

НАУЧНЫЕ ОБЗОРЫ

ИНФОРМАЦИОННО-ПСИХОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД
К ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБУЧАЮЩИХ ПРОГРАММ

К. М. ШОЛОМИЙ

(НИИ общей и педагогической психологии АПН СССР, Москва)

В первое время после появления на педагогическом горизонте программированного обучения связанные с ним экспериментальные и теоретические исследования имели преимущественно цель проверить его право на существование, т. е. выяснить, обладает ли оно преимуществами и если да, то какими по сравнению с обучением традиционными методами. В настоящее время положение начинает меняться. На передний план в этих исследованиях постепенно выдвигается принципиально другая задача, которую вкратце можно сформулировать так: каким должно быть программированное обучение.

Причина такого изменения очевидна. Один и тот же результат обучения может быть достигнут несколькими различными путями и, следовательно, для любой подлежащей изучению темы могут быть составлены не одна, а несколько (как правило — очень много) обучающих программ. Ясно, что одни из них могут быть лучше, другие — хуже, поэтому вывод о преимуществе программированного обучения перед традиционным справедлив отнюдь не при любых условиях. Вполне мыслимы случаи, когда обучение при помощи обучающих программ может оказаться заведомо хуже, чем обучение традиционными методами [3]. (Это обстоятельство, кстати говоря, нередко игнорируется не только противниками программированного обучения, но, что гораздо хуже, и его сторонниками.) Поэтому, строго говоря, альтернативой традиционному обучению является не программированное обучение вообще, а определенный его вид: оптимизированное программированное обучение.

Это значит, что при составлении обучающей программы для какой-либо темы из всего множества возможных программ, которое может быть очень большим, должна быть выбрана та, которая обеспечивает наиболее эффективное усвоение этой темы. Но как осуществить этот выбор?

Первая возможность — это практическая проверка. Все составленные для данной темы программы проверяются в реальном процессе обучения и оцениваются по его результатам. Нечего и говорить, насколько этот способ, являющийся фактически модификацией метода проб и ошибок, иррационален и неэкономичен.

Вторая возможность — это априорная оценка, т. е. оценка, позволяющая высказать суждение об эффективности обучающей программы до ее практического применения. Разумеется, первый способ всегда является последней инстанцией проверки и только он может вынести окончательный приговор. О втором способе имеет смысл говорить только как о способе снижения до минимума числа вариантов программ, рекомендуемых для практической проверки. Реализация второй возможности в виде определения признаков, позволяющих оценивать обучающую программу при любом ее конкретном выполнении, т. е. независимо от предмета изучения, по мнению Х. Франка [12], является в настоящее время главной задачей исследований в области программированного обучения.

Здесь будут рассмотрены два метода априорной оценки обучающих программ, построенные на данных информационно-психологических исследований процесса обучения¹: метод Х. Аншютца [7], [8], состоящий в исследовании понятийного состава обучающих программ при помощи *mi* — диаграммы, и метод К. Вельтнера [20], [21], основанный на определении информационных свойств обучающих программ.

Прежде чем излагать эти методы, условимся относительно термина, которым будем обозначать информацию обучающей программы, т. е. информацию, которую усваивает (или должен усвоить) адресат, проработав эту программу. Х. Франк и примыкающие к нему авторы, в том числе Аншютц и Вельтнер, называют эту информацию субъективной семанти-

¹ Информационно-психологический подход к обучению состоит в попытке рассматривать информационные свойства учебного материала в связи с психологическими особенностями процесса его усвоения. Исходные принципы этого подхода сформулированы Х. Франком [10].

ческой. (Фактически эту же информацию называет семантической Ю. А. Шрейдер [6а].) Если первая часть этого названия не вызывает возражений, то вторая представляется нам совершенно неоправданной по следующим соображениям. Информация обучающей программы обладает важным признаком, позволяющим выделить ее по отношению к семантической информации: она не является постоянной величиной, а всегда рассчитана на изменение от некоторой первоначальной конечной величины до нуля (в начале обучения информация программы имеет максимальную величину; после завершения обучения, когда программа полностью проработана адресатом, ее информация для этого адресата равна нулю). Но о семантической информации, по крайней мере, если исходить из понимания этого термина, сложившегося в лингвистике и теории машинного перевода [2], этого отнюдь нельзя сказать: семантическая информация здесь — это некоторая постоянная характеристика текста, определяемая его понятийным составом и никогда не равная нулю. Например, можно считать, что два текста, из которых один является переводом другого, обладают одинаковой семантической информацией и эта информация не может быть равной нулю.

Поэтому при изложении методов Аншютца и Вельтнера мы везде, где они говорят о семантической информации, будем употреблять менее претенциозное выражение, предложенное Вельтнером [20]: дидактическая информация (точнее говоря, Вельтнер предложил термин «дидактическая трансинформация», но приставка «транс» представляет нам излишней).

