	2,8	0,49	3,00	0,40	0,46
21	Электрический ток в различных средах [с. 287-318]	10	3,81	0,77	3,00	0,40	0,63
22	Магнитное поле. Электромагнитная индукция [с. 4-47]	11	2,45	0,40	3,35	0,47	0,44
23	Механич. колебания и волны [с. 48-74; 115-130]	11	1,62	0,17	1,40	0,08	0,14
24	Электромагнитные колебания. Производство электрич. энергии. Электромагн. волны [с. 74-115; 130-154]	11	2,97	0,54	3,19	0,44	0,50
25	Световые волны. Излучение и спектры [с. 155-210; 225-242]	11	2,39	0,38	3,00	0,40	0,40
26	Элементы теории относительности [с. 210-224]	11	4,5	0,95	6,00	1,00	1,00
27	Квантовая физика [с. 242-315]	11	4,67	1,00	4,83	0,77	0,91

В случае, когда оцениваемое понятие на рис. 3.9 отсутствует, то находят максимально близкое ему понятие и так определяют ДС. Она может отличаться в пределах 1 балла с учетом соображений, высказанных в начале параграфа. После этого вычисляют среднюю оценку сложности физических моделей  $T_i$  по

всем параграфам темы и определяют приведенный показатель сложности  $F_{2i}$ ; его значения должны заполнять интервал  $[0; 1]$ . Для расчета  $F_{1i}$  и  $F_{2i}$  применяют формулы:  $F_{1i} = (R_i - 1) / 3,67$ ,  $F_{2i} = (T_i - 1) / 5$ .

3) Вычисляют комплексный показатель физической сложности  $F_i$  каждой темы  $F_i = ((F_{1i}^2 + F_{2i}^2) / 1,38)^{0,5}$ . Коэффициенты в формулах подобраны так, чтобы максимальные значения  $F_{1i}$ ,  $F_{2i}$  и  $F_i$  заполняли интервал  $[0; 1]$ .

Результаты оценки физической сложности тем школьного курса физики представлены в табл. 3.9, в которой указаны: 1) порядковый номер  $i$ -й темы; 2) название входящих в нее тем учебника; 3) класс, в котором изучается рассматриваемый материал; 4) среднее значение физической сложности  $R_i^{\phi}$  рисунков  $i$ -й темы; 5) приведенный показатель сложности рисунков  $F_{1i}$ ; 6) сложность физических понятий, моделей, идей  $T_i$   $i$ -й темы; 7) приведенный показатель сложности физических моделей  $F_{2i}$ ; 8) физическая сложность  $F_i$   $i$ -й темы.

**3.9. Оценка математической сложности тем школьного курса физики.** В основе используемого метода лежит идея о том, что математическая сложность учебного текста достаточно большого объема зависит от числа рисунков, на которых изображены математические абстракции, а также количества и сложности формул. Поэтому нет необходимости детально анализировать текст, подсчитывать количество математических символов, учитывать их сложность и т. д., а достаточно проанализировать формулы и рисунки [37].

Методика оценки математической сложности состоит в следующем:

1. Определяют количество страниц  $N_i$  в  $i$ -й теме и вычисляют отношение  $\eta_i$  объема темы в страницах  $N_i$  к объему учебника  $N_{уч}$  (табл. 3.10). Получающаяся величина  $\eta_i = N_i / N_{уч}$  примерно равна времени изучения каждой темы, если за единицу измерения взять учебный год (9 месяцев).



2. Подсчитывают общее количество формул  $\Phi_i$  в  $i$ -й теме, количество формул  $\Phi_i^m$ , содержащих тригонометрические функции, количество формул  $\Phi_i^n$ , содержащих пределы, производные, дифференциалы и интегралы. Основываясь на полученных результатах, вычисляют приведенный показатель сложности  $M_{1i}$  из интервала  $[0; 1]$ :  $M_{1i} = (\Phi_i + 2\Phi_i^T + 4\Phi_i^I) / 146\eta_i$ .

3. Для каждого  $j$ -го параграфа  $i$ -й темы определяют число рисунков  $R_{ij}^M$ , на которых изображены математические абстракции (координатные оси, вектора, силовые линии, графики). Находят среднее значение  $R_i^M$  для каждой темы и приведенный показатель сложности  $M_{2i}$  из интервала  $[0; 1]$ . Используются формулы:  $M_{2i} = R_i^M / 271,7\eta_i$ . Чтобы  $M_{1i}$ ,  $M_{2i}$  не зависели от объема темы, в правой части в знаменателе дроби присутствует  $\eta_i$ .

Таблица 3.10

Математическая сложность тем школьного курса физики

$i$	Темы школьного курса физики	$N_i$	$\eta_i$	$\Phi_i$	$\Phi_i^m$	$\Phi_i^n$	$R_i^M$	$M_{1i}$	$M_{2i}$	$M_i$	$S_i$
1	Введение. Первоначальные ...	27	0,173	3			0	0,01	0,00	0,01	0,26
2	Взаимодействие тел ...	47	0,301	29			8	0,07	0,10	0,10	0,14
3	Давление твердых тел жидкостей ...	52	0,333	48			1	0,10	0,01	0,08	0,17
4	Работа мощность энергия ...	30	0,192	35			6	0,12	0,11	0,14	0,14
5	Тепловые явления ...	27	0,164	9			1	0,04	0,02	0,04	0,27
6	Изменение агрегатного состояния ...	28	0,170	16			2	0,06	0,04	0,06	0,27
7	Электрические явления ...	72	0,436	59			4	0,09	0,03	0,08	0,32
8	Электромагнитные явления ...	17	0,103	0			2	0,00	0,07	0,06	0,38
9	Световые явления ...	21	0,127	9			5	0,05	0,14	0,13	0,17
10	Законы взаимодействия и движе ...	82	0,355	97			23	0,19	0,24	0,25	0,31
11	Механич. колебания и волны ...	51	0,221	17			7	0,05	0,12	0,11	0,21
12	Электромагнитное поле ...	52	0,225	3			25	0,01	0,41	0,34	0,54
13	Строение атома и атомного ядра ...	46	0,199	17			0	0,06	0,00	0,05	0,80
14	Кинематика ...	47	0,155	132	9		42	0,66	1,00	1,00	0,93
15	Динамика. Силы в механике ...	55	0,181	142	31		27	0,77	0,55	0,79	0,74
16	Законы сохранения в механике ...	31	0,102	139	5		17	1,00	0,61	0,98	0,91
17	Молекулярная физика ...	45	0,148	78	0		13	0,36	0,32	0,40	0,57
18	Взаимные превращения жидкостей	41	0,135	70	0		8	0,36	0,22	0,35	0,40
19	Электростатика ...	43	0,141	76	5		24	0,42	0,62	0,63	0,75
20	Законы постоянного тока ...	17	0,056	59	0		4	0,72	0,26	0,64	0,73
21	Электрический ток в различных ...	32	0,105	24	0		17	0,16	0,59	0,51	0,75
22	Магнитное поле. Электромагнитная	42	0,138	50	17		25	0,42	0,67	0,65	0,73
23	Механич. колебания и волны ...	41	0,135	74	25	6	17	0,75	0,46	0,74	0,69
24	Электромагнитные колебания ...	65	0,214	122	21	13	12	0,69	0,21	0,60	0,73
25	Световые волны. Излучение и ...	69	0,227	75	14		28	0,31	0,45	0,46	0,56
26	Элементы теории относительности	13	0,043	15	0		5	0,24	0,43	0,41	1,00
27	Квантовая физика ...	74	0,243	49	0		9	0,14	0,14	0,16	0,86

4. Вычисляют комплексный показатель математической сложности  $M_i$  каждой темы по формуле:  $M_i = ((M_{1i}^2 + M_{2i}^2)/1,2)^{0,5}$ . Коэффициенты в формулах подбирают так, чтобы значения  $M_{1i}$ ,  $M_{2i}$  и  $M_i$  заполняли интервал  $[0; 1]$ .

Результаты оценки математической сложности различных тем представлены в табл. 3.10, которая содержит: 1) порядковый номер темы; 2) количество страниц  $N_i$  в  $i$ -й теме; 3) отношение объема  $\eta_i$  темы в страницах  $N_i$  к объему учебника  $N_{уч}$ , пропорциональное времени изучения каждой темы; 4) общее количество формул  $\Phi_i$  в  $i$ -й теме; 5) число формул  $\Phi_i^m$ , содержащих тригонометрические функции; 6) количество формул  $\Phi_i^n$ , содержащих производные и интегралы; 7) число рисунков  $R_i^M$  в теме, на которых изображены математические абстракции; 8) приведенный показатель сложности  $M_{1i}$  формул  $i$ -й темы; 9) приведенный показатель математической сложности  $M_{2i}$ , рассчитанный из числа рисунков, содержащих математические абстракции; 10) математическую сложность темы  $M_i$ ; 11) общую сложность темы  $S_i$ .

**3.10. Общая сложность тем школьного курса физики.** Используя полученные значения физической и математической сложности, для каждой темы определяют общую сложность по формуле:  $S_i = \sqrt{(F_i^2 + M_i^2)/2}$ . Получаемые значения представлены в крайнем правом столбце табл. 3.10. По результатам оценки физической, математической и общей сложности тем школьного курса физики построены гистограммы, изображенные на рис. 3.11 и 3.12.

На рис. 3.13 изображено распределение тем курса физики за 10-й и 11-й классы в пространстве, образованном осями  $F$  и  $M$ . Числа, стоящие рядом с точками, совпадают с номерами тем  $i$  в табл. 3.9 и 3.10. Темы, имеющие невысокую сложность, располагаются вблизи начала координат; наиболее сложным темам соответствуют точки, удаленные от начала координат. Видно, что в школьном курсе отсутствуют темы, для которых физическая и математическая сложности  $F_i$  и  $M_i$  одновременно больше 0,5. Это объясняется тем, что в шко-

ле при изучении сложных явлений квантовой физики ( $F$  велико), используются достаточно простые математические модели ( $M$  мало), а при изучении механики и молекулярной физики ( $F$  мало) – наоборот, сложные ( $M$  велико).

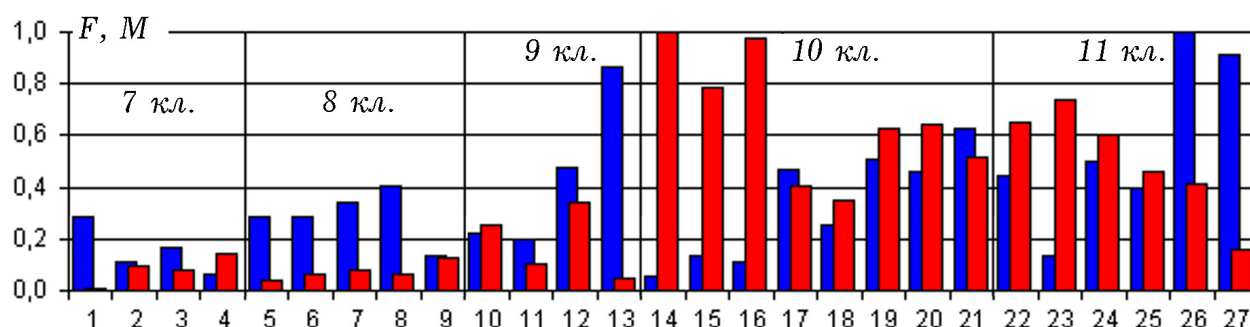


Рис. 3.11. Оценки физической (синий) и математической (красный) сложности различных тем школьного курса физики.

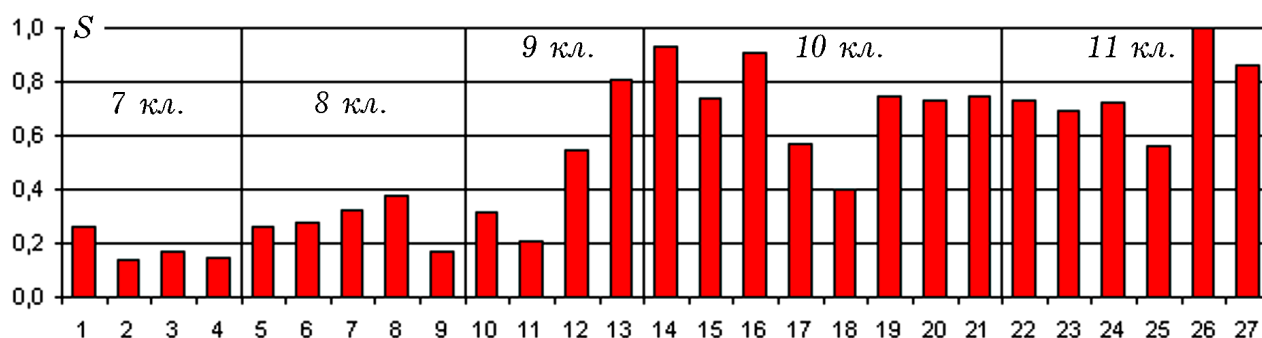


Рис. 3.12. Общая сложность  $S$  различных тем школьного курса физики.

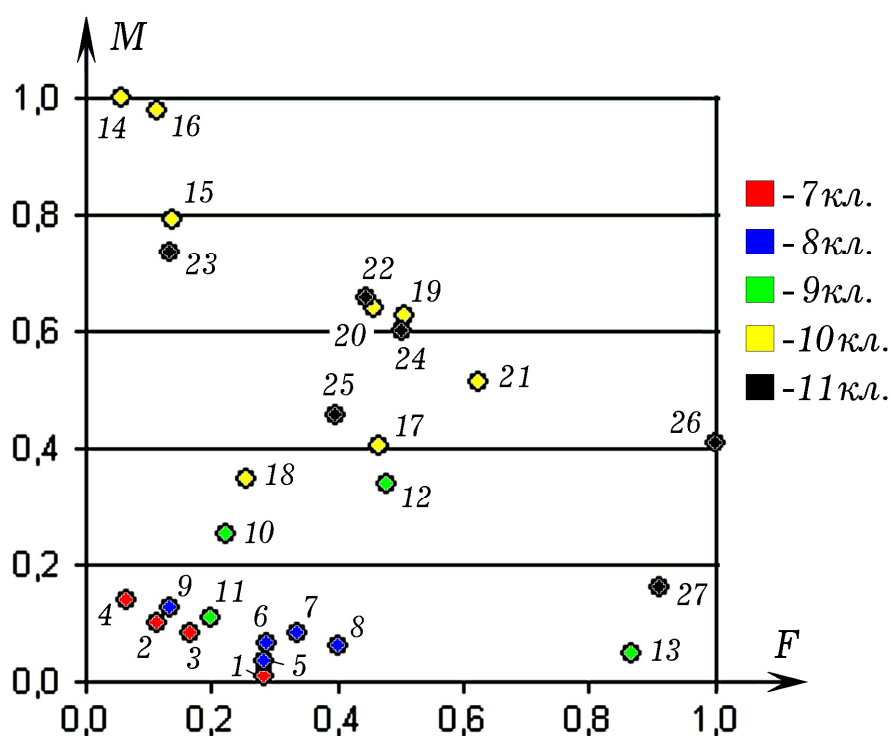


Рис. 3.13. Распределение тем в пространстве признаков «физическая сложность  $F$  – математическая сложность  $M$ ».

Все темы школьного курса физики можно разбить на четыре класса: 1) темы 1, 2, 3, 4 (7-й класс), 5, 6, 7, 8, 9 (8-й класс) и 11 с низкими  $F_i$ ,  $M_i$  и  $S_i$ ; они образуют кластер вблизи начала координат; 2) темы 12, 19, 20, 21, 22, 24, 25 (электродинамика, оптика) и 17 (молекулярная физика) со средними  $F_i$  и  $M_i$ , образующие кластер в центральной части пространства; 3) темы 13, 26, 27 (СТО, физика микромира) с высокими  $F_i$  и низкими  $M_i$ ; 4) темы 14, 15, 16, 23 (механика) с высокими  $M_i$  и низкими  $F_i$ .

Результаты оценки ДС тем школьного курса физики позволяют произвести их сравнительный анализ и классификацию. Понятно, что возможен более детализированный подход, который позволит точнее измерить количественные характеристики текста. Можно предположить, что при этом эксперт столкнется с теми же трудностями, связанными с выбором учитываемых индикаторов, разработкой шкал и критериев, подбором коэффициентов в формулах и т. д.

## Глава 4.

# ОЦЕНКА ДИДАКТИЧЕСКОЙ СЛОЖНОСТИ УЧЕБНИКОВ

Учебник для ученика является важным источником информации, его содержание и структура фактически определяют последовательность изучения различных вопросов соответствующей дисциплины и многими исследователями рассматриваются как модель курса [7, 15]. Необходимо, чтобы изложенный в нем учебный материал и его сложность соответствовали современному содержанию науки и психологическим особенностям развития учащихся, их способностям усваивать и осмысливать получаемые знания. Решение этой проблемы требует разработки эффективного метода оценки уровня сложности учебных текстов, который: 1) не занимает много времени; 2) дает число  $S$  из интервала  $[0; 1]$ ; 3) имеет погрешность 10-20 %.

