4. Романенкова Д. Ф. Развитие региональных систем инклюзивного высшего образования через деятельность ресурсного учебно-методического центра // Инклюзивная культура в современном обществе. Сборник трудов Международной научно-практической конференции. Новосибирск, 2018. С. 134–141.

5. Четверикова Т. Ю. Характеристика педагогических работников, задействованных в системе инклюзивного образования // Детство, открытое миру : сб. материалов Всерос. науч.-практ. конф. Омск : Изд-во ОмГПУ, 2017. С. 196–200.

6. Федеральный Закон «Об образовании в Российской Федерации» от 29 декабря 2012 г. № 273-ФЗ // Российская Газета // 2013. 31 дек. URL: http://www.rg.ru/2012/12/30/obrazovanie-dok.html (дата обращения: 17.10.2019).

7. Федеральный государственный образовательный стандарт для обучающихся с ограниченными возможностями здоровья : ФГОС обучающихся с ограниченными возможностями здоровья. URL: http://fgos-ovz.herzen.spb.ru/?page_id=556 (дата обращения: 18.10.2019).

8. Павелко Н. Н., Павлов С. О. Психология и педагогика. М. : Кнорус, 2018. 496 с.

9. Щербаков С. В. Реализация компетентностного подхода в обучении студентов по направлению «Специальное (дефектологическое) образование» // Вестн. Ом. гос. пед. ун-та. Гуманитар. исслед. 2015. № 3 (7). С. 129–131.

© Кузьмина О. С., Чекалева Н. В., 2019

УДК 37.02
Науч. спец. 13.00.01
DOI: 10.36809/2309-9380-2019-24-154-158

Р. В. Майер
R. V. Mayer

ЗАВИСИМОСТЬ ТРУДНОСТИ ВОСПРИЯТИЯ ИНФОРМАЦИОННОГО БЛОКА ОТ ЕГО ОБЪЕМА

Автор статьи отмечает, что изучение нового материала можно представить как последовательное усвоение информационных блоков: слов, предложений, абзацев, математических высказываний, доказательств теорем, выводов формул. На примере чтения бессмысленных слов различной длины проанализированы математические и компьютерные модели, связывающие трудность усвоения блока информации с его объемом. Рассмотрены линейная модель, экспоненциальная модель, а также имитационные модели без возврата и с возвратом к началу блока. Установлено, что: 1) при высокой скорости восприятия отдельных элементов трудность овладения информационным блоком невелика и прямо пропорциональна его длине; 2) при низкой скорости восприятия с ростом объема блока трудность его понимания резко возрастает по экспоненте.

Ключевые слова: дидактика, восприятие, забывание, модель, слово, сложность, трудность.

DEPENDENCE OF PERCEPTION DIFFICULTY OF INFORMATION UNIT ON ITS VOLUME

The author of the article writes that the study of the new educational material can be represented as a consequent retention of information units: words, sentences, paragraphs, mathematical statements, theorem proofs, and formulas derivations. On the example of reading senseless words of various lengths, the mathematical and computer models are analysed, which relate the retention difficulty of the information unit with its volume. A linear model, an exponential model, as well as simulation models without and with return to the beginning of the unit are considered. It was established that: 1) at a high speed of the individual elements perception, the difficulty of mastering the information unit is insignificant and directly proportional to its length; 2) at a low speed of perception with the growth of the unit volume, the understanding difficulty increases exponentially.

Keywords: didactics, perception, obliteration, model, word, complexity, difficulty.

Результат обучения напрямую зависит от способности ученика воспринимать, понимать и запоминать информацию, сообщаемую учителем. Учебная информация дискретна, она состоит из связанных между собой информационных блоков (И-блоков): слов, предложений, абзацев, математических высказываний, химических уравнений, рисунков, выводов формул и т. д. Ограничимся рассмотрением последовательностных И-блоков $A(a_1, a_2, ..., a_n)$, каждый из которых является системой связанных между собой элементов информации (ЭИ), расположенных друг за другом и воспринимаемых учеником последовательно: слова, предложения, уравнения и т. д. Обсуждая усвоение данного И-блока конкретным учеником, говорят о трудности И-блока, показывающей количество усилий, которые вынужден затратить данный ученик для его усвоения. Актуальной является проблема зависимости трудности восприятия И-блока от его объема (числа составляющих элементов) и вероятности узнавания элементов a_i при прочих равных условиях. Возможны два подхода к ее решению: 1) проведение психологических экспериментов, позволяющих измерить усилия, затрачиваемые учеником на изучение И-блока различного объема и типа; 2) создание и изучение математических и/или компьютерных моделей восприятия последовательностного И-блока из общедидактических соображений.