1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СУБЪЕКТИВНОЙ ИНФОРМАЦИИ ТЕКСТОВ МЕТОДОМ К. ВЕЛЬТНЕРА

А. МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ЗАПОМИНАНИЯ

При построении своего метода Вельтнер исходит из информационно-психологической модели процесса переработки и усвоения информации при обучении, предложенной Х. Франком [10], [20]. Основные положения этой модели заключаются в следующем. Из поля восприятия (тексты, устные сообщения) в сознание поступает информация. В течение некоторого времени она подвергается переработке, которая приводит к уменьшению субъективной информации поля восприятия за счет суперирования¹ и установления связей. Скорость поступления информации в сознание была определена из экспериментальных данных [10, [20] и составляет 16 бит/сек (по данным других авторов 10—20 бит/сек). Х. Ридель [17] показал, что эта скорость зависит от возраста. Информация сохраняется в сознании в течение ограниченного промежутка времени — длительности сознания (Gegenwartsdauer), которая составляет 6—10 сек. Скорость поступления информации и длительность сознания определяют ограниченные возможности сознания, так называемую «узость» сознания, характеризующуюся величиной $16 \cdot 10 = 160$ бит. Функция сознания, состоящая в восприятии информации и сохранении ее в течение некоторого времени, представлена в модели в виде непосредственной памяти (Kurzspeicher), обладающей следующими параметрами: скорость поступления информации — 16 бит/сек, время хранения — 10 сек, емкость — 160 бит.

Часть информации, поступившей в сознание, запоминается на длительное время. Это обстоятельство отражено в модели введением еще двух видов памяти: кратковременной и долговременной². Очевидно, что содержание некоторого текста можно считать усвоенным только после того, как его дидактическая информация полностью поступила в долговременную память. Согласно Х. Франку [10], скорость поступления информации в кратковременную память составляет 0,4—0,8 бит/сек, в долговременную — 0,05 бит/сек, время сохранения — соответственно часы, дни и месяцы, года, емкость — 10^3 — $2 \cdot 10^3$ и 10^5 — 10^8 бит.

Заметим, что по мнению Х. Риделя [18], [19] в модель следует ввести не два, а четыре вида длительной памяти, характеризующиеся следующими параметрами: (см. табл.) Ридель [19] подчеркивает, что вопрос о том, реализованы ли физиологически отдельные виды памяти, вносимые в модель, в его работе не затрагиваются.

¹ Суперирование (superierung) — процесс образования суперзнаков, т. е. слияние элементарных символов в более сложные, например, букв в слоги, слогов в слова и т. п., тонов — в мелодии, вообще — элементов восприятия в целостные образования [10], [15]. Понятие суперзнака отражает, таким образом, факт иерархического строения знаний. Можно думать, что это очень перспективное понятие, однако в настоящее время его формирование далеко еще не завершено и те определения, которые ему дают представители информационной психологии, нельзя еще, по-видимому, считать окончательными. Вельтнер [20] подчеркивает, что процесс суперирования в настоящее время не может быть полностью описан.

² Таким образом, в модели Х. Франка используется три вида памяти, из которых два являются видами длительной памяти (кратковременная и долговременная память), и термин «непосредственная память» и «кратковременная память» не являются у него синонимами.

Вид памяти	Время сохранения	Скорость запоминания бит/сек	Емкость (бит)
П ₁	до 5 мин	?	?
П ₂	до 30 мин	0,497	4,04 10 ³
П ₃	до 4 час	0,347	2,12 10 ⁴
П ₄	до 11 нед.	0,1	10 ⁶

Б. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНФОРМАЦИИ ТЕКСТА ПУТЕМ ЕГО ОТГАДЫВАНИЯ

Анализ процесса обучения на основе понятия информации имеет смысл, очевидно, только при условии, что последняя доступна определению. Предложенный Вельтнером метод, который, по словам Франка [11], произвел сенсацию на IV симпозиуме по применению обучающих машин (Дюссельдорф, 1966 г.), предназначен для решения именно этой задачи.

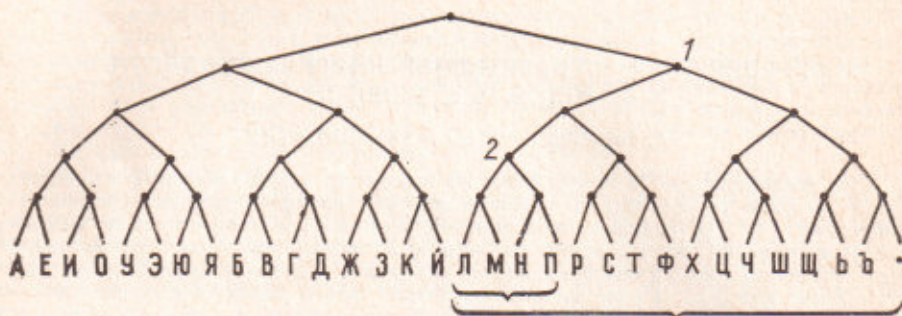


Рис. 1.

Метод Вельтнера является модификацией метода Шеннона [6], рассчитанного на определение информации печатных английских текстов и осуществленного следующим образом. Испытуемому предъявляется незаконченное предложение и предлагается продолжить его путем побуквенного угадывания. На каждую попытку испытуемого предсказать следующую букву экспериментатор реагирует словом «правильно» или «неправильно». По количеству и распределению вероятностей попыток Шеннон определяет информацию английских текстов (точнее — ее верхнюю и нижнюю границы).