**4.1. Дидактическая сложность учебника физики.** Сложность учебного текста, как известно, определяется такими факторами, как средняя длина предложений, соотношение конкретных и абстрактных понятий, использование математических выражений и т. д. [6, с. 32–46]. Для большинства школьников, изучающих физику, основную трудность представляет собой не собственно чтение текста, а понимание и усвоение некоторых довольно абстрактных рассуждений о пространстве и времени, веществе и поле, структуре материи, используемых качественных и количественных моделях. Поэтому можно пренебречь лингвистической сложностью, считая, что дидактическая (содержательная) сложность учебника приближенно равна его уровню абстрактности, кото-

рый пропорционален числу и сложности элементов учебного материала, содержащих абстрактную информацию.

Следует различать сложность учебника и количество информации в нем: учебник, имеющий более высокую информативность (за счет большего числа страниц), может оказаться менее сложным. Сложность текста определяется числом и сложностью используемых понятий, математических формул и других элементов знания в пересчете на единицу объема (например, 10000 знаков). При этом понятно, что формулировка определения мгновенного ускорения, в котором используется понятие производной, ощутимо сложнее определения средней скорости  $v = S/t$ , изучаемого в начальной школе. Формула, содержащая тригонометрические функции, логарифмы или интегралы, сложнее формулы, состоящей из такого же количества символов, но требующей выполнения только арифметических операций.

Сложность учебного текста в первую очередь зависит от степени абстрактности изложения изучаемых вопросов, характеризующей степень отвлеченности используемых понятий и проводимых рассуждений. Для оценки сложности учебников используется метод контент-анализа, заключающийся в определении количества слов-маркеров, соответствующих различным характеристикам текста, и их последующей статистической обработке [2]. Учебник физики включает в себя собственно текстовую информацию, рисунки (графическая информация) и формулы. Вместо того, чтобы анализировать весь текст учебника (это достаточно трудоемкая процедура), можно сделать репрезентативную выборку страниц и оценить их среднюю сложность. Результат такой оценки можно распространить на весь учебник, если объем выборки достаточно велик (30–40 страниц из 400).

Будем различать физическую  $F$  и математическую  $M$  сложности учебника. Чтобы оценить физическую сложность, необходимо определить уровень абстрактности используемых физических моделей, степень их оторванности от повседневного жизненного опыта, наличие кажущегося противоречия между теоретическими рассуждениями и “здравым смыслом” или повседневным опы-



том. Математическая сложность текста зависит от количества и сложности используемых формул и рисунков, содержащих математические абстракции.

**4.2. Определение физической сложности учебника.** Под физической сложностью учебника будем понимать величину  $F$ , складывающуюся из сложностей рассмотренных в нем физических объектов, явлений, экспериментов и физических теорий (постулатов, идей, следствий). Физическая сложность учебника оценивается так:

1. Анализируют оглавление  $i$ -го учебника, при необходимости просматривают отдельные главы и оценивают общую сложность изучаемых объектов, явлений, а также физических теорий по шкале 1–2–3–4–5:  $A_i = 1$ , если в учебнике рассмотрены только физические объекты и явления, воспринимаемые органами чувств человека (вода, пружина, секундомер, отражение света), а их объяснения очевидны и не требуют воображения;  $A_i = 3$ , если в учебнике обсуждаются объекты и явления, которые можно пронаблюдать в физической лаборатории (осциллограф, фотоэффект, электролиз) и/или приводятся объяснения, для понимания которых необходимо представлять молекулы, атомы, гравитационные и электромагнитные поля и т. д.;  $A_i = 5$ , если в учебнике рассматриваются эксперименты, невозпроизводимые в условиях обучения (ядерная реакция, ускоритель элементарных частиц) и/или присутствуют рассуждения, противоречащие “здравому смыслу” (корпускулярно-волновой дуализм, относительность одновременности). Значения  $A_i = 2$  и 4 являются промежуточными.

2. Выбирают  $n = 10$ –15 страниц  $i$ -го учебника, которые равномерно распределены по всем тексту (например, если в учебнике 280 страниц, можно выбрать 25, 50, 75, ... 275 страницы). Выбранные, а также две последующие страницы (25–26–27, 50–51–52, ...) подвергают анализу, в ходе которого оценивается уровень физической сложности информации, изложенной на этих трех страницах по той же пятибалльной шкале. В результате для каждой  $j$ -й тройки

страниц ставят оценку  $B_{ij}$  ( $j=1, 2, \dots, n$ ), которую заносят в таблицу, подобную табл. 4.1. Среднее значение  $B_i^{cp}$  для  $i$ -го учебника равно:

$$B_i^{cp} = (B_{i1} + B_{i2} + \dots + B_{in}) / n.$$

3. Вычисляют физическую сложность  $i$ -го учебника по формуле:

$$F_i = 0,25 \frac{A_i - 1}{4} + 0,75 \frac{B_i^{cp} - 1}{3,25}.$$

Коэффициенты подбираются так, чтобы подкорректировать вклад оценок  $A$  и  $B$  в общую оценку физической сложности  $F$ .

**4.3. Определение математической сложности учебника.** Математическая сложность учебника характеризуется сложностью математических моделей, используемых для описания изучаемых явлений и решения физических задач. Косвенно она может быть определена путем подсчета количества формул (с учетом их сложности) и рисунков, на которых изображены математические абстракции (вектора, силовые линии, графики). Математическая сложность учебника определяется следующим образом:

1. Анализируют математические формулы, представленные в  $i$ -м учебнике, и оценивают их общую сложность, соответствующую уровню знаний ученика, который способен понять эти формулы. Используется шестибалльная шкала:  $C_i = 1$  – формулы содержат только арифметические действия;  $C_i = 2$  – в формулах присутствуют квадратные корни и возведение в степень;  $C_i = 3$  – в некоторых формулах имеются тригонометрические функции;  $C_i = 4$  – кроме тригонометрических функций, используются логарифмы и пределы;  $C_i = 5$  – применяются дифференциалы, производные, интегралы, комплексные числа;  $C_i = 6$  – в учебнике используются операторы, содержащие производные (набла, скобки Пуассона и т. д.).

2. Выбирают  $n = 10-15$  страниц  $i$ -го учебника, которые равномерно распределены по всем тексту (25–26–27, 50–51–52 и т.д.), и определяют количест-

во формул  $N_{ij}^{\phi}$ , их сложность  $K_{ij}^{\phi}$  по той же шестибалльной шкале и число рисунков  $N_{ij}^p$ , содержащих математическую информацию (вектора, графики, системы координат). Один рисунок, содержащий математические абстракции, приравнивается к формуле со сложностью 2. Рассчитывают математическую сложность для каждой  $j$ -й тройки страниц, для этого число формул умножают на их сложность, а к результату прибавляют число рисунков, умноженное на весовой коэффициент 2:  $D_{ij} = N_{ij}^{\phi} K_{ij}^{\phi} + 2N_{ij}^p$ . После этого для каждого  $i$ -го учебника рассчитывают среднее значение  $D_i^{cp}$  и среднее число формул  $N_{cp}^{\phi}$  на трех страницах по формулам:

$$D_i^{cp} = (D_{i1} + D_{i2} + \dots + D_{in}) / n, \quad N_{cp}^{\phi} = (N_1^{\phi} + N_2^{\phi} + \dots + N_n^{\phi}) / n.$$

Таблица 4.1

Оценка  $F$  и  $M$  (учебник Физика-11, В. А. Касьянов)

Номера страниц		40-42	80-82	120-122	160-162	200-202	240-242	280-282	320-322	360-362	400-402	Среднее значен.
Физич. сложность текста	$A_j$	2	2	3	4	5	2	2	3	5	5	3,30
Число формул	$N_j^{\phi}$	13	6	12	8	2	12	10	5	4	5	7,70
Сложность формул	$K_j^{\phi}$	2	2	2,5	1	1	2	1,5	2	1,3	1	
Число рисунков с математической информацией	$N_j^p$	0	3	3	1	1	1	0	1	2	0	
Математическая сложность	$D_j$	26	18	36	10	4	26	15	12	9,2	5	16,12

3. Находят комплексный показатель математической сложности учебника:

$$M_i = \frac{1}{4,09} \left( 0,5 \frac{C_i - 1}{5} + \frac{N_i^{\phi}}{11} + 2 \frac{D_i^{cp}}{34} \right).$$

Весовые коэффициенты позволяют подкорректировать вклад оценок  $C_i$ ,  $N_i$  и  $D_i$  в общую оценку  $M_i$ , которая должна заполнять интервал  $[0; 1]$ .

4. Для определения общей сложности учебника используется формула

$$S_i = (F_i^2 / 2 + M_i^2 / 2)^{0,5}.$$

Таблица 4.2

Оценка дидактической сложности различных учебников физики

i	Название учебника	Физическая сложность			Математическая сложность				Сложность
		$A_i$	$B_i^{CP}$	$F_i$	$C_i$	$N_i^{\Phi}$	$D_i^{CP}$	$M_i$	
1	Физика 7 (А.В.Перышкин)	1	1,40	0,09	1	0,40	0,45	0,02	0,07
2	Физика 8 (А.В.Перышкин)	2	1,85	0,26	1	1,90	3,80	0,10	0,20
3	Физика 9 (А.В.Перышкин, Е.М.Гутник)	4	2,67	0,57	3	3,00	6,09	0,20	0,43
4	Физика 10 (Г.Я. Мякишев, Б.Б.Буховцев, Н.Н.Сотский)	4	2,09	0,44	3	12,63	20,20	0,62	0,54
5	Механика 10 Углубл. (М.М.Балашов, А.И.Гомонова и др.)	1	1,42	0,10	4	7,83	22,13	0,57	0,41
6	Физика 10. Молекулярная физика. Термодинамика (Г.Я. Мякишев, А.З.Синяков)	3	2,86	0,55	3	8,00	18,00	0,49	0,52
7	Физика 10-11. Электродинамика (Г.Я. Мякишев, А.З.Синяков, Б.А.Слободсков)	3	2,68	0,51	5	8,82	21,50	0,60	0,56
8	Физика 11. Колебания и волны (Г.Я.Мякишев, А.З.Синяков)	3	2,95	0,58	5	10,10	33,80	0,81	0,70
9	Физика 11. Оптика. Квантовая физика (Г.Я.Мякишев, А.З.Синяков)	5	3,50	0,83	3	3,45	10,50	0,28	0,62
10	Физика 11. (Г.Я.Мякишев, Б.Б.Буховцев, В.М.Чаругин)	5	3,22	0,76	5	1,58	4,50	0,20	0,56
11	Физика 10 (В.А.Касьянов)	4	2,50	0,53	4	7,50	15,48	0,46	0,50
12	Физика 11 (В.А.Касьянов)	5	3,30	0,78	5	7,70	16,12	0,50	0,66
13	Физика (А.А.Пинский, Г.Ю.Граковский)	5	2,96	0,70	4	11,10	26,73	0,70	0,71
14	Физика Т.1. Механика. Молекулярная физика (И.В.Савельев)	4	2,54	0,54	5	10,08	41,10	0,91	0,75
15	Физика Т.2. Электричество и магнетизм. Волны. Оптика (И.В.Савельев)	4	2,92	0,63	6	9,92	45,69	1,00	0,84
16	Физика Т.3. Квантовая оптика. Атомная физика (И.В.Савельев)	5	4,25	1,00	6	10,00	30,50	0,78	0,90

Контент-анализу были подвергнуты следующие учебники: 1) Физика-7 (А. В. Перышкин, 1999); 2) Физика-8 (А. В. Перышкин, 2000); 3) Физика-9 (А. В. Перышкин, Е. М. Гутник, 2003); 4) Физика-10 (Г. Я. Мякишев, Б. Б. Буховцев, Н. Н. Сотский, 2004); 5) Механика-10 (М. М. Балашов, А. И. Гомонова и др., 2002); 6) Физика-10: Молекулярная физика. Термодинамика (Г. Я. Мякишев, А. З. Синяков, 2002); 7) Физика-10: Физика. Электродинамика (Г. Я. Мякишев, А. З. Синяков, Б. А. Слободсков, 2002); 8) Физика-11: Колебания и волны (Г. Я. Мякишев, А. З. Синяков, 2010); 9) Физика-11: Оптика. Квантовая физика (Г. Я. Мякишев, А. З. Синяков, 2013); 10) Физика-11 (Г. Я. Мякишев,

Б. Б. Буховцев, В. М. Чаругин, 2008); 11) Физика-10 (В. А. Касьянов, 2003); 12) Физика-11 (В. А. Касьянов, 2004); 13) Физика (А. А. Пинский, Г. Ю. Граковский, 2008); 14) Курс физики. Т.1. Механика, молекулярная физика (И. В. Савельев, 1989); 15) Курс общей физики. Т.2. Электричество и магнетизм. Волны. Оптика (И. В. Савельев, 1988); 16) Курс физики. Т.3. Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц (И. В. Савельев, 1987).

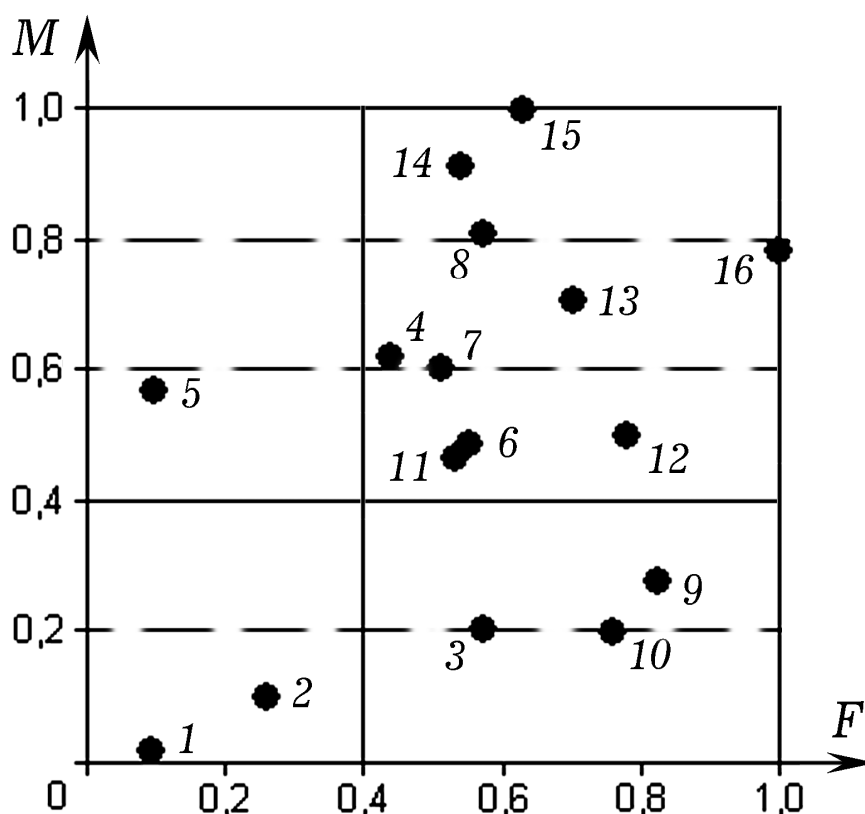


Рис. 4.1. Распределение учебников в пространстве признаков «физическая сложность – математическая сложность».

**4.4. Результаты оценки сложности учебников.** Результаты вычислений комплексных показателей физической  $F$  и математической  $M$  сложности учебников физики представлены в таблице 4.2. Общая сложность  $S$  приведена в правом столбце. На рис. 4.1 изображено распределение учебников в пространстве, образованном осями  $F$  и  $M$ . Числа, стоящие рядом с точками, совпадают с номерами  $i$  учебников в таблице 4.2. Видно, что наибольшую сложность имеет вузовский учебник по квантовой физике (16), а наименьшую – учебники физики за 7-й класс (1) и за 8-й класс (2). Последние два учебника (1,

2), учебник физики (3) за 9-й класс и учебники (10, 9) за 11-й класс имеют математическую сложность  $M$  меньше 0,4. Учебники (10, 9, 3) имеют физическую сложность более 0,4, в то время как их математическая сложность достаточно низка (0,2 – 0,3). Учебник для 10-го класса (5) по механике имеет невысокую физическую сложность (0,10), но достаточно высокую математическую сложность (0,57). В нем рассматриваются механические явления, большинство из которых можно пронаблюдать в повседневной жизни, но при этом используются достаточно сложные математические модели. Учебники для школ (4, 6, 7, 8, 11, 12, 13), а также учебники для вузов (14, 15, 16) имеют физическую и математическую сложности более 0,4.

Рассмотренный выше метод позволяет достаточно быстро “измерить” сложности  $F$  и  $M$  различных учебников физики и принять решение о том, какой из учебников целесообразнее использовать в той или иной ситуации. При этом не учитывается содержательная сторона учебных текстов, правильность логических выводов, методическая обоснованность рассуждений, так как изначально предполагается, что анализируемый учебник соответствует всем стандартным требованиям, предъявляемым к такого рода изданиям.

**4.5. Другой подход к оценке дидактической сложности учебников физики.** Как уже отмечалось, изучение физики требует от школьников и студентов способности мыслить абстрактно. Даже рассмотрение механических и тепловых явлений предполагает использование идеализированных моделей (материальная точка, идеальный газ) и разнообразных математических абстракций (система отсчета, вектора и их проекции, формулы, графики и т. д.). Знакомясь с основами электродинамики, оптики, атомной и ядерной физики, школьники представляют в своем воображении различные объекты (электромагнитные волны, атомы, элементарные частицы) и явления (фотоэффект, ядерная реакция), для наблюдения которых требуется специальное оборудование, так как они не воспринимаются органами чувств.



