

КРИТИЧЕСКИЕ ПЕРИОДЫ В ПРОЦЕССАХ КЛАССИФИКАЦИИ ЧЕЛОВЕКОМ МНОЖЕСТВА ПРОСТЫХ ОБЪЕКТОВ

В. Д. Магазанник, В. И. Кузьмин

ПРОБЛЕМА И ЗАДАЧА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследованию процесса классификации посвящено много работ. Основное внимание авторы уделяли характеру различных признаков и влиянию длины алфавита сигналов на время и точность процесса опознавания объектов человеком.

Цель настоящей работы — исследование закономерных отношений между количеством учитываемых классов, составляющих их элементов и уровнем тренировки.

Основной теоретической предпосылкой данного исследования явилась гипотеза о том, что общие закономерности функционирования иерархических систем распространяются также и на психические процессы. Интерес к выявлению общих закономерностей функционирования сложных систем, методов их аналитического описания и моделирования в последние годы резко возрос. В психологической науке это отражается во все более отчетливом осознании необходимости системного охвата множества разнородных фактов и подходов в рамках определенной концепции [1—3]. Становятся общепризнанными представления об основных психических процессах (восприятие, мышление, память) как об единой иерархически организованной структуре. Эти представления идейно переплетаются с концепциями современной когнитивной психологии и оказывают заметное воздействие на многие традиционные области психологических исследований. При этом глубину и детальность разработки тех или иных концепций следует, видимо, оценивать по возможности и широте их воплощения в математических моделях, позволяющих прогнозировать характеристики деятельности человека в достаточно представительном диапазоне задач. Следует отметить, что три указанных переменные (количество классов, общее количество объектов и уровень тренировки), будучи перенесенными в область известных иерархически организованных систем, являются необходимыми и достаточными для определения состояния системы в каждый момент времени; количество классов в этом случае составляет аналогию с количеством уровней иерархии, количество объектов — с «заполненностью» этих уровней, а уровень тренировки (количество реализаций или время работы в зависимости от характера деятельности) — с временной осью.

Второй предпосылкой явилась близость таких задач к инженерно-психологической практике.

Взаимосвязи между количеством учитываемых классов, составляющих их элементов и уровнем тренировки (подготовки) лежат в основе большинства принимаемых человеком решений; целый ряд задач можно в принципе свести к данной задаче. Например, при разработке искусственных языков большую сложность представляет обоснование оп-

тимального соотношения между общим количеством «родовых» символов и объединяемых ими элементов (т. е. необходимая степень их детализации). Следует, однако, признать, что вопрос поиска критерия классификации, т. е. собственно эвристический компонент решения при этом не рассматривается.

Остановимся подробнее на нашей основной теоретической предпосылке. Неудачи многочисленных попыток прогнозирования процессов функционирования сложных систем на основе экстраполяции полученных на отдельных участках монотонных функций (большей частью показательных и степенных) заставляют пересматривать исходные теоретические предпосылки этих методов и соответствующих им моделей. Эта проблема в целом является, видимо, фундаментальной. Некоторые приложения развиваемого подхода представлены в [4, 5]; здесь мы кратко изложим основные положения модели процесса развития устойчивых управляемых систем, являющейся методической основой настоящего исследования.

При построении моделей сложных систем используются уравнения вида: $\dot{x} = F(x)$, где в каждом конкретном случае берется определенное число членов разложения функции $F(x)$ в ряд Тейлора. В результате получаются наборы моделей например $\dot{x} = kx$, представляющие модель расширенного воспроизводства, $\dot{x} = k_1x + k_2x^2$ — модель логистического развития и т. д. Количество коэффициентов в правых частях уравнений предопределяет в этом случае требования к исходной информации. При использовании большого количества членов разложения такие модели начинают терять исходную физическую содержательность и переходят на уровень обычных аппроксимаций, правомерность использования которых вне круга задач интерполяции исходных данных сомнительна.