Исследование информации текстов по методу Шеннона показало, что различие испытуемых по знанию смыслового содержания текста обуславливает значительный разброс в величине получающейся информации [14]. Число ошибочных ответов при отгадывании текстов, излагающих незнакомый для испытуемого материал и содержащих поэтому много незнакомых слов, будет, очевидно, больше, чем в случае, когда содержание текста испытуемому известно. Полученные при отгадывании текстов величины информации оказываются, поэтому, различными в зависимости и от текста и от читателя. Это обстоятельство обуславливает возможность «обернуть» метод Шеннона и использовать его для решения другого вопроса. Вместо того, чтобы интересоваться абсолютной информацией текста, можно поставить задачу определения его субъективной информации для различных групп читателей.

Однако в первоначальном виде метод Шеннона является слишком трудоемким. Среднее время отгадывания на букву составляет 30—40 сек. Поэтому Вельтнер рационализировал метод Шеннона. Испытуемому предлагается отгадывать буквы не непосредственно, а при помощи специального дерева. Это дерево (с русским алфавитом) показано на рис. 1. По поводу каждого угадывания экспериментатор говорит «правильно» или (в случае ошибки) делает подсказку, т. е. сообщает испытуемому, до какой точки разветвления выбранный им путь был правильным. После каждой попытки следующее предсказание осуществляется, поэтому, на меньшем алфавите. Легко заметить, что число подсказок является мерой смысловой связности текста для испытуемого.

В соответствии с этим обстоятельством Вельтнер предлагает для определения верхней и нижней границ информации следующие формулы [20]:

$$I_{\max} = -[N_h \log_2 P_h + (N - N_h) \log_2 (1 - P_h)] \quad (1)$$

$$I_{\min} = 2 N_h \quad (2)$$

где N — максимально возможное число выборов, дающее правильную букву, N_h — число ошибочных ответов и, следовательно, число подсказок, $P_h = \frac{N_h}{N}$ — вероятность подсказки. Приводимые Вельтнером конкретные данные о величине информации получены по формуле (2), поскольку он считает, что истинное значение информации аппроксимируется, таким образом, в достаточной степени [20].

Покажем, как практически осуществляется этот метод [21]. Допустим испытуемому дается для отгадывания следующий текст:

«В бензиновом двигателе сила тяги создается за счет сгорания смеси, состоящей из...»
Испытуемому могут придти в голову, например, следующие продолжения:
быстрогогорающих топлив,
различных топлив,
топлива,
бензина,
паров бензина и воздуха

(правильный вариант), т. е. он может предсказать одну из следующих букв: Б, Р, Т, П. Допустим, испытуемому представляется наиболее вероятным первый вариант и он

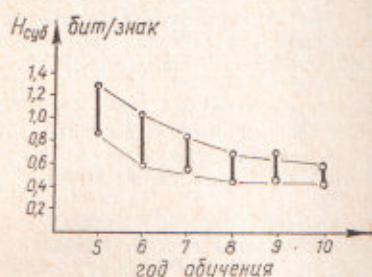


Рис. 2.

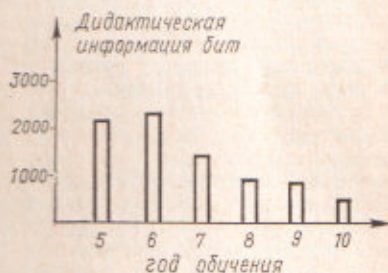


Рис. 3.

предсказывает букву «Б». В ответ экспериментатор делает первую подсказку, содержащую указание на то, что правильное продолжение можно получить, исходя из точки разветвления, помеченной на рис. 1 цифрой 1. Тем самым буква Б как возможное продолжение исключается и алфавит угадывания уменьшается. Допустим, теперь испытуемый выбирает в качестве продолжения слово «топливо», т. е. предсказывает букву Т. Экспериментатор делает вторую подсказку, приводящую испытуемого в точку разветвления, помеченную цифрой 2. В результате область угадывания сужается до четырех букв: Л, М, Н, П. Этот процесс продолжается, пока испытуемый не придет к правильной букве, либо угадав ее, либо в результате подсказки.

Процесс угадывания был автоматизирован с помощью специально разработанного электромеханического устройства, позволяющего проводить отгадывание текстов без помощи экспериментатора. Вельтнер назвал это устройство шеннографом. Прибор управляется перфорированной лентой, делает подсказки (в нужных точках разветвления вспыхивает лампочка), регистрирует их количество и печатает отгаданную часть текста.

Метод отгадывания позволяет определять субъективную дидактическую информацию обучающих программ. Для этого учебный материал программы излагается в виде связанного текста приблизительно в такой форме, в какой он мог бы быть изложен в учебнике. Вельтнер назвал такое изложение материала программы базальным текстом. Можно считать, что базальный текст содержит всю информацию обучающей программы и методом отгадывания она может быть выявлена.

На рис. 2 приведены результаты определения субъективной информации обучающей программы «Четырехтактный двигатель», рассчитанной на проработку в V—X классах средней школы [21]. Верхняя кривая характеризует субъективную информацию до проработки программы, нижняя — после проработки. Соответствующий базальный текст имел объем в 5 050 знаков. Эксперимент по определению информации проводился с учащимися всех указанных классов следующим образом. Из базального текста были взяты 48 случайных выборок по три слова в выборке. Из каждого класса выделялась достаточно репрезентативная группа в 12 учащихся; каждый учащийся отгадывал четыре выборки. Как видно из рисунка 2 (верхняя кривая), субъективная информация уменьшается с 1,27 бит/знак для V класса до 0,60 бит/знак для VIII, IX и X классов; наиболее сильно информация уменьшается в интервале от V до VIII класса. Стандартное отклонение составляет 0,06 бит/знак на выборку.