Сложность учебника определяется числом и сложностью используемых понятий, математических формул и других элементов знания в пересчете на единицу объема текста. Можно выделить следующие две составляющие дидактической сложности учебника физики: 1) терминологическая сложность текста  $ST$ , зависящая от разнообразия и абстрактности используемых научных понятий; 2) математическая сложность  $SM$ , характеризующая разнообразие математических моделей. Терминологическая сложность фактически показывает сложность качественных моделей, используемых в учебнике.

В настоящей работе были проанализированы учебники: 1) Физика-7 (А. В. Перышкин, 2003); 2) Физика-8 (А. В. Перышкин, 2002); 3) Физика-9 (А. В. Перышкин, Е. М. Гутник, 2005); 4) Физика-10 (Г. Я. Мякишев, Б. Б. Буховцев, Н. Н. Сотский, 2004); 5) Физика-11 (Г. Я. Мякишев, Б. Б. Буховцев, 2003). Будем их обозначать Ф-7, Ф-8 ... Ф-11 соответственно. Представленный в них материал состоит из 27 тем. Для каждой  $i$ -й темы было вычислено отношение  $\eta_i$  объема темы  $N_i$  в страницах к объему учебника  $N_{уч}$ . Величина  $\eta_i = N_i / N_{уч}$  пропорциональна времени изучения каждой темы [31, 37].

Математическая сложность текста зависит от количества и сложности используемых формул и рисунков, содержащих математические абстракции, в пересчете на единицу объема. С целью ее определения для каждой  $i$ -й темы было подсчитано: 1) общее количество формул; 2) количество формул, содержащих тригонометрические функции и логарифмы; 3) количество формул, содержащих пределы, производные, дифференциалы и интегралы; 4) число рисунков, на которых изображены математические абстракции (координатные оси, вектора, силовые линии, графики). Это позволило рассчитать комплексный показатель математической сложности темы:  $M_i = ((M_{1i}^2 + M_{2i}^2)/1,2)^{0,5}$ , где  $M_{1i}$  и  $M_{2i}$  – приведенные показатели сложности, учитывающие формулы и рисунки соответственно [37]. Зная математическую сложность каждой  $i$ -й темы и ее долю  $\eta_i$  в учебнике, можно определить математическую сложность учебни-

ка:  $SM = \eta_1 M_1 + \eta_2 M_2 + \dots + \eta_{27} M_{27}$ . После нормирования получается  $SM_7 = 0,13$ ,  $SM_8 = 0,11$ ,  $SM_9 = 0,30$ ,  $SM_{10} = 1$ ,  $SM_{11} = 0,72$  (табл. 4.3).

Терминологическая сложность  $ST$  пропорциональна сумме сложностей  $s_j$  ( $j=1, 2, \dots, N_{\text{пон}}$ ) всех используемых в тексте понятий. Если в тексте отсутствуют научные термины, то  $ST = 0$ . Чем больше количество терминов в пересчете на единицу объема и чем выше их сложность, тем больше терминологическая сложность текста. Для оценки  $ST$  из каждого учебника физики были сделаны случайные выборки фрагментов текста объемом 1700–3700 слов (всего 5 выборок). Для этого сканировались случайные страницы учебников, а получающиеся графические файлы обрабатывались программой для распознавания текстов, которая создавала файлы `vhod*.txt`. Эти файлы конвертировались в кодировку DOS, в них исправлялись ошибки распознавания, а все буквы переводились в один регистр.

В результате анализа файлов `vhod*.txt` был составлен словарь-тезаурус, состоящий из нескольких текстовых файлов, содержащих списки физических, математических, химических, биологических и общенаучных терминов, встречающихся в анализируемых фрагментах текста с указанием степени их абстрактности  $s$  по шкале 1–2–3–4–5. Чтобы оценить абстрактность понятия, учитывалась степень его оторванности от повседневного опыта школьника. При этом принималось во внимание: 1) возможность восприятия объекта органами чувств; 2) изменение объекта с течением времени; 3) количество степеней свободы; 4) пространственная протяженность объекта; 5) наличие структуры; 6) соответствие поведения объекта “здоровому смыслу”. Понятия “движение”, “воздух”, “свет” используются в повседневной жизни и имеют сложность  $s = 1$ . Научные термины, представленные в физическом, химическом или ином энциклопедическом словаре, но не используемые в повседневной жизни, имеют сложность  $s = 2, 3, 4, 5$ . Наибольшую сложность имеют понятия с  $s = 5$ : “ядро”, “мюон”, “изотоп”, “стационарное состояние”. Словарь содержит общие части однокоренных терминов без окончаний (например, слова “деформация”, “де-

формировать”, “деформированный” – общая часть “деформ”), позволяющих отличить данный термин от других. Один из файлов словаря включает в себя список понятий, состоящих из двух слов: “красная граница”, “правило Ленца”, “период полураспада” и т. д.

Для проведения контент-анализа входного файла использовалась специальная компьютерная программа, подобная *Analyzer.pas* (п. 1.7). Она, обращаясь к словарю, анализировала текст в файле *vhod\*.txt*, и подсчитывала общее количество научных понятий  $N_{пон}$  в тексте, их суммарную сложность  $S_{sum}$  и количество сложных понятий  $N_{S>1}$  с  $s_j > 1$  ( $j = 1, 2, \dots, N_{пон}$ ). При этом создавался профиль текста, состоящий из матрицы наиболее часто встречающихся слов и их частот, а из исходного текста удалялись учтенные понятия. Результаты записывались в файл *vhod1.txt*, который при необходимости снова подвергался анализу. Удобно использовать несколько словарей, что позволит сначала подсчитать и удалить из текста двойные термины, после этого длинные термины (из пяти и более букв), затем короткие термины типа “пар”, “вода” и т. д. Чтобы избежать ошибок, программа учитывает, что в тексте перед некоторыми терминами имеются пробелы; такие термины в словаре представлены в виде “\_пар”, “\_вода”. Для нахождения суммарного числа слов  $N_{сл}$  в тексте нужно общее количество символов разделить на 6,3 (средняя длина слова).

Результаты оценки физической и математической сложности различных тем приведены в табл. 4.3, в которой для каждого ученика указано: 1) количество слов  $N_{сл}$  в текстовой выборке; 2) суммарная сложность  $S_{sum} = s_1 + s_2 + \dots$  всех понятий в текстовой выборке; 3) количество понятий  $N_{пон}$ ; 4) количество понятий  $N_{S>1}$ , сложность которых больше 1; 5) средняя сложность текста  $S_{cp} = S_{sum} / (5 N_{сл})$  из интервала  $[0;1]$ , равная отношению суммарной сложности всех понятий к общему количеству слов в тексте, деленная на 5; 6) доля понятий  $D = N_{пон} / N_{сл}$ , то есть отношение количества всех научных понятий к общему количеству слов в тексте; 7) доля сложных понятий  $D_{S>1} = N_{S>1} / N_{сл}$ ,

равная отношению числа сложных понятий с  $s_j = 2, 3, 4, 5$  к общему количеству слов; 8) средняя сложность текста, учитывающая только сложные понятия с  $s_j > 1$ :  $ST_{S>1} = (S_{sum} - N_{non}) / (4N_{cl})$ ; 9) средняя сложность сложных понятий  $S_{S>1} = (S_{sum} - N_{non}) / (4N_{S>1})$ , равная отношению суммы сложностей всех понятий с  $s_j > 1$  к их количеству, деленная на 4; 10) терминологическая сложность текста  $ST$ ; 11) математическая сложность текста  $SM$ ; 12) дидактическая сложность текста  $DS$ . Так как у самых простых понятий  $s_j = 1$ , то разность  $S_{sum} - N_{non}$  пропорциональна суммарной сложности всех терминов с  $s_j > 1$ .

Из таблицы видно, что доля понятий  $D$  для различных учебников находится в узком интервале 0,32-0,38, в то время как доля сложных понятий  $D_{S>1}$  изменяется в 1,7 раза от 0,148 до 0,254. Наилучшей характеристикой терминологической сложности учебников является величина  $ST_{S>1}$ , которая изменяется в 2,64 раза от 0,039 до 0,103. Средняя сложность  $ST_{S>1}$  понятий с  $s > 1$  в 7–9-м классах возрастает, затем резко падает, возрастая в 10–11-м классах. Это вызвано тем, что школьный курс физики состоит из двух циклов: сначала в 7–9-м классах изучаются все разделы (механика, теплота, электродинамика, оптика, атомная физика) в порядке возрастания сложности, а в 10–11-м классах эти же разделы изучаются на более высоком теоретическом уровне. Нормированная терминологическая сложность  $i$ -го учебника равна  $ST_i = ST_{S>1,i} / 0,103$ . Получается:  $ST_7 = 0,38$ ,  $ST_8 = 0,51$ ,  $ST_9 = 0,65$ ,  $ST_{10} = 0,52$ ,  $ST_{11} = 1$ .

Таблица 4.3

Результаты оценки сложности учебников физики

Учеб.	$N_{cl}$	$S_{sum}$	$N_{non}$	$N_{S>1}$	$S_{cp}$	$D$	$D_{S>1}$	$ST_{S>1}$	$S_{S>1}$	$ST$	$SM$	$DS$
Ф - 7	3691	1765	1188	547	0,096	0,322	0,148	0,039	0,264	0,379	0,127	0,282
Ф - 8	3680	2091	1332	654	0,114	0,362	0,178	0,052	0,290	0,505	0,110	0,365
Ф - 9	3674	2175	1187	687	0,118	0,323	0,187	0,067	0,360	0,650	0,299	0,506
Ф -10	3956	2290	1429	717	0,116	0,361	0,181	0,054	0,300	0,524	1,000	0,798
Ф -11	3717	2955	1423	944	0,159	0,383	0,254	0,103	0,406	1,000	0,716	0,870

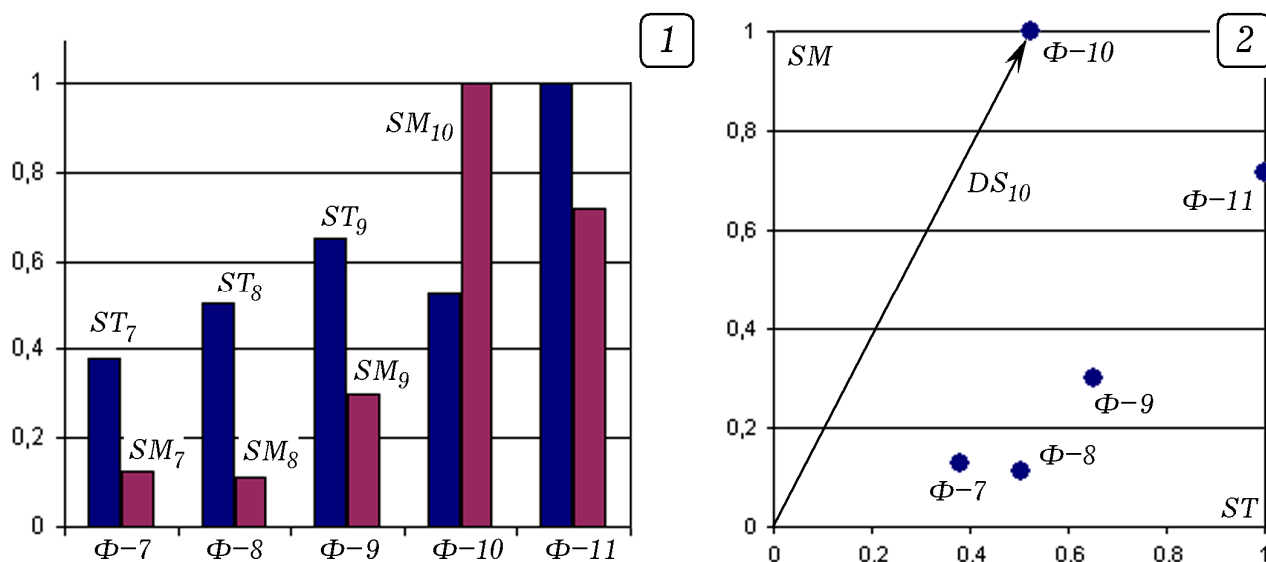


Рис. 4.2. Результаты оценки дидактической сложности учебников физики.

На основе этих данных построена гистограмма (рис. 4.2.1), из которой видно, что учебники Φ-7 и Φ-8 имеют низкую математическую сложность  $SM$ , а учебник Φ-10 – самую высокую. Это объясняется использованием математических моделей при изучении механических и тепловых явлений в 10-м классе. Для учебника Φ-10  $SM$  почти в 2 раза превосходит  $ST$ , а для других учебников  $SM < ST$ . Наибольшую терминологическую сложность  $ST$  имеет учебник Φ-11, что обусловлено изучением электромагнитных колебаний и волн, явлений волновой оптики и квантовой физики. С ростом номера класса терминологическая сложность в среднем растет, но при переходе от первой ступени (7–9-й классы) ко второй ступени (10–11-й классы) снижается.

Полученные результаты позволяют оценить дидактическую сложность учебников физики за 7–11-й классы (0,28; 0,37; 0,51; 0,80; 0,87) и проанализировать их распределение в пространстве признаков “терминологическая сложность  $ST$  – математическая сложность  $SM$ ”. Дидактическая сложность  $i$ -го учебника пропорциональна длине вектора, соединяющего начало координат с  $i$ -й точкой:  $DS_i = (ST_i^2 / 2 + SM_i^2 / 2)^{0,5}$  (табл. 4.3). Степень различия между двумя учебниками определяется расстоянием между соответствующими им точками в пространстве признаков  $ST$  и  $SM$ .

**4.6. Оценка терминологической и математической сложности учебников природоведения и физики.** Рассмотрим еще один подход к оценке дидактической сложности ДС учебников физики, природоведения и определению количества информации КИ. Проанализируем следующие школьные учебники: 1) Природоведение-5 (В. М. Пакулова, Н. В. Иванова, 2010); 2) Физика-7 (А. В. Перышкин, 2003); 3) Физика-8 (А. В. Перышкин, 2002); 4) Физика-9 (А. В. Перышкин, Е. М. Гутник, 2005); 5) Физика-10 (Г. Я. Мякишев, Б. Б. Буховцев, Н. Н. Сотский, 2004); 6) Физика-11 (Г. Я. Мякишев, Б. Б. Буховцев, 2003). Представленные в учебнике рассуждения можно разделить на качественные и количественные; они могут быть охарактеризованы терминологической и математической сложностями  $ТС$  и  $МС$ . Для оценки  $ТС$  из каждого учебника были сделаны случайные выборки фрагментов текста объемом 1800-4000 слов (всего 6 выборок). В результате получились файлы `vhod*.txt`, был создан словарь-тезаурус, содержащий список научных терминов, встречающихся в анализируемых фрагментах текста с указанием степени их абстрактности  $s_i$  по пятибалльной шкале (п. 4.5).

Специальная программа (подобная `Analizer.pas`), обращаясь к словарю, анализировала текст в файле `vhod*.txt`, и подсчитывала общее количество научных понятий в тексте, их суммарную сложность и количество сложных понятий  $n_{S>1}$  с  $s_i > 1$ . С целью определения математической сложности  $МС$  для каждой темы было подсчитано: 1) общее количество формул; 2) количество формул, содержащих тригонометрические функции и логарифмы; 3) количество формул, содержащих пределы, производные, дифференциалы и интегралы; 4) число рисунков, на которых изображены математические абстракции (координатные оси, вектора, силовые линии, графики и т. д.).

Результаты контент-анализа учебников представлены в табл. 4.4. Средняя по всем терминам выборки сложность терминов равна отношению суммарной сложности терминов в выборке к их количеству (принимает значения от 0,2 до 1):  $ТС^{cp} = (S_1 + S_2) / (5(n_1 + n_2))$ , где  $S_1$  и  $S_2$  – сумма сложностей одинарных и



двойных терминов в выборке,  $n_1$  и  $n_2$  – их количество. Средняя сложность выборки находится как отношение суммы сложностей всех терминов в выборке к общему числу слов  $N_B$  в выборке:  $TCB^{cp} = (S_1 + S_2)/(5N_B)$ . Она может быть принята за терминологическую сложность текста. Вероятность (или частота) использования сложных терминов с  $s > 1$  равна:  $p_{s>1} = n_{s>1} / N_B$ . Еще одним показателем является средняя по тексту сложность терминов с  $s_i > 1$  или плотность терминологической сложности, которая зависит от доли сложных терминов в тексте (или вероятности их использования) и их сложности. Она равна отношению суммарной сложности терминов с  $s_i > 1$  к числу слов в выборке  $N_B$  (сложность, приходящаяся на 1 слово текста):

$$\rho_T = TCB_{s>1}^{cp} = (S_1 + S_2 - n_{s=1})/(5N_B),$$

где  $n_{s=1}$  – число терминов с  $s_i = 1$  в текстовой выборке.