В общем случае процессы развития включают в себя участки роста параметров, их убывания, а также режимы колебаний в установившемся режиме, либо в сочетании с ростом или убыванием. Простейшая модель, отвечающая описанию процессов такого рода, может быть представлена дифференциальным уравнением с отклоняющимся аргументом вида:

$$\dot{x} = k_n x(t - \tau_n), \quad (1)$$

где $x(t - \tau_n)$ — состояние системы в момент времени, запаздывающий относительно рассматриваемого t на интервал τ_n ; k_n — константа воспроизводства.

Уравнение (1) соответствует модели расширенного воспроизводства с учетом запаздывания результатов по отношению к рассматриваемому моменту.

Влияние характера предыдущего развития на последующее является, на наш взгляд, естественным для большинства систем. Время запаздывания при этом само зависит от состояния системы, момента ее развития, способа организации и т. д.

Параметр τ_n играет различную роль в зависимости от специфики рассматриваемой системы, например является характеристикой памяти для процесса переработки информации человеком и т. д. Не следует отождествлять параметр τ_n с тренировкой. В психологических исследованиях этот параметр отражает прежде всего отрезок предыстории, реально используемый человеком в процессе принятия решения. При фиксированной структуре организации данных в памяти увеличение τ_n имеет место при любом усложнении задачи. В общем случае психологический смысл параметра τ_n и τ_y (о последнем сказано ниже), по-видимому, теснейшим образом связан с категорией сложности задачи. Для управляемых растущих систем величина k_n оказывается внутренне связанной с τ_n и может быть вычислена. Таким образом, процесс является принципиально однопараметрическим, тогда как закон изменения пара-

метра τ_y может определяться из других моделей, которые находятся на уровень ниже рассматриваемого процесса. В принципе возможно рассмотрение моделей, в которые будет включена вся информация о пред- истории развития. Однако такие модели оказываются достаточно слож- ными для математического анализа. Кроме того, современный уровень психологических представлений и экспериментальных данных не позво- ляет сделать содержательными модели подобного типа.

При постоянных k_y и τ_y уравнение воспроизводства (1) содержит как частный случай режим экспоненциального развития. Однако, как ука- зано ранее, эти характеристики меняются в процессе развития. Исследо- вание влияния характеристик памяти на процессы принятия решений является принципиальной основой моделирования последних. Связь же между количеством классов, составляющих их элементов и уровнем тренировки отражает некоторые существенные черты этого влияния.

В процессе деятельности человека стадии эволюционных изменений в определенные моменты сменяются стадиями перестройки, переструк- турирования ситуации, в период которых характеристики деятельности не улучшаются, а нередко даже временно ухудшаются. Так, например, в большинстве задач экспоненциальное убывание времени при трениров- ке немонотонно, в ряде точек происходят изменения показателя степени экспоненты [6, 7]. Эти изменения, как справедливо считают авторы [6], отражают перестройку структуры деятельности на определенных этапах тренировки. Периоды перестроек, как правило, характеризуются резки- ми выбросами значений времени как в сторону относительного увеличе- ния, так и в сторону уменьшения, после чего кривая стабилизируется; на кривой тренировки моментам изменения показателя степени экспо- ненты соответствует пилообразный участок. В период перестроек функ- ционируют механизмы, обеспечивающие адаптацию психологической структуры деятельности к изменившимся внешним или внутренним ус- ловиям. Для обеспечения функционирования таких механизмов систе- мы должны иметь возможность прогнозировать последующее развитие. Наличие опережающих механизмов в деятельности является общеприз- нанным. Широко известны основополагающие работы П. К. Анохина и Н. А. Бернштейна, посвященные обоснованию и доказательству суще- ствования таких механизмов. При прогнозировании должны отражать- ся общие закономерности развития процесса, в связи с чем уравнение, характеризующее отражение управляющей системой будущих ситуаций, можно представить в виде уравнения расширенного воспроизводства опережающего типа:

$$\dot{x} = k_y x(t + \tau_y), \quad (2)$$

где $x(t + \tau_y)$ — состояние системы в момент времени $t + \tau_y$, опережаю- щий относительно рассматриваемого t на интервал τ_y и представляющий собой время прогнозирования будущих ситуаций; k_y — константа управ- ления. Это уравнение также дает экспоненциальные решения при опре- деленных значениях параметров k_y и τ_y [8], в связи с чем в частном случае удовлетворяет требованию экспоненциального развития по край- ней мере на начальном его участке.