Полученная таким образом субъективная информация не является, однако, дидактической. В ней, кроме дидактической информации, передача которой является целью программы, содержится также информация другого типа, связанная с ранее приобретенным опытом и делающая возможным усвоение нового. Вельтнер [21] вместе с Франком [10]

называет эту информацию эстетической¹. Чтобы определить дидактическую информацию необходимо из общей информации текста вычест эстетическую информацию. Эстетическую информацию можно получить на основе следующих рассуждений. Очевидно, что для человека, полностью владеющего предметом, обучение которому составляет цель программы, эта программа никакой дидактической информацией не обладает. Для него программа обладает только эстетической информацией. Если определить субъективную информацию базального текста для такого человека, то можно считать, что она тождественна эстетической информации этого текста.

Эксперимент по определению дидактической информации был проведен так [21]. Учащиеся после определения субъективной информации базального текста проработали соответствующую ему обучающую программу. Это была линейная программа, состоящая из 224 кадров и рассчитанная на проработку в течение 3—4 учебных часов. Затем эксперимент на угадывание базального текста был повторен (разумеется, с другими выборками). На рис. 2 показана субъективная информация базального текста до проработки обучающей программы «Четырехтактный двигатель» (верхняя кривая) и после ее проработки (нижняя). Для классов VI—X субъективная информация после обучения имеет практически одинаковую величину. Эту величину можно принять в качестве эстетической информации.

Вычитая из субъективной информации текста до обучения значение эстетической информации, получим значение дидактической информации, передаваемой в процессе обучения (рис. 3). Следовательно, можно сказать, что при проработке обучающей программы «Четырехтактный двигатель», например, в VI классе средней школы, учащимся была передана дидактическая информация в 2 250 бит, т. е. за урок передавалось 750 бит, со скоростью 0,2—0,3 бит/сек или около 10 бит/кадр.

Бросается в глаза, что дидактическая информация для классов VIII, IX и X падает. Причина заключена в том, что учащиеся этих классов уже имеют некоторые знания о четырехтактном двигателе. Для V класса субъективная информация и после обучения больше эстетической. Это значит, что обучение здесь не было эффективным, учащиеся V класса не овладели всей информацией обучающей программы.

Оценка результатов обучения по информационным характеристикам базального текста была сопоставлена с оценкой, полученной при помощи обычных в учебной практике тестов. Оказалось, что кривая, выражающая результаты тестирования, проходит приблизительно параллельно по отношению к кривой, характеризующей результаты определения субъективной информации [21].

В. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЛЯ АНАЛИЗА ОБУЧЕНИЯ

С точки зрения рассмотренной выше информационно-психологической модели памяти процесс обучения состоит в передаче дидактической информации поля восприятия в долговременную память. Поэтому, чтобы обучение могло проходить на оптимальном уровне, поток информации, направляемый адресату, должен быть согласован с параметрами этой модели и прежде всего с различием в величине скоростей поступления информации в непосредственную и долговременную память, а также с незначительной величиной емкости непосредственной памяти.

Для согласования обучения с различием долговременной и непосредственной памяти по скорости запоминания необходимо учитывать, что дидактическая информация некоторого текста уменьшается после его проработки. Поэтому для обеспечения оптимальных условий передачи информации в долговременную память обучающие программы должны составляться так, чтобы дидактическая информация поддерживалась инвариантной на максимально возможном уровне (определяемом емкостью непосредственной памяти) за счет варьирования текстового материала, а скорость потока общей информации оставалась равной 16 бит/сек.

Чтобы согласовать обучение с ограниченной емкостью непосредственной памяти необходимо учитывать, что суперзнаки формируются только из элементов, находящихся в сознании одновременно². Поэтому элементы, из которых должны формироваться суперзнаки, должны поступать в течение одной и той же длительности распознавания. Приняв, что (для линейных программ) на восприятие информации одного кадра, восприятие вопроса и сообщение ответа с контролем правильности требуется по одной длительности распознавания, можно принять, что программа должна строиться так, чтобы время проработки кадра составляло 30 сек. Нужно, далее, следить, чтобы непосредственная память не перегружалась за

¹ В другом месте Вельтнер называет ее синтаксической [20], однако это противоречит семиотическому пониманию термина «синтаксическая информация» [4].

² Положение о том, что связывание элементов в суперзнаки возможно только в том случае, когда элементы осознаются одновременно, Вельтнер называет «информационно-психологической гипотезой» [21]. По этому поводу необходимо заметить, что фактически здесь речь идет о давно известном в психологии необходимом, но, как подчеркивает П. А. Шварев [5], недостаточном условии образования ассоциаций по смежности.