Интегральные характеристики показывают информативность и сложность всего учебника. Интегральная терминологическая сложность учебника равна сумме сложностей всех используемых в нем терминов:

$$ИТС = N_{yч} \cdot TCB = (S_1 + S_2)N_{yч} / (5N_B),$$

где  $N_{yч}$  – число слов в учебнике. Она учитывает трудности, возникающие при чтении и усвоении терминов с  $s_i = 1, 2 \dots 5$  и находится в интервале от 0 до 1. Интегральная сложность понимания текста учебника считается равной общему количеству сложных терминов, у которых  $s_i > 1$  (табл. 4.4):

$$ИСП = \rho_T N_{yч} = (S_1 + S_2 - n_{s=1})N_{yч} / (5N_B).$$

Если ученик не испытывает трудностей с чтением и пониманием простых терминов с  $s_i = 1$ , то трудность усвоения всей информации в учебнике пропорциональна  $ИСП$ . Трудозатраты ученика, требуемые для его прочтения (без формул), равны сумме сложностей всех понятий с  $s_i > 1$  и слов, не являющихся научными терминами (их сложность будем считать равной  $s_i = 0,5$ ):

$$TЗ = \frac{S_1 + S_2}{5 \cdot N_B} N_{yч} + \frac{N_B - n_1 - n_2}{5 \cdot 2 \cdot N_B} N_{yч}.$$

Таблица 4.4

Результаты контент-анализа учебников

ХАРАКТЕРИСТИКИ	Природ.5	Физика 7	Физика 8	Физика 9	Физика10	Физика11
Число слов в учебнике $N_{уч}$	22800	22620	23925	39270	66555	65055
Число слов в выборке $N_B$	1872	3691	4031	3701	3956	3964
Число одиночных терминов в выборке $n_1$	456	1119	1316	1086	1292	1274
Суммарн. сложность од. терминов $S_1$	521	1643	2042	1998	2125	2601
Число двойных терминов в выборке $n_2$	0	24	29	31	21	72
Суммарн. сложность дв. терминов $S_2$	0	68	108	119	69	263
Число терминов в выборке $n$	456	1143	1345	1117	1313	1346
Число терминов $S>1$ в выборке $n_{S>1}$	65	511	645	621	698	865
Число терминов $S=1$ в выборке $n_{S=1}$	391	632	700	496	615	481
Число терминов $S>1$ в учебнике $n'_{S>1}$	792	3132	3828	6589	11743	14196
Число терминов $S=1$ в учебнике $n'_{S=1}$	4762	3873	4155	5263	10347	7894
Число нетерминов в учебнике $n_0$	17246	15615	15942	27418	44465	42965
Плотность терминологич. сложности $P_T$	0,014	0,058	0,072	0,088	0,080	0,120
Средн. по терминам сложность $TC$	0,229	0,299	0,320	0,379	0,334	0,426
Интегральная сложность понимания $ИСП$	317	1323	1721	3440	5313	7822
Трудозатраты ученика $TЗ$	2994	3659	4146	7234	11829	13697
Терминологич. сложность выборки $ТСВ$	0,056	0,093	0,107	0,114	0,111	0,145
Вероятность терминов с $S>1$ $p_{S>1}$	0,035	0,138	0,160	0,168	0,176	0,218
Число формул в учебнике $n_\Phi$	0	115	93	134	720	385
Число формул с тригоном. функциями $n_{\Phi T}$	0	0	0	0	50	77
Число формул с производными $n_{\Pi P}$	0	0	0	0	0	19
Число рис. с математ. абстракциями $n_P$	3	15	14	55	152	96
Среднее число букв в формуле $b$	3,0	3,0	3,3	3,7	4,0	5,0
Сложность математ. рассуждений $c$	1,0	1,0	1,5	2,0	3,0	2,5
Интегр. математическая сложность $ИМС$	3,6	225,0	301,4	727,0	6211,2	4183,0
Плотность математич. сложности $\rho_M$	0,0002	0,0099	0,0126	0,0185	0,0933	0,0643
Дидактическая сложность учебника $ДС_1$	320	1548	2023	4167	11524	12005
Дидактическая сложность учебника $ДС_2$	2997	3884	4448	7961	18040	17880
Кол-во информации в учебнике $КИ$	5554	7350	8290	12348	24970	24015

Интегральная математическая сложность учебника может быть рассчитана так:  $ИМС = c(3bn_\Phi + 4bn_{\Phi T} + 5bn_{\Pi P} + 6n_P)/5$ , где  $n_\Phi$  – число формул,  $n_{\Phi T}$  – число формул с тригонометрическими функциями,  $n_{\Pi P}$  – число формул, содержащих пределы, производные и интегралы,  $n_P$  – число рисунков с математическими абстракциями,  $b$  – среднее количество букв в формуле,  $c$  – коэффициент, учитывающий сложность математических рассуждений. При этом принимается во внимание, что каждый входящий в формулу символ обозначает некоторую физическую величину, то есть является научным термином со сложностью  $s_i = 3$  (“скорость”, “плотность”),  $s_i = 4$  (“синус”, “тангенс”) или  $s_i = 5$  (“предел”, “производная”).

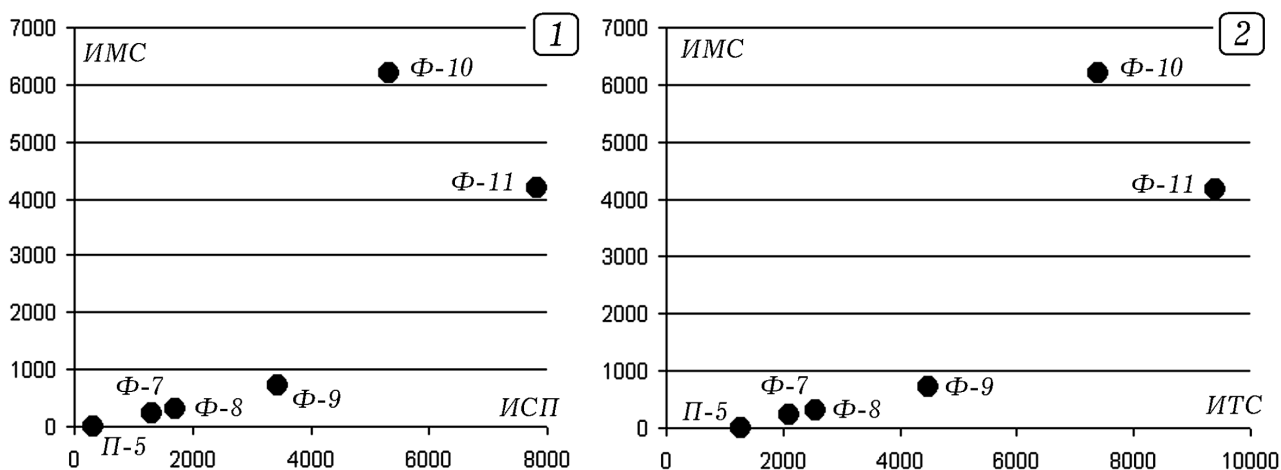


Рис. 4.3. Распределение учебников в пространстве: “ИСП – ИТС – ИМС”.

Объемная плотность математической сложности – отношение общей математической сложности текста к его объему (числу слов)  $\rho_M = ИМС / N_{уч}$ . Общее количество информации в учебнике равно суммарному числу используемых в тексте и формулах понятий:

$$КИ = (n_1 + n_2)N_{уч} / N_B + n_\phi b.$$

Дидактические сложности  $ДС_1$  и  $ДС_2$  учебников вычисляются так:

$$ДС_1 = ИСП + ИМС, \quad ДС_2 = ТЗ + ИМС.$$

Все величины в этих формулах измеряются в одинаковых единицах измерения – в понятиях, сложность которых  $s_i = 1$ .

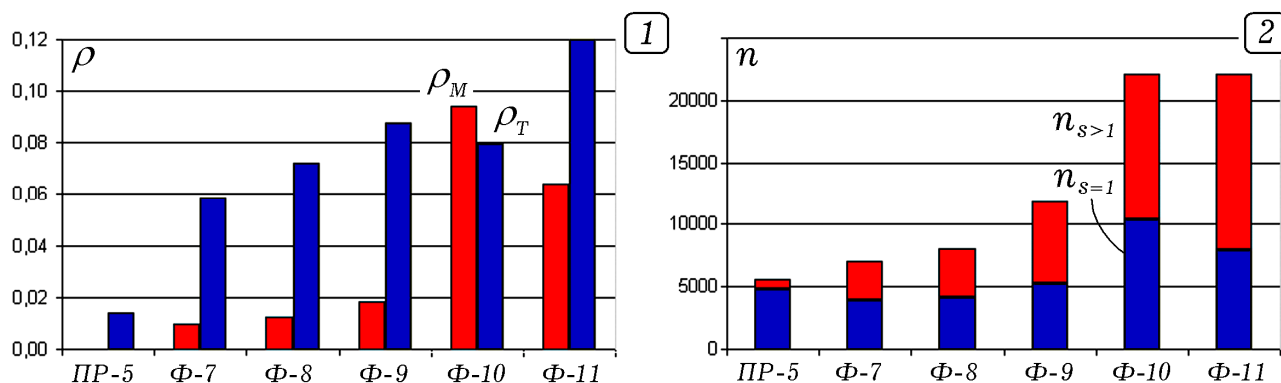


Рис. 4.4. Плотности  $\rho_M$ ,  $\rho_T$  и количества терминов  $n_{s=1}$ ,  $n_{s>1}$  в учебниках.

На основе полученных данных (табл. 4.4) построены: 1) распределение учебников в пространстве признаков “сложность понимания ИСП – математическая сложность ИМС” (рис. 4.3.1); 2) распределение учебников в

пространстве признаков “терминологическая сложность  $ИТС$  – математическая сложность  $ИМС$ ” (рис. 4.3.2); 3) гистограмма распределения объемной плотности терминологической и математической сложности по учебникам (рис. 4.4.1); 4) гистограмма общего числа простых и сложных терминов в учебниках (рис. 4.4.2). Из рис. 4.3 видно, что учебник природоведения за 5-й класс имеет минимальную сложность понимания  $ИСП$ , низкую терминологическую сложность  $ИТС$ , а его математическая сложность  $ИМС = 0$ . Степень различия между двумя учебниками определяется расстоянием между соответствующими им точками в пространстве признаков  $ИСП$  и  $ИМС$ . В учебниках П-5, Ф-7, Ф-8, Ф-9 плотности терминологической и математической сложности  $\rho_T$  и  $\rho_M$  монотонно возрастают (рис. 4.4.1). После 9-го класса при переходе от изучения курса физики первой ступени (7–9-й классы) ко второй (10–11-й классы) ученики повторно рассматривают все разделы физики на более высоком уровне. Из-за использования математических моделей при изучении механики, молекулярной физики и термодинамики в 10-м классе  $\rho_{M10}$  примерно в 1,5 раза выше, чем  $\rho_{M11}$  и примерно в 5 раз превосходит  $\rho_{M9}$ , а  $\rho_{T10}$  немного меньше чем  $\rho_{T9}$ . Наибольшую плотность терминологической сложности  $\rho_T$  имеет учебник Ф-11, что обусловлено изучением электромагнитных колебаний и волн, явлений волновой оптики и квантовой физики. При переходе к старшим классам количество и доля сложных терминов в учебнике возрастают (рис. 4.4.2).

Предлагаемая методика и результаты оценки дидактической сложности учебников могут быть использованы: 1) для сравнения различных учебников, тем и дисциплин с точки зрения их сложности усвоения учениками; 2) для выявления закономерностей распределения различных видов информации и совершенствования учебников; 3) для математического и компьютерного моделирования процесса обучения. Так как учебные тексты по физике сильно отличаются по количеству терминологической и математической информации, то эти две характеристики должны учитываться при классификации параграфов и тем. Результаты подобной экспертизы могут быть приняты во внимание при реше-

нии различных проблем дидактики, написании учебников нового поколения, в работе учителей и методистов.

**4.7. Определение дидактической сложности учебников методом парных сравнений.** Известные методы автоматической оценки сложности текста [19, 24, 44, 51] заключаются в подсчете используемых терминов и учете степени их абстрактности. Использование этих методов для анализа текстов 10–20 учебников по различным предметам, – очень трудоемкая задача, которую решить не так просто. Для оценки ДС  $S$  учебных текстов можно использовать метод парных сравнений, который состоит в попарном сопоставлении оцениваемых объектов и математической обработке получающейся таблицы оценок. С его помощью можно оценить 20–30 различных учебников и расположить их в порядке увеличения их ДС или степени абстрактности.

Изучение основ естественных наук предполагает построение и анализ качественных и количественных моделей рассматриваемых явлений природы, решение задач, выполнение практических заданий и т. д. Поэтому логично предположить, что абстрактность (а значит, и дидактическая сложность) изучаемых в школе вопросов определяется: 1) разнообразием и абстрактностью качественных объяснений и их оторванностью от повседневной жизни (характеристика  $A$ ); 2) сложностью математических методов и моделей, разнообразием решаемых количественных задач (характеристика  $B$ ).

Основы естественных наук представлены в следующих школьных дисциплинах: окружающий мир (3–4-й классы), природоведение (5-й класс), география (6–8-й классы), биология (6–11-й классы), экология (10–11-й классы), физика (7–11-й классы) и химия (8–11-й классы). Исключим из рассмотрения начальную школу (1–4-й классы), в которой дети только учатся читать и у них формируются лишь приблизительные представления о некоторых явлениях окружающего мира, и ограничимся рассмотрением обучения в 5–11-м классах. В учебниках географии для 9-го и 10-го классов изучаются социально-экономические процессы, поэтому они не рассматриваются.

Таблица 4.5

Наиболее сложные вопросы, представленные в учебниках

География 8-й класс	Рельеф. Геологическое строение. Минеральные ресурсы. Климат. Водные ресурсы, почва, растительный и животный мир. Природа регионов России.
Физика 7-й класс	Молекулярное строение вещества. Механическое движение. Взаимодействие тел. Законы сохранения. Гидростатика. Механические колебания и волны.
Физика 8-й класс	Движение и взаимодействие молекул. Тепловые явления. Электрическое и магнитное поля. Цепи постоянного тока. Световые явления.
Физика 9-й класс	Опыты Фарадея. Электромагнитные колебания и волны. Квантовые явления, поглощение и испускание света атомами. Строение ядра, ядерные реакции.
Физика 10-й класс	Ускоренное движение. Законы динамики. Основы МКТ. Электрическое и магнитное поля. Проводимость металлов, электролитов, полупроводников и газов; р-п-переход.
Физика 11-й класс	Электромагнитная индукция, механические и электромагнитные колебания и волны, волновая оптика, СТО, световые кванты, атомная и ядерная физика.
Химия 8-й класс	Атомы и молекулы. Количество вещества. Периодический закон Менделеева. Строение ядра и электронных оболочек атомов. Химическая реакция. Ионы.
Химия 9-й класс	Строение внешних энергетических уровней атомов. Расщепление энергетических уровней при взаимодействии атомов. Образование энергетических зон.
Химия 10-й класс	Строение атомов, энергетические уровни. Электронные оболочки. Энтальпия, энтальпийная диаграмма. Водородный показатель.
Химия 11-й класс	Энергетическая диаграмма. Гидрирование этилена. Ароматичность. Карбоксильная группа. Молекула инсулина. Белковые структуры, молекулы ДНК, РНК.
Биология 7-й класс	Простейшие многоклеточные. Беспозвоночные и позвоночные животные. Строение организмов. Развитие, эволюция. Биоценозы.
Биология 8-й класс	Клетка, ее строение. Деление клетки. Строение организма человека. Кровеносная система. Нервная система. Высшая нервная деятельность.
Биология 9-й класс	Организм человека. Нервная система, питание, дыхание, кровеносная система. Размножение. Опорно-двигательная система. Психология и поведение.
Биология 10-й класс	Клетка. Нуклеиновые кислоты. Генетический код. Деление клеток. Хромосомная теория наследственности. Возникновение жизни. Законы Менделя.
Биология 11-й класс	Учение об эволюции. Развитие жизни на Земле. Антропогенез. Основы экологии. Эволюция биосферы. Ноосфера.
Экология 9-й класс	Экология организмов, популяций, сообществ. Биосфера. Глобальная и социальная экология.
Экология 10–11-й классы	Геоэкология. Экология города. Промышленная и сельскохозяйственная экология. Радиоэкология.



Для оценки ДС различных естественно-научных дисциплин нами были проанализированы следующие учебники (приложение 6): Биология-7 (В. В. Латушин, В. А. Шапкин, 2009), Биология-8 (Д. В. Колесов, Р. Д. Маш, И. Н. Беляев, 2005), Биология-9 (С. Г. Мамонтов, В. Б. Захаров, 2004), Биология-10 (С. Г. Мамонтов, В. Б. Захаров, Н. И. Сонин, 2006), Биология-11 (С. Г. Мамонтов, В. Б. Захаров, Н. И. Сонин, 2006), География-6 (Т. П. Герасимова, Н. П. Неклюкова, 2010), География-7 (В. А. Коринская, И. В. Душина, В. А. Щенев, 2013), География-8 (И. И. Баринова, 2010), Природоведение-5 (В. М. Пакулова, Н. В. Иванова, 2010), Физика-7 (А. В. Перышкин, 2003), Физика-8 (А. В. Перышкин, 2009), Физика-9 (А. В. Перышкин, Е. М. Гутник, 2005), Физика-10 (Г. Я. Мякишев, Б. Б. Буховцев, Н. Н. Сотский, 2007), Физика-11 (Г. Я. Мякишев, Б. Б. Буховцев, 2003), Химия-8 (Л. С. Гузей, В. В. Сорокин, Р. П. Суровцева, 2003), Химия-9 (Л. С. Гузей, В. В. Сорокин, Р. П. Суровцева, 2003), Химия-10 (Л. С. Гузей, Р. П. Суровцева, 2002), Химия-11 (Л. С. Гузей, Р. П. Суровцева, Г. Г. Лысова, 2008), Экология-9 (С. В. Алексеев, 1998), Экология-10–11 (С. В. Алексеев, 1997).