Как показано в [9], уравнение воспроизводства (1) удовлетворяет требованию экспоненциального развития с постоянным темпом только в области:

$$u\tau_y \leq 1,29, \quad (3)$$

где u — темп экспоненциального развития (отношение прироста пара- метра к его величине, $\Delta x/x$).

При переходе через эту область процесс может иметь характер рас- ходящихся колебаний, становится неустойчивым. В связи с этим область,

лежащую выше отмеченной границы, будем считать запретной. В [9] показано также, что уравнение управления (2) имеет границу экспоненциальных решений вида:

$$u \leq \frac{0,9}{\tau_y}. \quad (4)$$

Таким образом, минимальная величина скачка в темпах развития представляет величину, равную соотношению темпов на верхней и нижней границах, т. е. темпы меняются в $1,29 : 0,9 = 1,43$ раза.

Основные положения модели развития устойчивых управляемых систем формулируются следующим образом:

1. Процесс развития происходит по закону расширенного воспроизводства.

2. При достижении границы области экспоненциального развития для уравнения расширенного воспроизводства происходит изменение темпов развития.

3. Изменение темпов происходит мгновенно.

4. При изменении темпов они меняются так, чтобы обеспечивалось соответствие между темпами для уравнений воспроизводства и управления, т. е. в $1,43$ раза.

5. Величина скачка обеспечивает максимальное значение темпов, удовлетворяющих пункту 4.

Классы кусочно-непрерывных моделей для описания динамики развития систем были рассмотрены в общем виде Эшби [10] и соотносятся с подходом Н. Винера [11] к сложным системам, как реализующим некоторую область локальной устойчивости. Основой рассматриваемой модели является положение, что процесс постоянно поддерживается в таком диапазоне параметров, который обеспечивает устойчивый характер колебаний относительно основной линии развития, определяемой уравнением воспроизводства (1). Для поддержания процесса в этом диапазоне используется механизм управления, обеспечивающий в моменты критического развития перестройку параметров развития (темпа) в целях согласования процесса развития и управления. Следует отметить, что в [12, 13] предлагалось использовать модели с разрывными экспоненциальными участками кривых роста, однако в рамках этих моделей не определяется характер и возможности связи между отдельными участками, тогда как в данном случае последовательность экспоненциальных режимов органически соответствует используемому описанию. Необходимо указать, однако, что указанный подход предполагает известными и измеряемыми существенные переменные процесса, что может вызвать значительные трудности при использовании его в психологических исследованиях. В рассматриваемых здесь экспериментах эти переменные очевидны, в большинстве же психологических работ выявление факторов, детерминирующих те или иные характеристики деятельности, представляет собой самостоятельную сложную задачу.

В свете изложенных теоретических представлений следует ожидать, что в наших экспериментах зависимость времени решения от количества классов, составляющих их объектов и уровня тренировки будет носить не линейный, а экспоненциальный или параболический характер. Если наша исходная теоретическая предпосылка верна, то следует ожидать также, что эта функция будет скачкообразно изменяться в $1,43$ раза при определенных значениях переменных эксперимента, и чем большей сложности задача будет решаться, тем раньше должен произойти этот излом функции (при близких темпах развития процесса, т. е. углах наклона зависимостей); иначе, количество объектов, при которых должен произойти этот излом тем меньше, чем большее число классов предъявлено (при фиксированном уровне тренировки).

Практический интерес может представить конкретный характер зависимости и значения переменных, при которых происходят эти принципиальные изменения в деятельности.