счет незнакомых слов. Например, при первой встрече со словом «капилляр» учащийся воспринимает его на уровне алфавита букв и оно несет поэтому 30—40 *бит*, т. е. занимает значительную часть емкости непосредственной памяти. При «склеивании» этих букв в слово информация снижается до 5—10 *бит*. Имеет, следовательно, смысл предусматривать специальные упражнения для снижения информативности новых слов. Снижения информации можно достигать также за счет введения суперзнаков промежуточных уровней. Так, при изучении темы «Холодильник» информация, требующаяся для образования основного в этой теме понятия «циркуляция хладагента» при непосредственном восприятии превышает возможности непосредственной памяти, поэтому предварительно формируются вспомогательные понятия: охлаждение при испарении, испаритель, компрессор и т. д.

Требования к текстам, излагающим учебный материал, которые вытекают из необходимости согласования информации этих текстов с возможностями памяти, синтезируются Вельтнером [20] в понятии «порога читаемости» (*Lesbarkeitsgrenze*). Интуитивно ясно, что текст может быть трудным и легким, что легкий текст навеивает скуку, а трудный — вызывает страх. Что же можно считать здесь «золотой серединой»? Вельтнер предложил считать таковой трудность текста, информация которого заполняет емкость непосредственной памяти, но не превышает ее, так что текст может быть понят непосредственно, т. е. при первом чтении. Он считает, что это требование выполняется, если информация каждого предложения не превышает 160 *бит* и в то же время не слишком сильно отклоняется от этой цифры в сторону уменьшения. Приняв, что текст может быть понят непосредственно, если субъективная информация для более чем 90% предложений меньше 160 *бит*, и сопоставив статистические данные о средней длине предложений и слов в немецком языке [13] с данными своих экспериментов, Вельтнер приходит к выводу, что для использовавшихся им текстов порог читаемости составляет 1 *бит/знак*. Если субъективная информация выше этой величины, текст не будет понят при первом чтении, если она значительно ниже ее, текст может показаться банальным.

По мнению Вельтнера, предлагаемый им метод определения дидактической информации позволяет дополнить результаты, получаемые с помощью *mi*-диаграммы Аншютца (см. раздел 2 настоящей статьи), определением информативности отдельных понятий, составляющих обучающую программу. Здесь возможны две ступени приближения. Первая ступень: получаемая методом отгадывания дидактическая информация программы делится на число понятий, из которых она состоит. Вторая ступень: дидактическая информация понятия определяется непосредственно путем отгадывания текста, выражающего определение этого понятия. Предварительные исследования показали, что информативность понятий составляет от 20 до 150 *бит* [21].

Интересным аспектом использования метода Вельтнера может быть также определение информативности различных психологических тестов [21].

II. *mi*-ДИАГРАММА Х. АНШЮТЦА

А. ПОСТРОЕНИЕ *mi*-ДИАГРАММЫ

При построении этой диаграммы Аншютц исходил из метода составления обучающих программ, предложенного Е. Людвигом [16], [22], когда составлению программы предшествует выявление ее понятийного состава. Для этого понятия, которые должны быть усвоены при проработке программы, записываются в порядке их упоминания в программе и каждому понятию присваивается определенный код. Затем программа и положенный в ее основу алгоритм обучения представляется в кодированной форме, т. е. в виде последовательности символов, и на заключительном этапе переводится в текстовую форму. Аншютц [7], по его словам, «обернул» этот метод. Он предложил сводить готовую программу к списку составляющих ее понятий и на основе формального исследования этого списка делать выводы относительно ее эффективности. В список заносятся как понятия, непосредственно являющиеся объектом изучения, так и понятия, используемые для определения первых, поскольку дидактическая информация программы определяется и теми и другими. Например, если кадр программы имеет следующее содержание:

«1. Почему передняя часть резца подвергается особенно тщательной закалке?»

2. Что произойдет, если ты попытаешься обрабатывать резцом особенно твердо закаленную стальную плиту?»

То в список будут занесены из первого предложения два понятия: «передняя часть резца» и «закалка», а из второго — три: «обрабатывать резцом» или «обтачивать» и «стальная плита».

Понятия заносятся в список и нумеруются в порядке их упоминания в программе. Номера *m* понятий, встречающихся в *i*-м кадре, наносятся на координатную сетку. В результате получается *mi*-диаграмма (рис. 4), которая характеризует процесс обучения при проработке определенной обучающей программы от кадра к кадру, позволяет получить некоторые данные о дидактической информации этой программы и на этой основе оценить в известных пределах ее дидактические возможности [7], [8], [12].

Б. ОЦЕНКА ОБУЧАЮЩИХ ПРОГРАММ ПО *mi*-ДИАГРАММЕ

С помощью *mi*-диаграммы было исследовано большое количество обучающих программ. Оказалось, что число v новых понятий в кадре, которое определяет угол наклона линии, проведенной на диаграмме через крайние левые точки (передняя граница), является для всей программы постоянной величиной. Передняя граница является, следовательно, прямой линией с угловым коэффициентом v , а число m понятий, использовавшихся в программе, — довольно точной линейной функцией номера кадра.

Поскольку количество понятий в кадре не может неограниченно возрастать, естественно предположить наличие задней границы, т. е. линии, проходящей выше передней границы и параллельной ей с тем же угловым коэффициентом v . В области, расположенной выше зад-

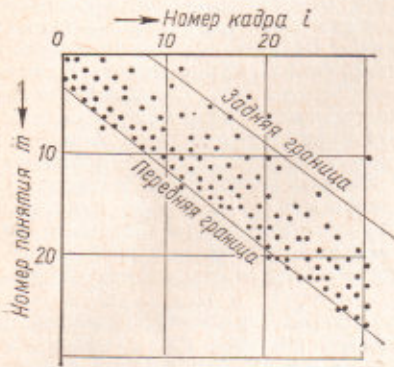


Рис. 4.