Цель работы состоит в изучении различных математических и компьютерных моделей, объясняющих зависимость трудности восприятия И-блока (чтения слова), состоящего из логически несвязанных элементов (букв, слогов), от их количества и средней вероятности распознавания элемента. Методологической основой исследования являются работы Ю. А. Шрейдера, А. А. Шарова [1], В. И. Новосельцева, Б. В. Тарасова, В. К. Голикова, Б. Е. Демина [2] (системный подход), Д. А. Новикова [3], А. К. Гуца [4], В. Ф. Венды [5], Л. П. Леонтьева, О. Г. Гохмана [6], Дж. Марри [7] (кибернетический подход), А. П. Свиридова [8], А. В. Соловова [9], Ф. С. Робертс [10], Р. Р. Буш, Ф. А. Мостеллер [11] (математическое моделирование дидактических систем), Ю. Н. Павловского, Н. В. Белотелова, Ю. И. Бродского [12], Р. Шеннона [13] (имитационное моделирование).

1. Обсуждение

Проблема понимания И-блоков в общем случае достаточно сложна, поэтому мы ограничимся вопросом о понимании слов различной длины, о зависимости трудности понимания слова от количества слогов в нем и вероятности правильного узнавания слога. Методами экспериментальной психологии установили, что повышение информативности сигнала (раздражителя) приводит к увеличению времени реакции человека (закон Хика); чем больше объем сообщения (число ЭИ), тем больше времени требуется мозгу для его понимания и усвоения. При математическом моделировании ученик, читающий текст, заменяется абстрактной моделью, способной изменять свое внутреннее состояние, воспринимать и забывать информацию в соответствии с заданными математическими уравнениями. Чтобы задать абстрактную модель чтеца, необходимо логически и математически описать связь входных сигналов (букв, слов) с изменением его внутреннего состояния в процессе чтения текста. Деятельность ученика, воспринимающего И-блоки, также может быть промоделирована на компьютере с помощью достаточно сложного вероятностного автомата, который в зависимости от входных сигналов (читаемых букв или слогов) и предыдущего состояния с заданной вероятностью переходит в другое состояние, вырабатывая выходные сигналы.

Условием эффективного запоминания И-блока $A(a_1, a_2, ..., a_n)$ является его понимание; оно требует: 1) восприятия всех его элементов и соединяющих их связей; 2) встраивание их в систему имеющихся знаний. Будем считать, что ученик понял И-блок, если он способен его воспроизвести через 1–3 минуты после восприятия: повторить слово, предложение, рассуждение, записать формулу и т. д. Понимание И-блока аналогично составлению головоломки из отдельных кусочков. Отличие в том, что: 1) ЭИ постепенно воспринимаются учеником и поступают в мозг последовательно один за другим; 2) поступившие в память ЭИ начинают сразу забываться. Если скорость восприятия ЭИ невелика, то ученик не успеет сложить головоломку (понять ИБ), так как когда он дойдет до последнего ЭИ a_n, он забудет первые a_1 и a_2. Важно, чтобы время восприятия всех ЭИ, составляющих данный И-блок, было меньше времени забывания отдельных ЭИ.

Каждое слово — система слогов (букв), связанных между собой связями. На понимание и запоминание И-блока влияет тезаурус ученика: поступающие ЭИ запоминаются прочнее, если ученик может связать их с имеющимися у него знаниями. Ассоциативные связи между прочитанной частью слова и словами, составляющими словарный запас чтеца, облегчают чтение и понимание прочитанного. Если два ЭИ a_i и a_j связаны между собой, то понимание элемента a_i увеличивает вероятность понимания элемента a_j и уменьшает скорость их забывания. Ученик, прочитав половину слова, часто способен догадаться о непрочитанной части слова. Чтобы исключить влияние логических и ассоциативных связей будем рассматривать чтение «бессмысленных слов», состоящих из двухбуквенных слогов, не связанных между собой, каждый из которых содержит гласную и согласную буквы, например слова «радыфеватинокиза» или «ливыде». Для повышения практической значимости результатов в качестве объекта исследования следует рассматривать не отдельные слова, а единую кибернетическую систему, состоящую из ученика, читающего последовательность слов определенной длины. Если ученик работает с постоянным напряжением, то трудность $Tr(n)$ слова длиной n характеризуется средним временем, необходимым для его прочтения.