Известно, что изучение природоведения и географии в 4–6-м классах предполагает обсуждение сравнительно простых объектов, многие из которых (или подобные которым) встречаются в жизни каждого человека (реки, горы, различные растения, животные, насекомые). При рассмотрении каких-либо воображаемых объектов (ядро Земли, клетка растения) глубина теоретического изучения не велика. В то же время освоение курсов физики и химии в 9–11-м классах требует от школьников использования воображения и абстрактного мышления.

**4.8. Оценка абстрактности качественных рассуждений и сложности математических моделей.** Сложность или абстрактность качественных рассуждений  $A$  учебного текста пропорциональна степени оторванности обсуждаемых вопросов от повседневной жизни школьника. К самому низкому уровню

абстракции относится конкретная вещь, воспринимаемая органами чувств (данное растение, именно этот амперметр, конкретная пробирка с реактивом). Более высоким уровнем абстракции является понятие родовой сущности вещи (“серная кислота вообще”, “любой металл”, “каждое дерево”). Самый высокий уровень соответствует идеализированным моделям (капельная модель ядра, электронная орбиталь, модель молекулы глюкозы) или объектах (фотон, атом, ген, хромосома), которые школьник не может пронаблюдать в повседневной жизни или физической лаборатории. Проблема оценки абстрактности понятий обсуждалась в главе 2.

С целью определения абстрактности качественных рассуждений  $A$  был проведен анализ школьных учебников. Эксперт просматривал учебник, обращая внимание на названия тем и параграфов, рисунки, определения и формулировки законов и выявляя наиболее сложные вопросы (табл. 4.5). Учебники попарно сопоставлялись друг с другом, результат сравнения выражался в проставлении оценки  $-1$ ,  $0$  и  $1$  в соответствующую ячейку таблицы Excel (табл. 4.6). Оценка  $1$  (или  $-1$ ) на пересечении  $i$ -й строки и  $j$ -го столбца означает, что количество оцениваемого качества  $A$  в  $i$ -м учебнике заметно больше (или меньше), чем в  $j$ -м. Если количество-качество  $A$  в обоих учебниках примерно одинаковы, то ставится оценка  $0$ . После заполнения всей таблицы вычислялось значение  $A'_i$  для  $i$ -го учебника; для этого из суммы оценок  $i$ -й строки вычиталась сумма значений  $i$ -го столбца. Результаты проведенного автором попарного сравнения учебников по степени абстрактности качественных объяснений и оторванности моделей от повседневной жизни представлены в табл. 4.6. Нормированная оценка  $A_i$  определялась так:  $A_i = (A'_i + 33) / 71$ .

Другой составляющей ДС учебника является характеристика  $B$  – сложность и разнообразие используемых математических моделей. Математическая сложность учебного текста зависит от сложности и разнообразия формул, рисунков, содержащих математические абстракции, решаемых задач и уровня знаний математики, требуемого для понимания материала. Учебник физики за

9-й класс, в котором используются только арифметические операции, в этом смысле заметно проще учебника физики за 11-й класс, для понимания которого необходимо знать тригонометрические формулы, логарифмы и производные. Оценка сложности и разнообразия используемых математических моделей (характеристика  $B$ ) осуществлялась с помощью аналогичной таблицы Excel (табл. 4.7). Нормированные значения характеристик  $A$  и  $B$  представлены на рис. 4.5.1; значения  $A$  и  $B$  слабо зависят друг от друга, коэффициент корреляции между ними, найденный в программе Excel, составляет 0,51.

Таблица 4.6

Результаты парного сравнения учебников по характеристике  $A$

Учебник	Ф7	Ф8	Ф9	Ф10	Ф11	Х8	Х9	Х10	Х11	Б6	Б7	Б8	Б9	Б10	Б11	Г6	Г7	Г8	П5	Э9	Э10-11	A'
Физика 7 кл.	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0	-1	-1	-1	1	0	0	1	0	0	-18
Физика 8 кл.	1	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	-5
Физика 9 кл.	1	1	0	-1	-1	0	-1	-1	-1	1	0	0	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	2
Физика 10 кл.	1	1	1	0	-1	1	0	-1	-1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	21
Физика 11 кл.	1	1	1	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	28
Химия 8 кл.	1	0	0	-1	1	0	-1	-1	-1	1	1	1	0	-1	-1	1	1	1	1	1	1	9
Химия 9 кл.	1	1	1	1	0	1	0	0	-1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	25
Химия 10 кл.	1	1	1	1	0	1	0	0	-1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	30
Химия 11 кл.	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	38
Биология 6 кл.	0	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	-1	-1	-1	-1	-1	1	0	-1	0	-1	0	-27
Биология 7 кл.	0	0	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	0	-1	-1	-1	-1	1	1	0	1	-1	0	-15
Биология 8 кл.	0	0	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	0	-1	-1	-1	0	0	0	-1	0	1	-13
Биология 9 кл.	1	1	1	-1	-1	0	0	-1	-1	1	1	1	0	-1	-1	1	1	1	1	1	1	12
Биология 10 кл.	1	1	1	0	0	1	0	0	-1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	28
Биология 11 кл.	1	1	1	0	0	1	0	-1	-1	1	1	1	1	-1	0	1	1	1	1	1	1	22
География 6 кл.	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	-1	0	-1	-1	-1	0	-1	-1	0	-1	0	-33
География 7 кл.	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0	-1	-1	-1	1	0	-1	1	0	0	-21
География 8 кл.	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	0	0	-1	-1	-1	1	1	0	1	0	0	-14
Природовед. 5 кл.	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	-1	-1	-1	-1	-1	0	-1	-1	0	1	-1	-31
Экология 9 кл.	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	0	-1	-1	-1	1	0	0	0	0	0	-17
Экология 10-11 кл.	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0	-1	-1	-1	0	0	0	1	0	0	-21

**4.9. Распределение учебников в пространстве признаков.** Так как связь между признаками  $A$  и  $B$  слабая, то можно приближенно считать их независимыми; тогда нормированная сложность  $i$ -го учебника равна  $S_i = (k_1 A_i^2 + k_2 B_i^2)^{1/2}$ , где  $k_1 = k_2 = 1/2$ . Погрешность оценки измеряемого качества  $S_i$  в этом случае складывается из погрешности выбранной модели, погрешностей весовых коэффициентов  $k_1$ ,  $k_2$  и погрешности оценки характеристик  $A_i$  и  $B_i$ . При оценке плохо формализуемого качества, когда его элементарные составляющие  $A_i$  и  $B_i$  определяются не очень точно, не имеет смысла выбирать более сложную математическую модель, так как ее невозможно обос-

новать. Рассмотренный метод оценки дидактической сложности является эвристическим, а критерием его правильности служит соответствие получающихся результатов педагогическому опыту.

Таблица 4.7

Результаты парного сравнения учебников по характеристике  $B$

Учебник	Ф7	Ф8	Ф9	Ф10	Ф11	Х8	Х9	Х10	Х11	Б6	Б7	Б8	Б9	Б10	Б11	Г6	Г7	Г8	П5	Э9	Э10-11	В'
Физика 7 кл.	0	-1	-1	-1	-1	0	0	-1	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12
Физика 8 кл.	1	0	-1	-1	-1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	22
Физика 9 кл.	1	1	0	-1	-1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	28
Физика 10 кл.	1	1	1	0	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	36
Физика 11 кл.	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	40
Химия 8 кл.	0	-1	-1	-1	-1	0	0	-1	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12
Химия 9 кл.	0	0	-1	-1	-1	0	0	0	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	16
Химия 10 кл.	1	0	0	-1	-1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	24
Химия 11 кл.	1	0	0	-1	-1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	26
Биология 6 кл.	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0	0	0	-1	-1	0	0	0	0	-23
Биология 7 кл.	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0	0	0	-1	-1	0	0	0	0	-23
Биология 8 кл.	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0	0	0	-1	-1	0	0	0	0	-22
Биология 9 кл.	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0	0	0	-1	-1	0	0	0	0	-22
Биология 10 кл.	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0	0	0	-1	-1	0	0	0	0	-22
Биология 11 кл.	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0	0	0	-1	-1	0	0	0	0	-22
География 6 кл.	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1
География 7 кл.	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0
География 8 кл.	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	0	0	0	0	-1	0	0	0	1	1	-13
Природовед. 5 кл.	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0	0	0	-1	-1	0	0	1	1	-20
Экология 9 кл.	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0	0	0	-1	-1	-1	0	0	0	-25
Экология 10-11 кл.	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0	0	0	-1	-1	-1	0	0	0	-25

На рис. 4.5.1 представлен список учебников, расположенных в порядке возрастания их дидактической сложности  $S$ . Результаты оценки сложности качественных и количественных моделей позволяют проанализировать распределение учебников в двумерном пространстве признаков, образованном взаимно перпендикулярными осями  $A$  и  $B$ . Результаты приведены на рис. 4.5.2; каждая  $i$ -я точка с координатами  $(A_i; B_i)$  соответствует  $i$ -му учебнику. При этом дидактическая сложность  $i$ -го учебника пропорциональна длине отрезка, соединяющего  $i$ -ю точку с началом координат  $O$ : чем больше  $S_i$ , тем сильнее она удалена от  $O$ . Степень различия между двумя учебниками определяется расстоянием между соответствующими им точками в пространстве признаков  $A$  и  $B$ . Например, учебник географии за 8-й класс в этом смысле ближе к учебнику биологии за 8-й класс ( $l_1 = 0,14$ ), чем к учебнику химии за 8-й класс ( $l_2 = 0,50$ ).

Из рис. 4.5.2 видно, что все учебники можно разделить на следующие группы: 1) учебники географии, природоведения, экологии и биологии за 6–8-й классы, имеющие низкую сложность (ДС меньше 0,3); 2) учебники биологии за

9–11-й классы с высокой сложностью качественных рассуждений  $A$  и низкой сложностью математических моделей  $B$ ; 3) учебники физики и химии за 9–11-й классы, имеющие высокие значения показателей  $A$  и  $B$  ( $S$  больше 0,65). Учебники за различные классы, соответствующие одной дисциплине, соединены линиями со стрелками. Видно, что дидактическая сложность учебников по мере увеличения номера класса изменяется так: 1) у учебников биологии ДС возрастает за счет увеличения  $A$ ; 2) у учебников физики и химии растут обе характеристики  $A$  и  $B$ . У учебников природоведения, географии и экологии ДС сравнительно не высока. Учебники физики превосходят учебники химии за те же классы по характеристике  $B$ , но “проигрывают” по характеристике  $A$ . На рис. 4.5.2 штриховкой выделена область пространства  $A - B$ , соответствующая учебникам алгебры и геометрии, которые имеют высокую сложность математических моделей, но практически не содержат качественных моделей природных явлений.

Учебник	код	A	B	S
Природовед. 5 кл.	П5	0,028	0,077	0,058
Биология 6 кл.	Б6	0,085	0,031	0,064
Экология 10-11 кл.	Э10-11	0,169	0,000	0,120
Экология 9 кл.	Э9	0,225	0,000	0,159
Биология 7 кл.	Б7	0,254	0,031	0,181
Биология 8 кл.	Б8	0,282	0,046	0,202
География 8 кл.	Г8	0,268	0,185	0,230
География 6 кл.	Г6	0,000	0,400	0,283
География 7 кл.	Г7	0,169	0,385	0,297
Физика 7 кл.	Ф7	0,211	0,569	0,429
Биология 9 кл.	Б9	0,634	0,046	0,449
Биология 11 кл.	Б11	0,775	0,046	0,549
Химия 8 кл.	Х8	0,592	0,569	0,580
Физика 8 кл.	Ф8	0,394	0,723	0,582
Биология 10 кл.	Б10	0,859	0,046	0,608
Физика 9 кл.	Ф9	0,493	0,815	0,674
Химия 9 кл.	Х9	0,817	0,631	0,730
Химия 10 кл.	Х10	0,887	0,754	0,823
Физика 10 кл.	Ф10	0,761	0,938	0,854
Химия 11 кл.	Х11	1,000	0,785	0,899
Физика 11 кл.	Ф11	0,859	1,000	0,932

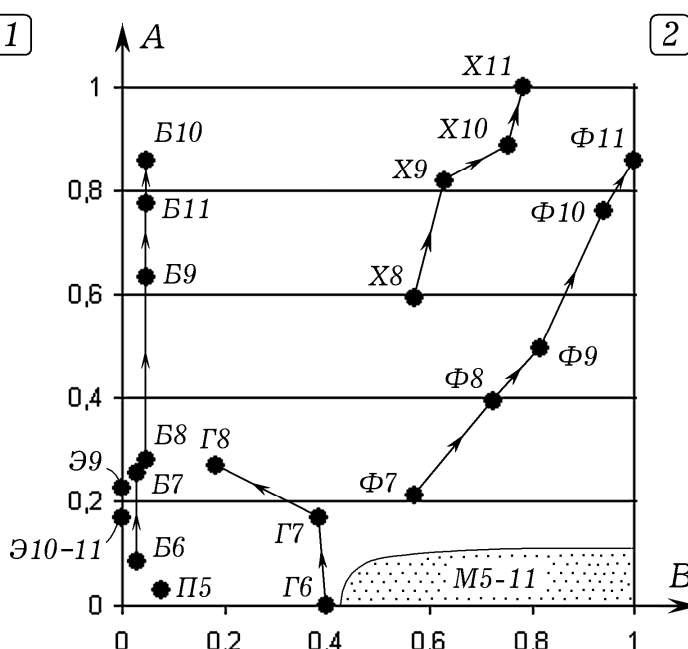


Рис. 4.5. Результаты сравнения учебников по характеристикам  $A$  и  $B$ .

Итак, в результате попарного сравнения учебников по природоведению, географии, биологии, физике, химии, экологии для каждого учебника была определена степень сложности качественных и количественных моделей, что позволило проанализировать их распределение в этом пространстве признаков.

## Заключение

Для ученика учебник является важным источником информации, а для учителя – моделью преподавания соответствующей дисциплины. Представленный в нем учебный материал, его сложность и уровень абстрактности должны соответствовать современному содержанию науки и психологическим особенностям развития учащихся, их способности усваивать и осмысливать получаемые знания. Поэтому проблема оценки дидактической сложности и информативности учебных текстов имеет практическое значение.

При изучении тела сложной формы его фотографируют с разных сторон, получая проекции на различные плоскости, а при решении сложной проблемы используют различные подходы (методы), которые не противоречат, а дополняют друг друга. Контент-анализ учебника с целью оценки его дидактических характеристик представляет собой задачу с большим числом неизвестных и высокой степенью неопределенности, которая имеет несколько способов решения. Его проведение предполагает удачный выбор индикаторов того или иного вида информации, подбор коэффициентов, различных показателей и т. д.

Понятно, что решение не может быть проще проблемы, а “измерения” характеристик сложной системы всегда имеют погрешности. Если несколько независимых исследователей проводят контент-анализ одной и той же совокупности текстов, то они за счет различного выбора индикаторов, математических моделей оценок и входящих в них коэффициентов, а также погрешностей счета получают, строго говоря, различные результаты. Это вызвано тем, что результаты каждой экспертизы включают в себя объективную составляющую и погрешности, обусловленные недостатками данного подхода и субъективностью конкретного эксперта.

При правильном использовании методики контент-анализа объективная составляющая получающихся результатов будет превалировать над погрешно-



стями конкретного метода. В этом случае результаты, полученные различными экспертами, будут соответствовать друг другу, так как они отражают объективную сторону изучаемых фактов и закономерностей. Если речь идет об оценке совокупности объектов (понятий, тем, учебников и т. д.), то следует говорить о высокой корреляции между ними.

В настоящей монографии представлены результаты контент-анализа более 25 учебников. При этом различными методами оценивались количество информации, дидактическая сложность понятий и текстов, количество эмпирических, теоретических и математических знаний, терминологическая сложность и т. д. Были решены следующие задачи:

1. Введены понятия “дидактический объект”, “дидактическая сложность”, “информативность учебного материала”. Обсуждаются методы измерения объема информации в тексте, количества общенаучной, математической, физической и иной информации, количества эмпирической и теоретической информации, сложность учебного текста. Единицей измерения информативности и сложности является одно упоминание самого простого научного термина.

2. Осуществлена оценка сложности около 70 дидактических объектов (понятий, законов) методом карточек и методом попарных сравнений. Определена дидактическая сложность понятий, обозначающих объекты, законы, величины, эксперименты, приборы и устройства. Предложены критерии оценки сложности (абстрактности) понятий.