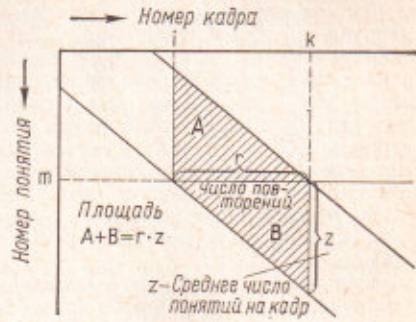


Рис. 5.

ней границы, понятия не появляются, поскольку они уже зафиксированы в памяти адресата. Таким образом, все упоминаемые в программе новые понятия располагаются в области, выделяемой передней и задней границами (поле упоминания). Необходимо однако иметь в виду, что в отличие от передней границы, существующей реально, задняя граница является только расчётной величиной, определяемой средним по программе числом z понятий в кадре (рис. 5).

Все упоминания какого-либо понятия с номером m лежат на линии, параллельной оси i и являются его повторениями. От кадра i , в котором это понятие появляется впервые, до кадра k , в котором оно встречается в последний раз, понятие употребляется повторно, т. е. с увеличением избыточности (redundant)¹. Эту избыточность можно охарактеризовать количественно с помощью специального параметра. Поскольку угол наклона границ поля упоминания определяется числом v новых понятий, то в каждом кадре в среднем имеется v новых понятий и z v повторно употребляемых понятий. Величину

$$\rho = \frac{z - v}{z}$$

по аналогии с теоретикоинформационным понятием избыточности Аншютц назвал понятийной избыточностью (Begriffsredundanz). Значение ρ может меняться от 0 до 1: $\rho = 1$, когда

¹ Избыточность в теории информации — это величина, характеризующая возможность представления сообщения в более экономной форме [6], [1]. В теории обучения понятие избыточности вводится на основе следующей схемы [9]. Если адресат получает от передатчика (обучающая программа, книжный текст и т. п.) последовательность некоторых элементов (букв, слов, понятий и т. п.), которые объективно характеризуются определенными безусловными и условными вероятностями, то для адресата в первый момент после начала обучения они будут субъективно равновероятными. Затем в процессе обучения субъективные вероятности будут приближаться к объективным и в конце обучения сравнятся с ними. Этот процесс перехода субъективных вероятностей в объективные можно охарактеризовать с помощью понятия избыточности, определяемого формулой:

$$R = 1 - \frac{H}{H_{\max}}$$

где H — текущее значение средней энтропии, а H_{\max} — максимально возможное значение энтропии, получающееся при условии равновероятности всех элементов сообщения. В первый момент, когда для адресата все элементы равновероятны, $H = H_{\max}$ и $R = 0$, в конце обучения, когда адресату в результате обучения известны объективные вероятности элементов, $H = 0$ и $R = 1$. Избыточность можно, таким образом, рассматривать как меру овладения адресатом информацией передатчика, т. е. как меру прогресса при обучении.

количество v новых понятий в кадре равно нулю, т. е. все понятия программы употребляются повторно; $\rho=0$, когда все понятия кадра новые, т. е. $z=v$ и, следовательно, ни одно понятие в программе не повторяется. Величина ρ является, таким образом, показателем того, в какой степени в программе соблюдается необходимое условие усвоения новых понятий — их повторяемость.

С учетом параметра ρ минимальную длину программы, т. е. минимальное количество кадров, можно определить по следующей формуле [7]:

$$I_0 = \frac{MH}{K_k(1-\rho)} = \frac{M}{z_0(1-\rho)}$$

где M — число понятий, из которых состоит изучаемая тема, H — средняя информативность понятия, $K_k=160 \text{ бит}$ — информационная емкость сознания по Х. Франку [10] (о ней см. раздел I настоящей работы), $z_0 = \frac{K_k}{H}$ — минимально допустимое число понятий в

кадре.

m_i — диаграмма позволяет получить и вторую характеристику понятийного состава программы.

Повторное употребление понятия с номером m происходит в виде высказываний, при образовании которых это понятие связывается с другими понятиями, находящимися в частях А и В параллелограмма, показанного на рис. 5. Общее количество понятий, участвующих в усвоении понятия m , выражается, следовательно, площадью этого параллелограмма (в дальнейшем будем называть его характеристическим параллелограммом), т. е. равно $A+B=rz$, где r — среднее число повторений понятия m . Площадь характеристического параллелограмма можно рассматривать поэтому как меру дидактической информации программы.

Если информационное содержание всех высказываний, определяемое площадью характеристического параллелограмма rz , распределить по отдельным понятиям, из которых состоят эти высказывания, то на каждое понятие придется $H \text{ бит}$, которые можно принять в качестве субъективной информации понятия. При первом упоминании понятия его субъективная информация будет максимальной. При каждом новом его упоминании эта информация будет уменьшаться на пока что неизвестную часть, которая зависит от среднего числа понятий в кадре (число сообщаемых высказываний тем больше, чем больше z) и ее можно поэтому положить равной zk .