2. Результаты математического моделирования

Понимание учеником И-блоков (слов) — сложный и плохо формализуемый процесс. В соответствии с принципом о множественности описания сложных систем рассмотрим несколько моделей, связывающих трудность $Tr(n)$ восприятия (чтения) слова с его длиной n.

1. Линейная модель. Пусть ученик работает с оптимальным напряжением, тогда его усилия прямо пропорциональны затратам времени. Если бы информация хранилась в памяти сколь угодно долго, то трудность (время) чтения слова была бы пропорциональна его длине или количеству слогов $Tr(n) = kn$. Прочитать слово из 6 слогов примерно в 2 раза труднее, чем слово из 3 слогов, и в 3 раза труднее, чем слово из 2 слогов. Эта модель соответствует ситуации, когда человек хорошо читает и скорость восприятия ЭИ существенно больше скорости забывания. Модель не учитывает, что из-за ограниченности кратковременной памяти ребенок, медленно читающий длинное слово, может забыть его начало и не понять прочитанное.

2. Экспоненциальная модель 1. Трудность чтения слова при увеличении количества слогов на 1 возрастает в $k = e^b$ раз ($k > 1$). Если трудность чтения односложного слова $Tr(1) = 1$, то двусложного — $Tr(2) = k = e^b$, трехсложного — $Tr(3) = k^2 = e^{2b}$, слова из четырех слогов — $Tr(4) = k^3 = e^{3b}$ и т. д. В общем случае трудность слова из n слогов $Tr(n) = k^{n-1} = e^{(n-1)b}$, т. е. связана с количеством слогов экспоненциальной зависимостью. Величина $k = e^b$ зависит от степени подготовленности чтеца. Допустим, она принимает значения 1,2; 1,3; 1,4; 1,5; 1,6 (рис. 1.1). У начинающего чтеца (первоклассника) $k_1 = 1{,}6$ ($b_1 = 0{,}47$), и с увеличением n трудность чтения растет по крутой экспоненте, а у опытного чтеца (одиннадцатиклассника) $k_{11} = 1{,}2$ ($b_{11} = 0{,}18$) — практически пропорционально n. Получается, что слова длиной $n = 3$ для первоклассника также трудны, как для одиннадцатиклассника слова с n = 6-7, а трудность чтения слова из 8 слогов для первоклассника в 7,5 раза выше, чем для одиннадцатиклассника. Читая длинные слова, первоклассник затрачивает много усилий и быстро устает, у него снижается мотивация, он перестает читать текст. При обучении происходит уменьшение b и k, трудность чтения длинных слов снижается.