3. Произведена оценка дидактической сложности и информативности различных тем школьного курса физики (всего 30 тем). Определено количество эмпирических, теоретических (качественных) и “формульных” знаний. Для каждой темы найдена физическая и математическая сложности, получено распределение тем в пространстве признаков “физическая сложность  $F$  – математическая сложность  $M$ ”.

4. Предложен метод определения физической и математической сложности учебника, произведена оценка 16 учебников для школы и вуза. Получено их распределение в пространстве признаков “физическая сложность  $F$  – математическая сложность  $M$ ”. Разными методами оценена терминологическая и ма-

тематическая сложности учебников, найдены интегральная сложность понимания, плотность математической сложности и т. д.

5. Произведена оценка дидактической сложности 20 школьных учебников по естественно-научным дисциплинам путем определения абстрактности качественных рассуждений и сложности математических моделей методом парных сравнений.

При этом было установлено следующее:

1. Возможно создание шкалы абстрактности, позволяющей разделить учебные понятия на 5-6 категорий в зависимости от их сложности. С ее помощью можно оценить дидактическую сложность текста.

2. С целью оценки информативности и дидактической сложности различных тем и учебников может быть использована компьютерная программа, подсчитывающая количество терминов в текстовой выборке и учитывающая их сложность. При этом должен использоваться словарь-тезаурус, содержащий список научных терминов с указанием их сложности.

3. Учебные тексты по физике сильно отличаются по терминологической и математической сложности (качественной и математической информации), поэтому эти две характеристики должны учитываться при классификации параграфов и тем.

Полученные результаты позволяют:

1. Определить информативность и сложность различных параграфов, тем, учебников, провести их сравнительный анализ. Все это может быть учтено при написании учебников нового поколения, а также в работе учителей.

2. Установить закономерности распределения учебного материала, зависимость скорости поступления учебной информации от времени, что позволит создать реалистичную компьютерную модель обучения.

3. Зная соотношение между количествами эмпирической, теоретической и математической информации спрогнозировать, какие учащиеся будут лучше усваивать тот или иной материал.

## Приложение 1

Ниже представлена программа Analyzer.pas, написанная в среде Free Pascal. Она и аналогичные ей программы применялись для контент-анализа учебных текстов.

```
uses crt; const N=424; chislo_strok=80; var aa:string;
Vh,F,Sl: text; k,i,j,ii: integer; SE,ST,SN,SM,S_mat,SSL,
SUM,dlina,flag,km,max,dd: integer; s,a,ET,slovo: array[0..450]
of string; chislo,Slogn: array[0..450]of integer;
mat_sim,re: array[1..5]of integer;
Procedure Formuli; begin mat_sim[1]:=168; mat_sim[2]:=0;
mat_sim[3]:=9; mat_sim[4]:=0; mat_sim[5]:=0; end;
Procedure Podschet; begin
For i:=1 to N do If (chislo[i]>0)and(ET[i]='Э') then begin
SE:=SE+chislo[i]; SSL:=SSL+chislo[i]*Slogn[i]; end; delay(50);
write(F,'Эмпирические ', SE,' ',SSL/SE); writeln(F,' '); SSL:=0;
For i:=1 to N do If (chislo[i]>0)and(ET[i]='Т') then begin
ST:=ST+chislo[i]; SSL:=SSL+chislo[i]*Slogn[i]; end; delay(50);
write(F,'Теоретические ', ST,' ',SSL/ST); writeln(F,' '); SSL:=0;
For i:=1 to N do If (chislo[i]>0)and(ET[i]='М') then begin
SM:=SM+chislo[i]; SSL:=SSL+chislo[i]*Slogn[i]; end; delay(50);
write(F,'Математические (текст) ', SM,' ',SSL/SM); writeln(F,' ');
Formuli; S_mat:=0; For i:=1 to 5 do begin
SSL:=SSL+i*mat_sim[i]; S_mat:=S_mat+mat_sim[i]; end; Write
(F,'Математические с формулами ', SM+S_mat,' ', SSL/(SM+S_mat));
SSL:=0; For i:=1 to N do If (chislo[i]>0)and(ET[i]='Н') then begin
SN:=SN+chislo[i]; SSL:=SSL+chislo[i]*Slogn[i];end; writeln(F,' ');
write(F,'Общенаучные ', SN,' ',SSL/(SN+0.001)); writeln(F,' ');
write(F,'Сумма букв ',SUM,' слов ',SUM/6.3+S_mat); writeln(F,' ');
write(F,'Доля терминов ', (SE+ST+SM+S_mat+SN)/(SUM/6.3+S_mat));
writeln(F,' '); end;
Procedure Volume;
begin For i:=1 to chislo_strok do SUM:=SUM+length(a[i]); end;
Procedure Profil; begin For i:=1 to N do if (chislo[i]>max) then
begin max:=chislo[i]; km:=i; end; For i:=1 to N do If chislo[i]>4
then begin write(F,s[i],', ',chislo[i]); writeln(F,' '); end; end;
Procedure Slov;
begin Assign(Sl,'C:\slovar.txt'); Reset(Sl);
For ii:=1 to N do begin Readln(Sl,s[ii]); end;
For ii:=1 to N do ET[ii]:=copy(s[ii],length(s[ii])-1,1);
For ii:=1 to N do Val(copy(s[ii],length(s[ii]),1),Slogn[ii],dd);
For ii:=1 to N do begin j:=0; Repeat inc(j);
until copy(s[ii],j,1)=' ';
s[ii]:=copy(s[ii],1,j-1); end; end;
BEGIN Slov; Assign(Vh,'C:\vhod1.txt'); Reset(Vh);
Assign(F,'C:\vihod1.txt'); Rewrite(F);
For k:=1 to chislo_strok do begin Readln(Vh,a[k]); end; Volume;
```

```

For k:=1 to chislo_strok do begin writeln(a[k], ' ', k); end;
For k:=1 to chislo_strok do begin For i:=1 to N do begin dli-
na:=length(s[i]);
Repeat flag:=0; For j:=1 to length(a[k]) do If
s[i]=copy(a[k], j, dlna) then begin flag:=1; inc(chislo[i]);
aa:=copy(a[k], 1, j-1)+copy(a[k], j+dlna, length(a[k])-j-dlna+1);
a[k]:=aa; {writeln(aa, ' ', flag);} end; until flag=0; {wri-
teln(a[k]);} end; end;
For i:=1 to N do If chislo[i]>0 then begin
write(s[i], '=', chislo[i]); writeln; delay(50); end;
{For i:=1 to N do If chislo[i]>0 then writeln(F, s[i], ' ', chis-
lo[i]);} For k:=1 to chislo_strok do begin
write(F, a[k], ' ', k); writeln(F, ' ');
delay(50); end; Podschet; Profil;
Repeat until KeyPressed; Close(Vh); Close(F); Close(Sl); END.

```

## Приложение 2

Таблица 5.1

Результаты предварительной оценки характеристики С

i	название	СЛОЖНОСТЬ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО ОБЪЯСНЕНИЯ ПРИНЦИПА ДЕЙСТВИЯ																											C			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27				
1	Линейка	0																											0	26	0	
2	Весы	1	0																										1	22	0,098	
3	Динамометр	1	0	0																									1	22	0,098	
4	Ареометр	1	1	1	0																								3	17	0,235	
5	Секундомер, часы	1	1	1	1	0																							4	8	0,431	
6	Термометр	1	0	0	-1	-1	0																						-1	20	0,098	
7	Насос	1	0	0	-1	-1	0	0																					-1	20	0,098	
8	Барометр-анер.	1	1	1	0	-1	1	1	0																				4	16	0,275	
9	Холодильник	1	1	1	1	0	1	1	1	0																			7	3	0,588	
10	ДВС	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0																		7	-1	0,667	
11	Психрометр	1	1	1	1	0	1	1	0	-1	-1	0																	4	12	0,353	
12	Лупа	1	1	1	1	0	1	1	0	-1	-1	0	0																4	14	0,314	
13	Телескоп	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0															10	7	0,569	
14	Спектрометр	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-1	0	1	1	0														10	7	0,569	
15	Диффр. решетка	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0													13	0	0,765	
16	Интерфер. Майк.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0													15	-8	0,961	
17	Эл.генератор	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1	0	-1	0											10	-1	0,725	
18	Конденсатор	1	1	1	0	-1	1	1	0	-1	-1	0	0	-1	-1	-1	-1	0											-3	9	0,275	
19	Трансформатор	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	-1	0	1	0									9	1	0,667	
20	ПП диод	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	-1	0	1	0	0								9	-2	0,725	
21	Эл лампа-диод	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	-1	-1	-1	1	-1	-1	0							6	3	0,569	
22	Эл.луч.трубка	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0						17	0	0,843	
23	Радиоприемник	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0					21	-4	1	
24	Счетчик Гейгера	1	1	1	1	1	1	1	1	0	-1	0	1	0	0	-1	-1	0	1	0	-1	0	-1	-1	-1	0			4	3	0,529	
25	Циклотрон	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	-1	0	1	0	-1	0	0	-1	1	0			11	1	0,706	
26	Масс-спектрогр.	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	-1	0	1	0	-1	0	0	-1	1	0	0		11	1	0,706	
27	Ядерн. реактор	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	-1	1	1	1	0	20	0	0,902
		26	22	22	17	8	20	20	16	3	-1	12	14	7	7	0	-8	-1	9	1	-2	3	0	-4	3	1	1	0				

## Приложение 3

Таблица 5.2

Дидактическая сложность естественно-научных понятий

	математика	химия	физика	биология	география
1	слова, используемые в повседневной жизни				
2	сложение,	вещество, раст-	газ, жидкость,	скелет, цветок,	море, гора, река,
	вычитание,	вор, смесь, го-	кристалл, вода,	лошадь, муха,	материк, зем-
	умножение,	рение, фильтро-	молния, масса,	растение, живот-	летрясение,
	деление,	вание, выпари-	пружина, весы,	ное, почва, пти-	вулкан, облака,
3	окружность	вание	секундомер	ца, гусеница	песок, глина
	целая степень,	химич. реакция,	электрич. поле,	мозг, желудок,	полюс, экватор,
	корень, функция,	индикатор,	магнитное поле,	легкие, артерия,	широта, долгота,
	график, вектор,	химич. элемент,	напряженность,	рефлекс, мышле-	меридиан, па-
4	прямая пропор-	валентность,	энергия, колич.	ние, пищевари-	раллель, конти-
	циональность	электролиз	теплоты, ЭДС	тельная система	нет, муссон
	синус, аркоси-	валентные элек-	молекула, атом,	клетка, амeba,	полярный пояс,
	нус, нецелая	троны, моль,	полупроводники,	ядро клетки,	тропик, озоно-
5	степень, сумма	основание, мо-	электрон, дырка,	деление клетки,	вый слой, ядро
	векторов, квад-	лекулы $H_2O$ , $KCl$ ,	ЭМ волна, интен-	эритроциты,	Земли, магнито-
	ратн. уравнение	$H_2SO_4$ , $NaOH$ ,	сивность	бактерия	сфера
	производная,	бензольное коль-	ядро атома,	ДНК, РНК, хро-	
6	интеграл, логарифм,	цо, молекулы ри-	протон, нуклон,	мосома, кодон,	
	скалярн. произведение	бозы, глюкозы,	античастицы,	естеств. отбор,	
	векторов	жира, белка, ал-	кварки, мезон,	эволюция, ген,	
		кана, фенола	гамма-кванты	автотрофы	
7	оператор набла,	молекулы ДНК,	волновая функ-		
	тензор, функци-	РНК, нуклеотида,	ция, уравнение		
	онал, вариация,	аминокислоты	Шредингера, ор-		
	частная произ-		битальное кван-		
8	водная		товое число		

## Приложение 4

### Оценка сложности физических законов, принципов, постулатов

1. **Закон Гука:** При упругих деформациях тела сила упругости прямо пропорциональна величине его деформации. **Опыт:** растягивают пружину, измеряют силу упругости и удлинение пружины. **Деформация:** изменение формы и размеров тела. **Упругие деформации:** после снятия нагрузки тело принимает исходные форму и размеры. **Сила упругости:** сила, возникающая при деформации тела. **Прямая пропорциональность:** во сколько раз увеличивается аргумент, во столько же раз увеличивается функция. (Сложность понятий, выделенных жирным курсивом, не учитывалась; сложность текста 53)

2. **Закон Кулона:** Сила электростатического взаимодействия между двумя точечными зарядами прямо пропорциональна произведению зарядов и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними. **Опыт:** если эбонитовую палочку потереть о мех, а затем ею коснуться металлических шариков, то шарики будут отталкиваться. **Прямая пропорциональ-**



**ность:** во сколько раз увеличивается аргумент, во столько же раз увеличивается функция. **Обратная пропорциональность:** во сколько раз увеличивается аргумент, во столько же раз уменьшается функция. **Точечные заряды:** заряженные тела, размеры которых много меньше расстояния между ними. (Сложность текста 90)

3. **Закон преломления света:** Отношение синуса угла падения к синусу угла преломления для данных двух сред – величина постоянная. Луч падающий, перпендикуляр к границе двух сред, восстановленный в точке падения, и луч преломленный лежат в одной плоскости. **Опыт:** на границу “воздух-стекло” направляют луч света и измеряют угол падения и угол преломления. **Отношение:** результат деления. **Углы падения и преломления:** углы между лучами и перпендикуляром к границе раздела сред. **Синус угла:** отношение стороны прямоугольного треугольника, противолежащей данному углу, к гипотенузе. **Гипотенуза:** сторона, противолежащая прямому углу. (Сложность текста 106)

4. **Второй закон Ньютона:** Ускорение тела прямо пропорционально векторной сумме действующих сил и обратно пропорционально его массе. **Опыт:** на тележку действует сила, ее величина измеряется с помощью динамометра; измеряют изменение скорости за заданное время и вычисляют ускорение. **Ускорение:** изменение скорости, деленное на соответствующий промежуток времени. **Прямая пропорциональность:** во сколько раз увеличивается аргумент, во столько же раз увеличивается функция. **Обратная пропорциональность:** во сколько раз увеличивается аргумент, во столько же раз уменьшается функция. (Сложность текста 79)

5. **Третий закон Ньютона:** Две материальные точки взаимодействуют друг с другом с силами, направленными вдоль одной прямой, равными по модулю и противоположными по направлению. **Опыт:** с помощью динамометров измеряют силы, с которыми два магнита притягиваются друг к другу. **Материальные точки:** тела, размеры которых много меньше расстояния между ними. **Модуль силы:** длина вектора силы, ее числовое значение. (Сложность текста 58)

6. **Первый закон термодинамики:** Количество теплоты, переданное системе, идет на увеличение ее внутренней энергии и совершение этой системой работы. **Опыт:** возьмем наполненный газом сосуд с поршнем и будем его нагревать, измеряя передаваемое количество теплоты, изменение температуры и совершаемую газом работу. **Работа газа:** произведение силы давления на перемещение поршня и косинус угла между этими векторами. **Внутренняя энергия:** сумма кинетической и потенциальной энергий молекул. **Кинетическая энергия:** масса умножить на квадрат скорости и делить на два. **Потенциальная энергия:** энергия взаимодействия молекул. **Молекула:** мельчайшая частица вещества. (Сложность текста 101)

7. **Закон Ома для участка цепи:** Сила тока прямо пропорциональна напряжению на участке цепи и обратно пропорциональна его сопротивлению. **Опыт:** к источнику напряжения подключим последовательно соединенные резистор и амперметр, параллельно резистору включим вольтметр; изменяя напряжение на полюсах источника, будем измерять силу тока. **Сила тока:** заряд, проходящий через проводник за единицу времени. **Электрический заряд:** эбонитовая палочка при трении о мех приобретает заряд. **Прямая пропорциональность:** во сколько раз увеличивается аргумент, во столько же раз увеличивается функция. **Обратная пропорциональность:** во сколько раз увеличивается аргумент, во столько же раз уменьшается функция. **Напряжение:** разность потенциалов. (Сложность текста 116)

8. **Закон Ома для полной цепи:** Сила тока прямо пропорциональна ЭДС и обратно пропорциональна полному сопротивлению цепи. **Опыт:** к источнику напряжения подключим последовательно соединенные резистор и амперметр, параллельно резистору включим вольт-



метр; изменяя напряжение на полюсах источника, будем измерять силу тока. **Сила тока:** заряд, проходящий через проводник за единицу времени. **Электрический заряд:** эбонитовая палочка при трении о мех приобретает заряд. **ЭДС:** работа источника по перемещению единичного положительного заряда по замкнутому контуру. **Полное сопротивление цепи:** сумма внутреннего сопротивления источника и сопротивления нагрузки. **Сопротивление:** отношение напряжения на концах проводника к силе тока. **Прямая пропорциональность:** во сколько раз увеличивается аргумент, во столько же раз увеличивается функция. **Обратная пропорциональность:** во сколько раз увеличивается аргумент, во столько же раз уменьшается функция. (Сложность текста 159)