С учетом этого и исходя из теории обучения, построенной на понятии избыточности [9], прогресс обучения, т. е. уменьшение субъективной информации на кадр, можно выразить так:

$$\Delta R = zk$$

Но для того, чтобы сумма всех снижений информации понятия, достигаемых в ходе проработки программы, была бы равна его первоначальной информации, число r его повторений должно быть по крайней мере таким, чтобы $r\Delta R=H$. Можно, следовательно, сказать, что должен существовать характеристический параллелограмм с фиксированной площадью \overline{rz} такой, что

$$\overline{rz} = \frac{H}{k}$$

В дальнейшем площадь \overline{rz} будем называть критической (Sollfläche).

Если площадь характеристического параллелограмма некоторой обучающей программы равна критической, то все понятия могут быть усвоены. Отклонение реальной площади от критической приведет к тому, что процесс обучения будет проходить не эффективно. Если характеристическая площадь больше критической, то это значит, что автор программы либо завысил оценку информационного содержания понятий (принятая величина H значительно превосходит подлежащую усвоению дидактическую информацию), либо недооценил способности учащихся (r слишком велико). Программа будет поэтому слишком легкой и, следовательно, скучной. Если же характеристическая площадь меньше критической, то программа будет слишком трудной (H мало и r мало). При проработке этой программы ее дидактическая информация будет уменьшена не полностью и обучение будет неэффективным.

В настоящее время точное значение критической площади неизвестно. Аншютц предлагает определить ее приблизительно следующим способом. Он принимает как гипотезу, что авторы существующих программ являются в среднем хорошими программистами и составленные ими программы являются оптимальными. Теперь критическую площадь можно определить, исследовав существующие программы. Такие исследования были проведены и критическая площадь оказалась равной $\overline{rz}=21,4 \pm 20\%$. Поскольку взяты для исследования программы сильно различались между собой по материалу, то Аншютц считает, что величина отклонения невелика и что, следовательно, понятие «средний программист» является полезной абстракцией.

Для количественной оценки отклонения фактической площади характеристического параллелограмма от критической Аншютц вводит понятие избыточного упоминания ($\ddot{U}berschusserw\u00e4hnung$), которое определяет так:

$$\mu = \frac{rz - \overline{rz}}{\overline{rz}}$$

Теоретически значение μ может меняться от $+1$ до $-\infty$. Равенство избыточного упоминания нулю означает, что с точки зрения среднего программиста программа составлена так, что ее дидактическая информация может быть полностью усвоена учащимися. Поэтому в качестве первого приближения при оценке программы оптимальными можно считать значения μ близкие к нулю.

В. ОЦЕНКА ТЕКСТОВ С ПОМОЩЬЮ ПАРАМЕТРОВ ρ И μ

С помощью mi — диаграммы было исследовано большое количество разнообразных текстов: обучающие программы на немецком и английском языках, тексты из школьных учебников, деловые письма, литературные отрывки и даже психоаналитические протоколы [8].

Эти исследования показали, что, зная параметры ρ и μ можно осуществить непосредственное сравнение различных текстов. Если по горизонтальной оси отложить значения μ , а по вертикальной — значения ρ , то

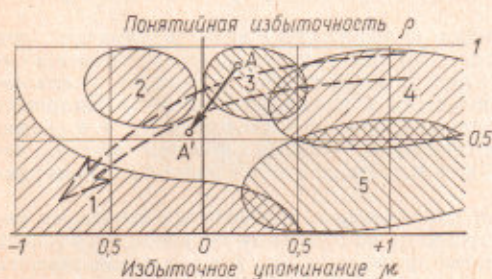


Рис. 6.

каждая точка в полученной координатной системе (рис. 6) будет характеризовать некоторый текст. Выделенные на рис. 6 области принадлежат различным видам текстов. Область 1-я соответствует нормальным текстам учебных пособий. В области 2-й располагаются обучающие программы математического содержания. Области 3-я и 4-я характеризуют обучающие программы более конкретного содержания, а область 5-ю составляют тексты с большим количеством непонятных слов, например, цитаты на латинском языке.

При проведении экспериментов с учащимися обнаружилось, что на $\rho\mu$ — диаграмме время усвоения на кадр программы увеличивается в направлении, указанном на рис. 6 большой пунктирной стрелкой. Иначе говоря, если для обучения одной и той же теме будут составлены две программы и характеристические точки этих программ, определяемые значениями ρ и μ , расположатся на диаграмме одна левее другой, то время проработки будет в первом случае больше, чем во втором. Исследование этого явления показало, что каждому учащемуся на $\rho\mu$ — плоскости может быть поставлена в соответствие определенная точка (точка учения), положение которой будет характеризовать способность этого учащегося к обучению. Так, точки А и А' принадлежат учащимся с разными способностями, причем коэффициент IQ уменьшается от А к А' в направлении, указанном на рис. 6 маленькой стрелкой¹.

При изложении своего метода оценки обучающих программ, Аншютц подчеркивает, что введенные им параметры ρ и μ не могут, конечно, служить исчерпывающей характеристикой программ. Наличие оптимальных значений этих параметров еще не гарантирует, что программа будет эффективной. Но если параметры неоптимальны, то можно с уверенностью утверждать, что программа составлена плохо и нуждается в переработке. Оптимальность параметров ρ и μ является, следовательно, необходимым, но недостаточным условием оптимальности обучающих программ.