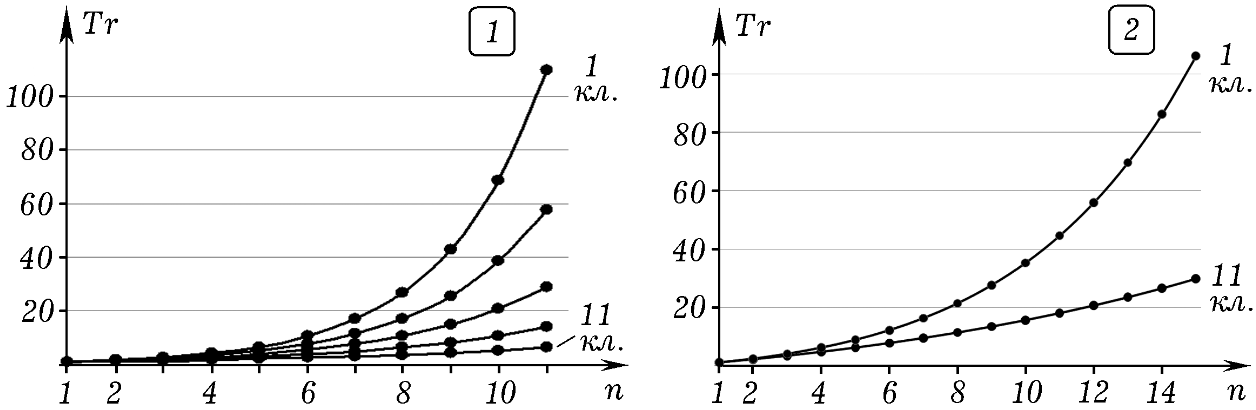

Рис. 1. Зависимость *Tr(n)*: экспоненциальные модели 1 и 2

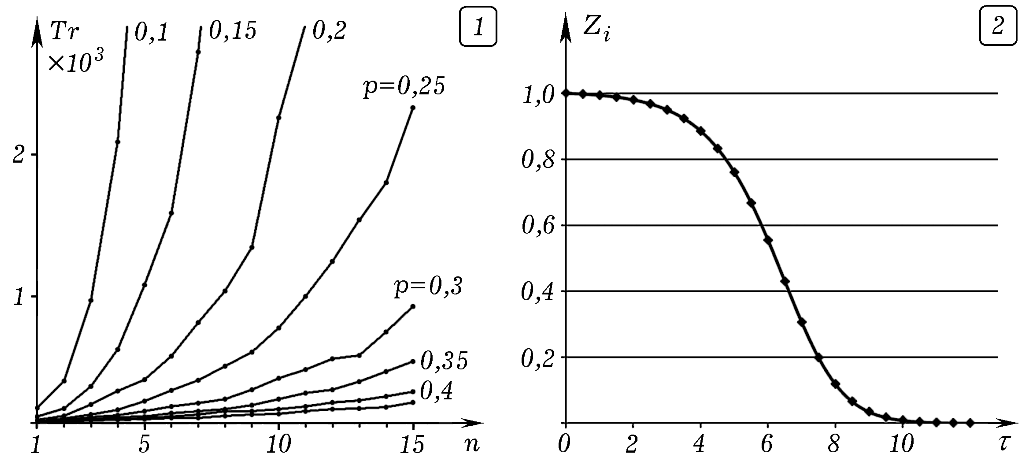

Рис. 2. Модель с экспоненциальным (1) и логистическим (2) забыванием

3. Экспоненциальная модель 2. Ученик может выучить все буквы, но не научиться складывать из них слова. Произнести слитно слог «ва» или «ко» сложнее, чем составляющие его буквы по отдельности. Прочитать *n* букв по отдельности в *n* раз сложнее, чем 1 букву, но проще, чем прочитать слово из *n* букв. Пусть ученик хорошо знает все буквы, а каждая связь в среднем увеличивает трудность прочтения слова в $S_{св}$ = 1,1 раза. Трудность чтения *n* букв по отдельности равна nS_b, где $S_б$ = 1 — средняя трудность чтения одной буквы. Слова из 2 букв имеют одну связь, поэтому $Tr(2) = 2S_б S_{св}^1 = 2S_{св}$. Слова из 3 букв имеют две связи, поэтому $Tr(3) = 3S_б S_{св}^2 = 3S_{св}^2$. Если в слове *n* букв, то в нем (*n*–1) связей; получаем: $Tr(n) = nS_б S_{св}^{(n-1)} = nS_{св}^{(n-1)}$. Пусть для некоторого ученика, сложность связи в 1,1 раза выше сложности буквы: $S_{св}$ = 1,1. Тогда сложность слова из 8 букв в 2,9 раза сложнее слова из 4 букв и в 7 раз сложнее слова из 2 букв. На рисунке 1.2 изображены графики *Tr(n)* при *k* = 1,05–1,15. По мере обучения величины S_b и $S_{св}$ уменьшаются, трудность понимания длинных слов снижается.

Получающиеся результаты зависят от выбора математической модели *Tr(n)* и ее параметров. Для одиннадцатиклассника *Tr* почти пропорциональна *n*; для первоклассника *Tr* с ростом *n* возрастает по экспоненте.