9. **Первый закон фотоэффекта:** при фотоэффекте сила тока насыщения прямо пропорциональна мощности света, падающего на катод при неизменной частоте света. **Опыт:** стеклянный вакуумированный баллон с двумя электродами соединяют последовательно с амперметром и подключают к источнику постоянного напряжения; при освещении катода ультрафиолетовым светом по цепи течет ток. **Фотоэффект:** выбивание электронов с поверхности катода падающим на него светом. **Сила тока:** заряд, проходящий через проводник за единицу времени. **Ток насыщения:** максимальное значение тока, соответствующее напряжению между электродами, при котором все фотоэлектроны достигают анода. **Мощность света:** энергия, переносимая светом за единицу времени. **Катод:** электрод, подключенный к отрицательному полюсу источника напряжения. **Анод:** электрод, подключенный к положительному полюсу источника напряжения. **Прямая пропорциональность:** во сколько раз увеличивается аргумент, во столько же раз увеличивается функция. **Частота света:** число колебаний напряженности электрического поля в единицу времени. **Фотоэлектрон:** электрон, выбитый из катода светом. **Электрон:** элементарная частица, имеющая отрицательный заряд. **Отрицательный заряд:** заряд эбонитовой палочки, потертой о мех. (Сложность текста 208)

10. **Второй закон фотоэффекта:** при фотоэффекте максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов прямо пропорциональна частоте света и не зависит от его интенсивности. **Опыт:** Используют стеклянный вакуумированный баллон с двумя электродами, которые подключены к последовательно соединенным амперметру и источнику напряжения; освещают катод ультрафиолетовым светом, по цепи течет ток. **Фотоэффект:** выбивание электронов с поверхности катода падающим на него светом. **Кинетическая энергия:** массу частицы умножить на квадрат скорости и делить на два. **Частота света:** число колебаний напряженности электрического поля в единицу времени. **Фотоэлектрон:** электрон, выбитый из катода светом. **Электроны:** элементарные частицы, имеющие отрицательный заряд. **Отрицательный заряд:** заряд эбонитовой палочки, потертой о мех. **Интенсивность:** энергия, переносимая волной за единицу времени через площадку единичной площади перпендикулярную направлению распространения волны. **Прямая пропорциональность:** во сколько раз увеличивается аргумент, во столько же раз увеличивается функция. (Сложность текста 172)

11. **Третий закон фотоэффекта:** Если частота света, падающего на катод, меньше некоторого значения для данного вещества (красной границы), то фотоэффект не происходит. **Опыт:** Используют стеклянный вакуумированный баллон с двумя электродами, которые подключены к последовательно соединенным амперметру и источнику напряжения; освещают катод ультрафиолетовым светом, по цепи течет ток. Когда между источником света и баллоном устанавливают светофильтр, ток не течет. **Фотоэффект:** выбивание электронов с поверхности катода падающим на него светом. **Частота света:** число колебаний напряженности электрического поля в единицу времени. **Электроны:** элементарные частицы, имеющие отрицательный заряд. **Отрицательный заряд:** заряд эбонитовой палочки, потертой о мех. **Катод:** электрод, подключенный к отрицательному полюсу источника напряжения. **Напряжение:** разность потенциалов. (Сложность текста 130)

12. **Принцип инвариантности скорости света:** Во всех инерциальных системах отсчета скорость света в вакууме одинакова. **Явление:** в двух различных инерциальных системах отсчета, движущихся относительно друг друга, измеряют скорость света в вакууме. **Система отсчета:** тело отсчета, связанная с ним система координат и часы. **Инерциальная система отсчета:** система, относительно которой тело при отсутствии действия других тел или когда их действие скомпенсировано, движется равномерно прямолинейно или покоится. **Скорость:** отношение перемещения тела ко времени. (Сложность текста 91)

13. **Принцип относительности Эйнштейна:** Все физические явления во всех инерциальных системах отсчета протекают одинаковым образом. **Явление:** в двух различных инерциальных системах отсчета, движущихся относительно друг друга, проводятся всевозможные опыты и сравниваются их результаты. **Система отсчета:** тело отсчета связанная с ним система координат и часы. **Инерциальная система отсчета:** система, относительно которой тело при отсутствии действия других тел или когда их действие скомпенсировано, движется равномерно прямолинейно или покоится. **Все физические явления:** колебания маятника, взаимодействия зарядов, распространение электромагнитных волн и т. д. (Сложность текста 94)

14. **Первый постулат Бора:** Атомная система может находиться в особых стационарных состояниях, каждому из которых соответствует определенная энергия; в стационарном состоянии атом не излучает. **Атом:** система, состоящая из массивного положительно заряженного ядра, вокруг которого движутся электроны; мельчайшая частица химического элемента. **Электроны:** элементарные частицы, имеющие отрицательный заряд. **Отрицательный заряд:** заряд, приобретаемый эбонитовой палочкой при трении о мех. **Положительный заряд:** заряд, приобретаемый стеклянной палочкой при трении о шелк. **Энергия:** величина, равная работе, которую может совершить система. **Излучать:** испускать свет. (Сложность текста 112)

15. **Второй постулат Бора:** При переходе атома из одного стационарного состояния в другое испускается или поглощается квант света, энергия которого равна разности энергий  $E_1$  и  $E_2$ . **Атом:** система, состоящая из массивного положительно заряженного ядра, вокруг которого движутся электроны; мельчайшая частица химического элемента. **Электроны:** элементарные частицы, имеющие отрицательный заряд. **Отрицательный заряд:** заряд, приобретаемый эбонитовой палочкой при трении о мех. **Положительный заряд:** заряд, приобретаемый стеклянной палочкой при трении о шелк. **Энергия:** величина, равная работе, которую способна совершить система. **Излучать:** испускать свет. **Стационарное состояние:** состояние, в котором атом не излучает. **Квант:** порция энергии, энергия фотона. **Фотон:** частица света. **Переход атома из одного состояния в другое:** перескакивание электрона с одной орбиты на другую. (Сложность текста 117)

16. **Условие максимумов при интерференции:** При интерференции двух волн наблюдается максимум, если их разность хода равна целому числу длин волн. **Опыт:** два динамика, подключенные к генератору электрических колебаний, излучают звуковые волны с равными частотами и нулевым сдвигом фаз, которые накладываются и интерферируют. Для определения интенсивности в точке наблюдения используется микрофон, подключенный к осциллографу. **Интерференционные максимумы:** точки, в которых амплитуда результирующих колебаний максимальна. **Колебания:** периодические движения тела, при котором его координата через равные промежутки времени принимает примерно одинаковые значения. **Разность хода:** разность расстояний, проходимых волнами. **Длина волны:** расстояние, проходимое волной за период. (Сложность текста 125)

17. **Закон всемирного тяготения:** Две материальные точки притягиваются друг к другу с силами, которые прямо пропорциональны произведению их масс и обратно пропорциональны квадрату расстояния между ними. **Явление:** спутник движется вокруг планеты; измеряют ускорение спутника и действующую на него силу гравитационного притяжения. **Прямая пропорциональность:** во сколько раз увеличивается аргумент, во столько же раз увеличивается функция. **Обратная пропорциональность:** во сколько раз увеличивается аргумент, во столько же раз уменьшается функция. (Сложность текста 77)

18. **Закон сохранения механической энергии:** Механическая энергия системы, находящейся в поле консервативных сил, остается постоянной. **Явление:** тело падает в поле тяжести, маятник совершает колебания; измеряют скорость и координату тела, вычисляют механическую энергию в разные моменты времени. **Механическая энергия:** сумма кинетической и потенциальной энергии частиц. **Кинетическая энергия:** произведение массы на квадрат скорости, деленная на два. **Потенциальная энергия:** энергия взаимодействия. **Консервативные силы:** силы, работа которых по замкнутому контуру равна нулю. **Силовое поле:** особый вид материи, существующий в окружающем пространстве и действующий на другие частицы. (Сложность текста 110)

19. **Закон электромагнитной индукции Фарадея:** ЭДС индукции, возникающей в контуре, прямо пропорциональна скорости изменения магнитного потока, пронизывающего этот контур. **Опыт:** если в изменяющееся магнитное поле внести замкнутый виток, подключенный к амперметру, то по нему потечет ток. **ЭДС:** работа источника, по перемещению единичного положительного заряда по замкнутому контуру. **ЭДС индукции:** это ЭДС, возникающая при изменении магнитного потока через контур. **Прямая пропорциональность:** во сколько раз увеличивается аргумент, во столько же раз увеличивается функция. **Скорость изменения магнитного потока:** отношение изменения магнитного потока к соответствующему промежутку времени. **Магнитный поток:** произведение индукции магнитного поля на площадь контура и на косинус угла между вектором индукции и нормалью. **Косинус угла:** отношение прилежащей к данному углу стороны прямоугольного треугольника к стороне лежащей напротив прямого угла. **Работа:** произведение силы на перемещение и на косинус угла между этими векторами. (Сложность текста 164)

20. **Закон сохранения импульса:** Импульс замкнутой системы частиц остается постоянным. **Опыт:** два тела движутся навстречу друг другу, сталкиваются и разлетаются; измеряют скорости тел до и после взаимодействия, вычисляют импульсы. **Импульс системы:** векторная сумма произведений масс материальных точек на их скорости. **Скорость:** отношение перемещения тела к соответствующему промежутку времени. **Замкнутая система:** система, на которую не действуют внешние силы. (Сложность текста 72)

21. **Принцип Гюйгенса – Френеля:** Каждая точка, до которой дошла волна, становится источником вторичных волн; волновая поверхность в следующий момент времени есть результат интерференции всех вторичных волн. **Явление:** источник излучает волну, которая распространяется по поверхности воды, огибая препятствия. **Волна:** колебания, распространяющиеся в среде или пространстве. **Волновая поверхность:** поверхность равной фазы. **Интерференция:** перераспределение энергии колебаний в пространстве при наложении нескольких когерентных волн. (Сложность текста 90)

22. **Принцип неубывания энтропии:** Энтропия изолированной системы не убывает. **Опыт:** половину мензурки заполняют чистой водой, а другую половину раствором медного купороса; происходит диффузия, через некоторое время концентрация медного купороса во всех точках становится одинаковой; энтропия увеличивается. **Энтропия:** натуральный логарифм от статистического веса, мера хаоса. **Статистический вес:** число микросостояний, соответ-

ствующих данному макросостоянию системы. **Микросостояние:** совокупность координат и проекций скоростей всех частиц. **Макросостояние:** определяется макропараметрами, например, давлением, объемом и температурой. **Изолированная система:** система, не обменивающаяся веществом и энергией с другими системами. (Сложность текста 121)

23. **Золотое правило механики:** При использовании простых механизмов, выигрывая в силе, проигрываем в расстоянии; произведение силы на перемещение не изменяется. **Опыт:** возьмем рычаг, на одно плечо подвесим грузы, а другое будем тянуть вниз с силой; динамометром измерим силу, а линейкой измерим перемещение груза и точки приложения силы. Повторим измерения с подвижным блоком, наклонной плоскостью и полиспастом. (Сложность текста 63)

## Приложение 5

На рис. 5.1 представлены четыре рисунка из школьных учебников физики и химии; рядом приводятся вектор характеристик  $(x_1, x_2, x_3, \dots, x_7)$ , информативность (КИ)  $I$ , коэффициенты  $A$  и  $M$  и дидактическая сложность  $S$ . Видно, что рис. 5.1.1 примерно в два раза информативнее рис. 5.1.4, а его ДС  $S$  в три раза больше, чем у рис. 5.1.2.

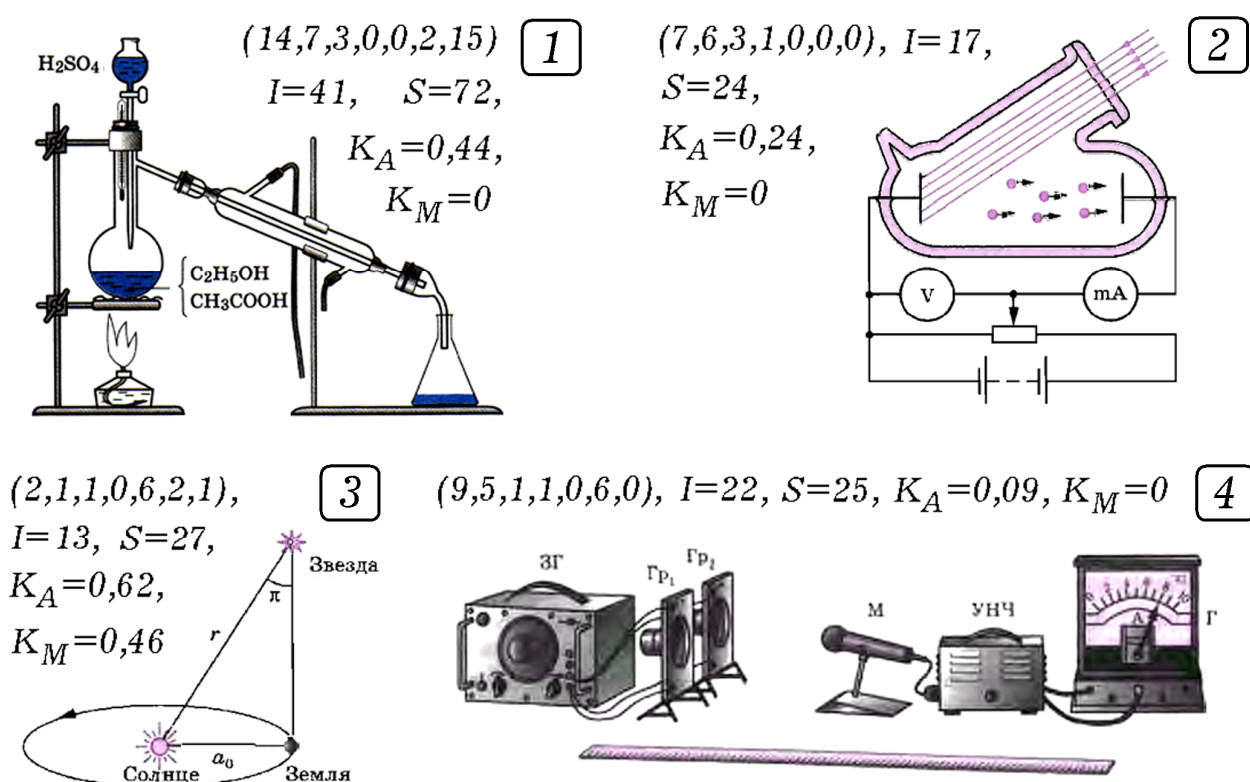


Рис. 5.1. Результаты оценки дидактической сложности рисунков.



## Приложение 6

### Учебники, которые подвергались контент-анализу

1. Алексеев, С. В. Экология: учебное пособие для учащихся 9-х классов общеобразовательных учреждений разных видов / С. В. Алексеев. – СПб: СММО Пресс, 1998. – 352 с.
2. Алексеев, С. В. Экология: учебное пособие для учащихся 10–11-х классов общеобразовательных учреждений разных видов / С. В. Алексеев. – СПб: СММО Пресс, 1997. – 320 с.
3. Балашов, М. М. и др. Механика. 10 кл.: учеб. для углубленного изучения физики / М. М. Балашов, А. И. Гомонова, А. Б. Долицкий и др.; под ред. Г. Я. Мякишева. – М.: Дрофа, 2002. – 496 с.
4. Барина, И. И. География России. Природа. 8 кл.: учеб. для общеобразоват. учреждений / И. И. Барина. – М.: Дрофа, 2010. – 303 с.
5. Гузей, Л. С. Химия. 10 класс: учеб. для общеобразоват. учеб. заведений / Л. С. Гузей, Р. П. Суровцева. – М.: Дрофа, 2002. – 240 с.
6. Гузей, Л. С. Химия. 11 класс: учеб. для общеобразоват. учеб. заведений / Л. С. Гузей, Р. П. Суровцева, Г. Г. Лысова. – М.: Дрофа, 2008. – 223 с.
7. Захаров, В. Б. Общая биология: учеб. для 10-х классов общеобразоват. учреждений / В. Б. Захаров, С. Г. Мамонтов, Н. И. Сонин. – М.: Дрофа, 2006. – 352 с.
8. Захаров, В. Б. Общая биология: учеб. для 11-х классов общеобразоват. учреждений / В. Б. Захаров, С. Г. Мамонтов, Н. И. Сонин. – М.: Дрофа, 2006. – 283 с.
9. Касьянов, В. А. Физика. 10 класс: учеб. для общеобразоват. учреждений / В. А. Касьянов. – М., 2003. – 416 с.
10. Касьянов, В. А. Физика. 11 класс. учеб. для общеобразоват. учреждений / В. А. Касьянов – М., 2004. – 416 с.
11. Колесов, Д. В. Биология. Человек: учеб. для 8-х классов общеобразоват. учреждений / Д. В. Колесов, Р. Д. Маш, И. Н. Беляев. – М.: Дрофа, 2005. – 332 с.
12. Латюшин, В. В. Биология: Животные: учеб. для 7-х классов общеобразоват. учреждений / В. В. Латюшин, В. А. Шапкин. – М.: Дрофа, 2009. – 302 с.
13. Мякишев, Г. Я. Физика: учеб. для 10-х классов общеобразоват. учреждений: базовый и профил. уровни / Г. Я. Мякишев, Б. Б. Буховцев, Н. Н. Сотский. – М.: Просвещение, 2004. – 336 с.