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Автоматизация производства и промышленная электроника. М., Изд-во «Советская энциклопедия», 1962.
2. Кулагина О. С., Мельчук И. А. Современное состояние машинного перевода. Сб. «Проблемы кибернетики», М., 1968, № 20.
3. Ланда Л. Н. Алгоритмы и программированное обучение. М., 1965.
4. Черри К. О логике связи (синтактика, семантика, прагматика). В сб.: «Инженерная психология», М., Изд-во «Прогресс», 1964.
5. Шеварев П. А. О роли ассоциаций в процессах мышления. Сб. «Исследования мышления в советской психологии», М., Изд-во «Наука», 1966.
6. Шеннон К. Предсказания и энтропия печатного английского текста. Работы по теории информации и кибернетике. М., Изд-во «Иностранная литература», 1963.

¹ Это следует, по-видимому, понимать так. Если обучающая программа, составленная для изучения некоторой темы, соответствовала точке А' и была для адресата оптимальной по трудности, то программа для изучения той же темы, но соответствующая точке А, будет для этого адресата слишком трудной.

- 6а. Шрейдер Ю. А. О семантических аспектах теории информации. Сб. «Информация и кибернетика». М., «Советское радио», 1967.
7. A n s c h ü t z H. Über die Verteilung der semantischen Information in Lehrprogrammtexten. Grundlagenstudien aus Kybernetik und Geisteswissenschaft, 6/1, 1965.
8. A n s c h ü t z H. Die Verteilung der Begriffe in Lehrprogrammtexten. In: Frank (Hsg): Lehrmaschinen in kybernetischer und pädagogischer Sicht, Bd 3, Klett — Oldenbourg, Stuttgart — München, 1965.
9. C u b e F. Die Redundanztheorie des Lernens und ihre Anwendung bei Lehrmaschinen. In: Frank (Hsg): Lehrmaschinen in kybernetischer und pädagogischer Sicht, Bd. 2, Klett — Oldenbourg, Stuttgart — München, 1963.
10. F r a n k H. Kybernetische Grundlagen der Pädagogik. Eine Einführung in die Informationspsychologie. Agis Verlag, Baden — Baden, 1962.
11. F r a n k H. Der 4. Symposium über Lehrmaschinen. In: Frank (Hsg): Lehrmaschinen in kybernetischer und pädagogischer Sicht, Bd. 4, Klett — Oldenbourg, Stuttgart — München, 1966.
12. F r a n k H. Lehralgorithmen und Lehrautomaten: In: Kroebe (Hsg): Fortschritte der Kybernetik, Oldenbourg Verlag, München — Wien, 1967. Русский перевод: Алгоритмы обучения и обучающие автоматы. «Зарубежная радиоэлектроника», 1969, № 6.
13. F u c k s W. Gibt es mathematische Gesetze in Sprache und Musik? In: Frank (Hsg): Kybernetik — Brücke zwischen den Wissenschaften. Umschau — Verlag, Frankfurt/M., 3. Aufl., 1964.
14. L a n g e r D. Die Informationstheorie und Psychologie. Hogrefe, Göttingen, 1962.
15. L e x i k o n der Kybernetik. Schnelle, Quikborn, 1964.
16. L u d w i g E. H. Die Technik zur Herstellung von Lehrprogrammen. Rattin-gen, 1965.
17. R i e d e l H. Die Altersabhängigkeit informationspsychologischer Parameter und ihre mögliche Bedeutung für Lehralgorithmen. In: Frank (Hgs): Lehrmaschinen in Kybernetischer und pädagogischer Sicht, Bd. 2, Klett — Oldenbourg, München—Stuttgart, 1964.
18. R i e d e l H. Empirische Untersuchungen zu einem informationspsychologischen Gedächtnismodell. Grundlagenstudien aus Kybernetik und Geisteswissenschaft, Heft 1, 1967.
19. R i e d e l H. Die Bestimmung von Speicherdaten und Zerfallskonstanten für ein informationspsychologisches Gedächtnismodell. Grundlagenstudien aus Kybernetik und Geisteswissenschaft, Heft 1, 1967.
20. W e l t n e r K. Informationspsychologische Ansätze in der Pädagogik. In: Kroebe (Hsg): Fortschritte der Kybernetik, Oldenbourg Verlag, München — Wien, 1967. Русский перевод: Информационно-психологический подход в педагогике. «Зарубежная радиоэлектроника», 1968, № 12.
21. W e l t n e r K. Der Shannonsche Patetest in der Praxis der programmierten Instruktion. In: Frank (Hsg): Lehrmaschinen in Kybernetischer und pädagogischer Sicht, Bd. 4, Klett — Oldenbourg, Stuttgart — München, 1966.
22. Z i e f r e u n d W. Ein strukturanalytisches Diagramm als Hilfsmittel bei der Herstellung von Lehrprogrammen. In: Frank (Hsg): Lehrmaschinen in Kybernetischer und pädagogischer Sicht, Bd. 4, Klett — Oldenbourg, Stuttgart — München, 1966.