3. Результаты компьютерного моделирования

Возможны два алгоритма чтения с учителем: 1) ученик читает слова; в случае совершения ошибки чтения слога учитель дает знак (говорит: «неверно»), и ученик еще раз читает слог, в котором ошибся, а затем продолжает читать слово; 2) ученик читает слова; в случае ошибки учитель дает знак, и ученик возвращается к началу слова и пытается его прочитать снова. Уровень знания (или вероятность правильного припоминания) *i*-слога обозначим *Z(i);* его значение лежит в интервале [0; 1]. Модель должна учитывать следующее: 1) сразу после прочтения слога Z_i = 1; 2) при переходе к следующему (*i*+1)-слогу только что прочитанный *i*-слог начинает забываться; 3) на каждом временном шаге из-за забывания уровень знания каждого прочитанного слога Z_i плавно уменьшается до 0; 4) если ученик читает один и тот же *i*-й слог S_i раз, то скорость забывания уменьшается в (bS_i+1) раз; 5) после прочтения всего слова вероятность его понимания равна произведению $P_{пон} = Z_1 Z_2 Z_3 \dots Z_N$.

Имитационная модель 1 (ЭИ забываются по экспоненте). Для конкретного ученика можно определить среднюю вероятность *p*, с которой он правильно прочитывает слог (ЭИ) за время *Δτ*. От *p* зависит среднее число попыток (а значит и среднее время) чтения слога. Чем больше в слове слогов, тем больше время чтения слова. После прочтения слога чтец начинает его забывать, вероятность его припоминания Z_i уменьшается по экспоненциальному закону.

Компьютерная программа, моделирующая чтение слов заданной длины, написана на языке Pascal. В ее начале задается число слов *M*, количество слогов *n*, коэффициент забывания *g* = 0,03, вероятность правильного чтения слога *p*

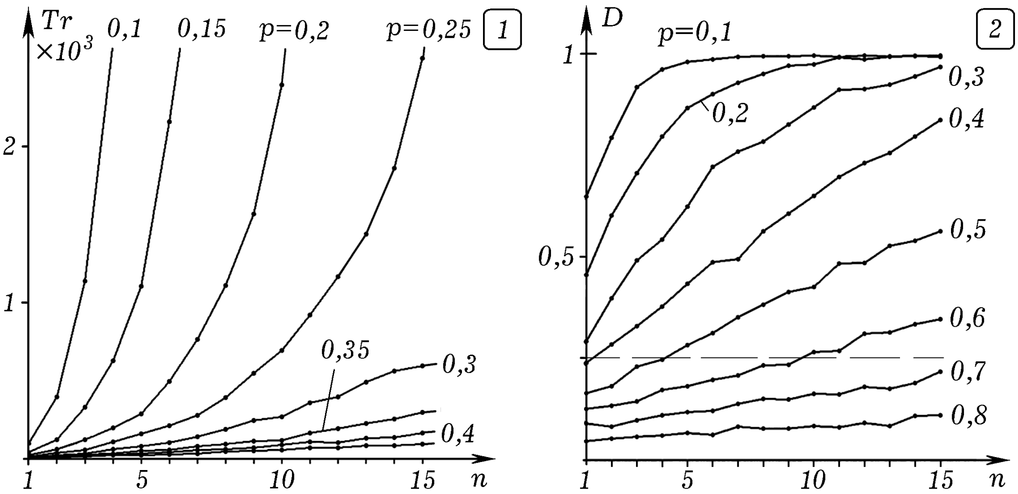

Рис. 3. Зависимости *Tr(n)* и *D(n)* при различных *p* (модель без возврата)

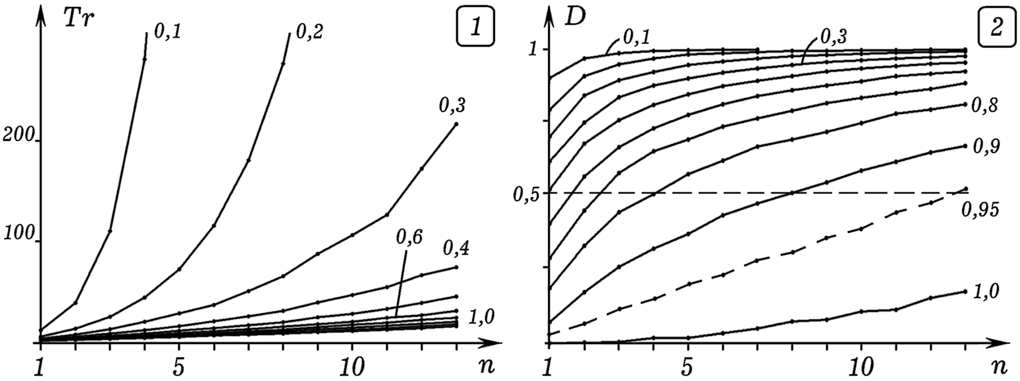

Рис. 4. Зависимости *Tr(n)* и *D(n)* при различных *p* (модель с возвратом)

за время Δт = 1 УЕВ (усл. ед. времени), определяющая скорость чтения. Если p = 0,25, то за 1 УЕВ ученик в среднем прочитает 0,25 слога.