14. Мякишев, Г. Я. Физика: учеб. для 11-х классов общеобразоват. учреждений / Г. Я. Мякишев, Б. Б. Буховцев. – М.: Просвещение, 2003. – 336 с.
15. Мякишев, Г. Я. Физика. Электродинамика. 10–11 кл.: учеб. для углубленного изучения физики / Г. Я. Мякишев, А. З. Сияков, Б. А. Слободсков. – М.: Дрофа, 2002. – 480 с.
16. Мякишев, Г. Я. Физика: Молекулярная физика. Термодинамика. 10 кл.: учеб. для углубл. изучения физики / Г. Я. Мякишев, А. З. Сияков. – М.: Дрофа, 2002. – 352 с.
17. Мякишев, Г. Я. Физика. Колебания и волны. 11 кл.: учеб. для углубленного изучения физики / Г. Я. Мякишев, А. З. Сияков. – М.: Дрофа, 2010. – 288 с.
18. Мякишев, Г. Я. Физика. Оптика. Квантовая физика. 11 класс. Профильный уровень: учеб. для общеобразоват. учреждений / Г. Я. Мякишев, А. З. Сияков. – М.: Дрофа, 2013. – 462 с.
19. Пакулова, В. М., Иванова Н. В. Природоведение. Природа. Неживая и живая. 5 класс: учеб. для общеобразоват. учреждений / В. М. Пакулова, Н. В. Иванова. – М.: Дрофа, 2010. – 222 с.
20. Перышкин, А. В. Физика. 7 класс: учеб. для общеобразоват. учреждений / А. В. Перышкин. – М.: Дрофа, 2003. – 192 с.
21. Перышкин, А. В. Физика. 8 класс: учеб. для общеобразоват. учреждений / А. В. Перышкин. – М.: Дрофа, 2002. – 192 с.
22. Перышкин, А. В. Физика. 9 класс: учеб. для общеобразоват. учреждений / А. В. Перышкин, Е. М. Гутник. – М.: Дрофа, 2005. – 255 с.
23. Пинский, А. А., Физика: учебник / А. А. Пинский, Г. Ю. Граковский. – М.: Форум-ИНФРА, 2008. – 560 с.
24. Савельев, И. В. Курс физики. Т.1. Механика, молекулярная физика / И. В. Савельев. – М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1989. – 352 с.
25. Савельев, И. В. Курс общей физики. Т.2. Электричество и магнетизм. Волны. Оптика. – М.: Наука: Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988. – 496 с.
26. Савельев, И. В. Курс физики. Т. 3. Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц. – М.: Наука: Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987. – 320 с.
27. Трофимова, Т. И. Курс физики: учеб. пособие для вузов. – М.: Высшая школа, 2001. – 542 с.



## Список литературы

1. Аванесов, В. С. Теория квантования учебных текстов / В. С. Аванесов // Педагогические измерения, 2014, № 1, С. 62–77.
2. Аверьянов, Л. Я. Контент-анализ: монография / Л. Я. Аверьянов. – М.: РГИУ, 2007. – 286 с.
3. Атанов, Г. А. Обучение и искусственный интеллект, или Основы современной дидактики высшей школы / Г. А. Атанов, , И. Н. Пустынникова. – Донецк: Изд-во ДОУ, 2002. – 504 с.
4. Богданов, И. В. Учебная информация и единицы ее измерения / И. В. Богданов // Труды СГУ. – М.: СГУ, 2002.
5. Белов, Ф. А. Педагогические условия реализации принципа информационной насыщенности образовательного процесса: дисс... канд. пед. наук / Ф. А. Белов. – Саратов, 2014. – 203 с.
6. Беспалько, В. П. Теория учебника: Дидактический аспект / В. П. Беспалько. – М.: Педагогика, 1988. – 160 с.
7. Беспалько, В. П. Образование и обучение с участием компьютеров (педагогика третьего тысячелетия) / В. П. Беспалько. – М.: МПСИ, 2002.
8. Битинас, Б. Многомерный анализ в педагогике и педагогической психологии / Б. Битинас. – Вильнюс, 1971. – 347 с.
9. Бояркин, Г. Н. Теория систем и системный анализ: учеб. пособие / Г. Н. Бояркин, О. Г. Шевелева. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2008. – 76 с.
10. Валгина, Н. С. Теория текста: учебное пособие / Н. С. Валгина. – Москва: Логос, 2003. – 280 с.
11. Дэвид, Г. Метод парных сравнений / Г. Дэвид. – М.: Статистика, 1978. – 144 с.
12. Дюк, В. А. Компьютерная психодиагностика / В. А. Дюк. – С.П.: Братство, 1994. – 364 с.

13. Железовский, Б. Е. Исследование информационной емкости учебника физики 9 класса / Б. Е. Железовский, Ф. А. Белов // Психология, социология, педагогика. – 2011. – № 8. – С. 16–20.
14. Железовский, Б. Е. Сравнительный анализ информационной емкости различных учебников физики / Б. Е. Железовский, Ф. А. Белов // Психология, социология, педагогика. – 2011. – № 7. – С. 13–20.
15. Загвязинский, В. И. Теория обучения: Современная интерпретация: учеб. пособие для студ. высш. пед. учеб. заведений / В. И. Загвязинский. – М.: Академия, 2001. – 192 с.
16. Заде, Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений / Л. Заде. – М: Мир, 1976. – 165 с.
17. Звонкин, А. К. Сложность конечных объектов и обоснование понятий информации и случайности с помощью теории алгоритмов / А. К. Звонкин, Л. А. Левин // Успехи математических наук. – 1970. – Том 25. – Выпуск 6 (156). – С. 85–127.
18. Зеркаль, О. В. Семантическая информация и подходы к ее оценке. Часть 1. Семантико-прагматическая информация и логико-семантическая концепция / О. В. Зеркаль // Философия науки. – 2014. – № 1. – С. 53–69.
19. Иудин, А. А. Контент-анализ текстов: компьютерные технологии: учебное пособие / А. А. Иудин, А. М. Рюмин. – Нижний Новгород, 2010. – 37 с.
20. Исмаилова, Н. В. Оценка качества образования в вузе средствами нечеткого моделирования: дисс... канд. пед. наук / Н. В. Исмаилова. – Ижевск, 2012.
21. Карпенко, М. П. Когномика / М. П. Карпенко. – М.: СГА, 2009. – 225 с.
22. Карпенко, М. П. Телеобучение / М. П. Карпенко. – М.: СГА, 2008. – 800 с.
23. Колесников, А. К. Концепция измерения сложности образовательной программы (на примере программ высшего профессионального образования) / А. К. Колесников // Образование и наука. – 2011. – № 7 (86). – С. 33–47.

24. Криони, Н. К. Автоматизированная система анализа сложности учебных текстов / Н. К. Криони, А. Д. Никин, А. В. Филиппова // Вестник УГАТУ (Уфа). – 2008. – Т. 11. – № 1 (28). – С. 101–107.
25. Кудрявцев, П. С. История физики. Т. 2 / П. С. Кудрявцев. – М.: Гос. учебно-педагогич. изд-во, 1956. – 487 с.
26. Лаврушина, Е. Г. Теория систем и системный анализ: учебное пособие / Е. Г. Лаврушина, Н. Л. Слугина. – Владивосток: Издательство ВГУЭС, 2007. – 171 с.
27. Леонтьев, Л. П. Проблемы управления учебным процессом: математические модели / Л. П. Леонтьев, О. Г. Гохман. – Рига, 1984. – 239 с.
28. Майер, В. В. Элементы учебной физики как основа организации процесса научного познания в современной системе физического образования: дис. ... д-ра пед. наук: 13.00.02 / В. В. Майер. – Глазов, 2000. – 409 с.
29. Майер, Р. В. Автоматизированный метод оценки количества различных видов информации и ее сложности в физическом тексте с помощью ПЭВМ / Р. В. Майер // Известия высших учебных заведений. – № 3(31). – 2014. – С. 200–209.
30. Майер, Р. В. Исследование процесса формирования эмпирических знаний по физике / Р. В. Майер. – Глазов: ГГПИ, 1996. – 132 с.
31. Майер, Р. В. Классификация тем школьного курса физики на основе оценки их физической и математической сложности / Р. В. Майер // Инновации в образовании. – 2014. – № 9. – С. 29–38.
32. Майер, Р. В. Компьютерные программы, автоматизирующие оценку объектов и контент-анализ текста / Р. В. Майер // Психология, социология и педагогика. – 2015. – № 1 [Электронный ресурс]. URL: <http://psychology.snauka.ru/2015/01/4287>
33. Майер, Р. В. Методика проведения контент-анализа школьных учебников физики и его результаты / Р. В. Майер // Современная педагогика. – 2015. – № 3 [Электронный ресурс]. URL: <http://pedagogika.snauka.ru/2015/03/4034>

34. Майер, Р. В. Метод оценки физической сложности тем школьного курса физики / Р. В. Майер // Концепт. – 2014. – № 08 (август). – ART 14199. – URL: <http://e-koncept.ru/2014/14199.htm>
35. Майер, Р. В. Об оценке сложности элементов учебного материала школьного курса физики / Р. В. Майер // Гуманитарные научные исследования. 2015. № 12 [Электронный ресурс]. URL: <http://human.snauka.ru/2015/12/13535>
36. Майер, Р. В. Определение уровня абстрактности, сложности и информативности различных тем школьного учебника физики / Р. В. Майер // Стандарты и мониторинг в образовании. – 2013. – Том 6. – Выпуск 1. – С. 19–26. DOI 10.12737/1990
37. Майер, Р. В. Оценка дидактической сложности школьных учебников физики / Р. В. Майер // Современные наукоемкие технологии. – 2016. – № 2-1. – С. 105–109. URL: <http://www.top-technologies.ru/ru/article/view?id=35582>
38. Майер, Р. В. Оценка дидактической сложности различных учебников физики / Р. В. Майер // Современные научные исследования и инновации. – Май 2014. – № 5 [Электронный ресурс]. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2014/05/34429>
39. Майер, Р. В. Оценка дидактической сложности физических понятий методом парных сравнений / Р. В. Майер // Мир науки. Научный интернет-журнал [Электронный ресурс]. – 2014. – Вып. 3. – 8 с. URL: <http://mir-nauki.com>
40. Майер, Р. В. Оценка дидактических характеристик физических экспериментов, изучаемых в школе / Р. В. Майер // Дистанционное и виртуальное обучение. – 2016. – № 4. – с. 69–76.
41. Майер, Р. В. Эффективный метод оценки дидактической сложности физических понятий / Р. В. Майер // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 11. – С. 904–909.
42. Микк, Я. А. Оптимизация сложности учебного текста: В помощь авторам и редакторам / Я. А. Микк. – М.: Просвещение, 1981. – 119 с.

43. Михеева, С. А. Система формализованных критериев оценки школьного учебника / С. А. Михеева // Вопросы образования. – 2015. – № 4. – С. 147–183.
44. Оборнева, И. В. Автоматизированная оценка сложности учебных текстов на основе статистических параметров: дис. ... канд пед наук: 13.00.02 Специальность: Теория и методика обучения и воспитания (по областям и уровням образования) / И. В. Оборнева. – Москва, 2006. – 165 с.
45. Психосемантика слова и лингвостатистика текста: методические рекомендации к спецкурсу / Сост. А. П. Варфоломеев. — Калининград: Калинингр. ун–т, 2000. – 37 с.
46. Разумовский, В. Г. Физика в школе: научный метод познания и обучения / В. Г. Разумовский, В. В. Майер. – М.: ВЛАДОС, 2004. – 463 с.
47. Таршис, Е. Я. Контент-анализ: Принципы методологии (Построение теоретической базы. Онтология, аналитика и феноменология текста. Программы исследования) / Е. А. Таршис. – М.: ЛИБРОКОМ, 2013. – 176 с.
48. Теория текста: учеб. пособие / Ю. Н. Земская, И. Ю. Качесова, Л. М. Комиссарова, Н. В. Панченко, А. А. Чувакин. – Москва: Флинта: Наука, 2010.
49. Тинякова, В. И. Математические методы обработки экспертной информации / В. И. Тинякова. – Воронеж, 2006. – 68 с.
50. Толстова, Ю. Н. Основы многомерного шкалирования: учебное пособие / Ю. Н. Толстова. – М.: КДУ, 2006. – 160 с.
51. Харламов, А. А. Автоматический структурный анализ текстов / А. А. Харламов // Открытые системы. – № 10. 2002. URL: <http://www.osp.ru/os/2002/10/182010/>
52. Шалак, В. И. Современный контент-анализ. Приложения в области: политологии, психологии, социологии, культурологии, экономики, рекламы / В. И. Шалак. – М.: Омега-Л, 2004. – 272 с.
53. Томашевский, В. М. Аналіз моделей навчання та контролю знань / В. М. Томашевский, І. М. Дмитрик // Вісник НТУУ «КПІ». Інформатика,

управління та обчислювальна техніка: збірник наукових праць. – 2008. – № 49. – С. 147–152.

54. Устинова, Л. В. Проверка сложности выпускных работ учащихся и студентов на основе статистических параметров / Л. В. Устинова, А. Н. Адекенова, О. В. Литвинова // Молодой ученый. – 2015. – № 8. – С. 148–152.

55. Brent Davis, Dennis J. Sumara Complexity and Education: Inquiries Into Learning, Teaching, and Research. – Mahwah, New Jersey, London, 2006. – 201 p.

56. Mayer, R. V. Computer-Assisted Simulation Methods of Learning Process // European Journal of Contemporary Education, 2015, Vol. 13, Is. 3, pp. 198–212, 2015. DOI: 10.13187/ejced.2015.13.198

57. Maier Robert. Estimating method of the complexity of topics of school physics course // DOAJ – Lund University: Koncept: Scientific and Methodological e-magazine. – Lund, № 9, 2015. – URL: <http://www.doaj.net/3013/>

58. Mayer, R. V. The solution of problems of mathematical learning theory using computer models // Modern European researches. – 2015. – N3. – pp. 113–125.

59. White M. D., Marsh E. E. Content analysis: A flexible methodology // Library trends, Vol. 55, № 1, 2006. – pp. 22 – 45. URL: <http://muse.jhu.edu>

60. Компьютерная система ВААЛ. URL: <http://www.vaal.ru>

61. Интернет-ресурс: Информатика и физическое образование. URL: <http://maier-rv.glazov.net>



## **Содержание**

### **Введение**

## **Глава 1. ОБ ОЦЕНКЕ ДИДАКТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК УЧЕБНОГО ТЕКСТА И ЕГО ЭЛЕМЕНТОВ**

- 1.1. Характеристики учебного текста
- 1.2. Объем и информативность учебного текста
- 1.3. Сложность учебного текста как системы элементов
- 1.4. Суммарная сложность текста и ее связь с абстрактностью понятий и рассуждений
- 1.5. Об измерении сложности учебного текста и его элементов
- 1.6. Использование компьютера для парного сравнения объектов
- 1.7. Контент-анализ учебных текстов на компьютере
- 1.8. Объективная сложность отдельных вопросов курса физики

## **Глава 2. ОЦЕНКА СЛОЖНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА**

- 2.1. Об оценке дидактической сложности понятий
- 2.2. Дидактическая сложность понятий, обозначающих физические приборы:  
Двухкомпонентная модель
- 2.3. Трехкомпонентная модель ДС приборов и устройств
- 2.4. Оценка дидактической сложности физических величин
- 2.5. Дидактическая сложность физических экспериментов
- 2.6. Трехкомпонентная модель ДС физических экспериментов
- 2.7. Результаты оценки характеристик физических экспериментов
- 2.8. Оценка сложности теоретического изучения по пятибальной шкале
- 2.9. Оценка ДС физических законов разными методами
- 2.10. Согласование получающихся результатов
- 2.11. Оценка дидактической сложности рисунков
- 2.12. Определение дидактической сложности химических формул

## **Глава 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СЛОЖНОСТИ И ИНФОРМАТИВНОСТИ ТЕМ ШКОЛЬНОГО УЧЕБНИКА**

- 3.1. Степень абстрактности текста. Э-, Т-, Ф-знания
- 3.2. Методика проведения контент-анализа
- 3.3. Контент-анализ без учета уровня абстракции
- 3.4. Контент-анализ с учетом абстрактности знаний
- 3.5. Оценка количества информации в тексте и его дидактической сложности с помощью компьютера
- 3.6. Учет сложности различных элементов текста
- 3.7. Контент-анализ текста и его результаты
- 3.8. Физическая и математическая сложности тем школьного курса физики
- 3.9. Оценка математической сложности тем школьного курса физики
- 3.10. Общая сложность тем школьного курса физики

## **Глава 4. ОЦЕНКА ДИДАКТИЧЕСКОЙ СЛОЖНОСТИ УЧЕБНИКОВ**

- 4.1. Дидактическая сложность учебника физики
- 4.2. Определение физической сложности учебника
- 4.3. Определение математической сложности учебника
- 4.4. Результаты оценки сложности учебников
- 4.5. Другой подход к оценке дидактической сложности учебников физики
- 4.6. Оценка терминологической и математической сложности учебников природоведения и физики
- 4.7. Определение дидактической сложности учебников методом парных сравнений
- 4.8. Оценка абстрактности качественных рассуждений и сложности математических моделей
- 4.9. Распределение учебников в пространстве признаков

**Заключение**

**Приложение**

**Список литературы**