Программа содержит цикл по времени, в котором τ увеличивается на $\Delta\tau$ = 1. В теле цикла моделируется чтение слогов как случайный процесс. Если *i*-й слог прочитан правильно, то Z_i присваивается 1, а если нет, то ученик пытается прочитать его снова. На каждом временном шаге учитывается забывание по закону $dZ_i/d\tau = -gZ_i$, где g = 0,03/ (bs_i+1) — коэффициент забывания, который уменьшается с ростом числа обращений s_i. В конечных разностях: $Z_i^{t+1} = Z_i^t - gZ_i^t\,\Delta\tau$. Когда прочитаны все слоги в данном слове, определяется вероятность понимания слова как произведения всех Z_i: $P_{пон} = Z_1Z_2... Z_n$. Опять генерируется случайное число x интервала [0; 1]; если $x < P_{пон}$, то считается, что ученик понял слово и счетчик понятых слов N' увеличивается на 1. Так продолжается до тех пор, пока N' не станет равно M. На экран выводится среднее время чтения бессмысленных слов с заданным числом слогов n (оно равно трудности Tr). На рисунке 2.1 изображены получающиеся графики при различных p. Когда $p > 0,4$, трудность Tr почти линейно зависит от n. У начинающего чтеца ($p < 0,3$) трудность Tr с ростом n возрастает по экспоненте.

Имитационная модель 2 (ЭИ забываются по логистическому закону). Рассмотрим чтение без возврата к началу слова. Пусть воспринятые слоги (ЭИ) начинают забываться не сразу, а через некоторое время. Вероятность припоминания слогов уменьшается от 1 почти до 0 по логистическому закону (рис. 2.2):

$$\frac{dZ}{\Delta\tau} = -gZ(1,005 - Z),$$

$$Z_i^{t+1} = Z_i^t - Z_i^t(1,005 - Z)\Delta\tau.$$

Получаются аналогичные результаты на рисунке 3. При достаточно большой вероятности чтения слога (p > 0,3) за время $\Delta\tau$ с ростом числа слогов n от 1 до 15 время чтения возрастает практически линейно от 0 до 215 УЕВ (рис. 3.1). Если навык чтения сформирован плохо ($p < 0,3$), то трудность чтения слов по мере увеличения n резко возрастает по экспоненциальному закону.

Допустим, ученик в случае непонимания слова способен его перечитывать 5 раз. Если после этого он не понял его, тогда получает подсказку от учителя и переходит к следующему слову. Каждый раз, когда чтец ошибается, счетчик ошибок увеличивается на 1. На рисунке 3.2 показаны графики зависимостей доли ошибок $D = N_{ош}/(M + N_{ош})$ от числа слогов n при различных p. Пусть ученик читает текст с долей ошибок $D < 0,25$ (т. е. учитель вынужден подсказывать каждое четвертое слово или реже). Проведем горизонтальную линию $D = 0,25$. При p > 0,7 он сможет читать слова с n ≤ 15, при p = 0,5 — слова с n ≤ 4.

Имитационная модель 3 (с возвратом к началу слова). Пусть ученик читает M = 1000 слов длиной n слогов. Если за время $\Delta\tau$ слог правильно прочесть не удалось, ученик делает еще одну попытку прочитать данный слог. Время τ увеличивается на $\Delta\tau$, из-за забывания знания всех слогов изменяются на $dZ_i = -dZ_i\Delta\tau$. Если ученик не прочел слог с 5-й попытки (за $5\Delta\tau$), он возвращается к началу слова (при этом τ увеличивается на $\Delta\tau$) и начинает читать его с первого слога. Программа для каждого слога подсчитывает количество обращений s_i и вычисляет коэффициент забывания $g = 0{,}05/(1 + s_i)$. На рисунке 4 показаны графики зависимостей $Tr(n)$ и $D(n)$ при различных вероятностях p. При $p = 0{,}2$ трудность чтения слова с $n = 5$ равна 80, а при $p = 0{,}4$ трудность чтения слов с $n = 10$ составляет 50 (см. рис. 4.1). Когда $p \geq 0{,}5$ трудность восприятия И-блока пропорциональна числу ЭИ n. Доля ошибок D по мере увеличения n и уменьшения p возрастает, стремясь к 1 (см. рис. 4.2).

Таким образом, в статье анализируется зависимость трудности восприятия И-блока (слова) от его длины (количества слогов). При этом рассмотрены: 1) линейная модель; 2) экспоненциальная модель; 3) имитационная модель без возврата к началу слова; 4) имитационная модель с возвратом к началу слова. Учтено, что воспринимаемая несвязанная информация забывается по экспоненциальному или логистическому закону. Построены графики зависимостей трудности восприятия И-блока Tr и D и доли ошибок от его длины. Показано, что: 1) при достаточно большой вероятности восприятия отдельных ЭИ трудность понимания всего И-блока невелика и прямо пропорциональна n; 2) при низкой скорости восприятия ЭИ (по сравнению со скоростью забывания) трудность усвоения И-блока с ростом n увеличивается по экспоненциальному закону.

В моделях специально не учитывается, что человек может сохранять в своей кратковременной памяти 7 ± 2 ЭИ, так как в этом нет необходимости. Мозг человека — это сложная нейросеть, в нем отсутствует орган с 7 дискретными ячейками памяти. Психологические эксперименты показывают, что объем кратковременной памяти в процессе тренировок может незначительно увеличиваться. Биологическая эволюция привела к появлению организмов (людей), которые могли запоминать 5–9 несвязанных ЭИ. Этих способностей оказалось достаточно для развития языка и науки, построения современной цивилизации. Почему человек не может запомнить больше? Видимо, скорость забывания несвязанной информации достаточно высока и сравнима со скоростью восприятия. В случае, когда воспринятая информация связывается с уже имеющимися знаниями, то возникают замкнутые циклы, соответствующие установленным логическим и ассоциативным связям, информация запоминается надолго (помещается в долговременную память).

1. Шрейдер Ю. А., Шаров А. А. Системы и модели. М. : Радио и связь, 1982. 152 с.

2. Теоретические основы системного анализа / В. И. Новосельцев, Б. В. Тарасов, В. К. Голиков, Б. Е. Демин. М. : Майор, 2006. 592 с.

3. Novikov D. A. Cybernetics: From Past to Future. Studies in Systems, Decision and Control. Springer International Publishing, 2016. 107 p.

4. Гуц А. К. Кибернетика : учеб. пособие. Омск : Изд-во Ом. гос. ун-та, 2014. 188 с.

5. Венда В. Ф. Системы гибридного интеллекта: Эволюция, психология, информатика. М. : Машиностроение, 1990. 448 с.

6. Леонтьев Л. П., Гохман О. Г. Проблемы управления учебным процессом: Математические модели. Рига, 1984. 239 с.

7. Murray J. Cybernetic Circularity in Teaching and Learning // International Journal of Teaching and Learning in Higher Education. 2006. Vol. 18. № 3. P. 215–221.

8. Свиридов А. П. Основы статистической теории обучения и контроля знаний. М. : Высшая школа, 1981. 262 с.

9. Соловов А. В. Электронное обучение: проблематика, дидактика, технология. Самара : Новая техника, 2006. 462 с.

10. Робертс Ф. С. Дискретные математические модели с приложениями к социальным, биологическим и экологическим задачам. М. : Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986. 496 с.

11. Bush R. R., Mosteller F. A Stochastic Model with Applications to Learning. URL: https://projecteuclid.org/download/pdf_1/euclid.aoms/1177728914 (дата обращения: 12.02.2019).

12. Павловский Ю. Н., Белотелов Н. В., Бродский Ю. И. Имитационное моделирование : учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. М. : Академия, 2008. 236 с.

13. Шеннон Р. Имитационное моделирование систем: искусство и наука. М. : Мир, 1978. 302 с.

© Майер Р. В., 2019