МЕТОДИКА

Проведено три серии экспериментов. Во всех сериях испытуемому предъявлялся на экране кадр размером 30×30 см, на котором в случайном порядке были расположены простые геометрические фигуры с угловым размером $1,5^\circ$. В первой серии предъявлялись фигуры только двух классов — треугольники и круги, во второй — трех классов (к треугольникам и кругам прибавлялись квадраты), в третьей — четырех классов (треугольники, круги, квадраты, эллипсы). Фигуры предъявлялись в обратном контрасте, обладали одинаковой зрительной «массой», были четкими, и их восприятие не вызывало перцептивных трудностей. Количество фигур в кадре в 1-й части эксперимента варьировало в пяти градациях: в первой и второй сериях (количество классов — два и три соответственно) — 5, 7, 10, 12, 15; в третьей серии (четыре класса) — 5, 7, 10, 15, 20. В каждом кадре обязательно присутствовали фигуры всех классов данной серии, но количество фигур каждого класса варьировало в случайном порядке. Всем испытуемым дважды в день предъявлялось 50 кадров (по 10 кадров с одинаковым количеством фигур); отдельно смешивались случайным образом группы кадров с малым количеством фигур (5 и 7) и с большим (10, 12, 15). В основе этого приема лежало предположение, что способы обработки человеком больших и малых количеств объектов могут быть разными; перемешивание всех кадров данной серии могло привести к инерционному использованию этих способов в нехарактерных для них условиях.

Первые две экспериментальные серии проходили по три дня подряд каждая, третья серия — четыре дня. Таким образом, и в первой, и во второй сериях каждый испытуемый обработал по 300 кадров ($50 \times 2 \times 3$), на каждую же группу однородных ситуаций (с одинаковым количеством классов и объектов) приходится по 60 ($10 \times 2 \times 3$) реализаций одним испытуемым; в третьей серии количество обработанных каждым испытуемым ситуаций было соответственно 400, а число реализаций на однородные группы ситуаций — по 80. В начале каждого дня тренировки очередность предъявления кадров изменялась.

Испытуемому сообщалось, что каждая геометрическая фигура имеет свой «вес» (или «цену»): треугольник — 2, круг — 3, квадрат — 4, эллипс — 5 (для каждой серии сообщались «веса» тех фигур, которые предъявлялись). Во всех сериях задача испытуемого заключалась в определении суммарной «цены» каждого класса и последовательном наборе их на пульте с помощью 10 кнопок; если, к примеру, на экране предъявлено шесть треугольников и девять кругов, то ответ должен быть: 12, 27 ($6 \times 2, 9 \times 3$). Очевидно, что количество чисел в ответе равно количеству классов фигур. Иными словами, испытуемый должен был подсчитать число, скажем, треугольников и результат умножить на два, запомнить его, затем подсчитать число кругов, результат умножить на три, затем, если классов только два, набрать оба числа на цифронаборнике, если же классов больше, то переходить к квадратам, эллипсам и т. д. Испытуемый должен был приступать к реализации ответа не раньше, чем принято решение по всему объему отображения. Это обеспечивалось электромагнитной шторкой: при нажатии любой клавиши изображение пропадало и появлялось вновь только при нажатии клавиши «кон», после чего предъявлялся следующий кадр.

Введение «весов» объектов, а не простого их пересчета связано с необходимостью изучения характеристик памяти, включенных в какую-либо деятельность. Как указывают многие авторы [14, 15], — и с этим нельзя не согласиться — характеристики памяти неправомерно изучать

в задачах на простое запоминание, адекватное их проявление возможно только в составе деятельности. В данной методике сама эта деятельность максимально упрощена (достаточно знать таблицу умножения) с целью минимизации ее влияния на время и ошибки. Видно, что задача испытуемых аналогична такой: на столе рассыпаны монеты разного достоинства, требуется быстро подсчитать сумму (с той несущественной разницей, что наши испытуемые подсчитывали сумму каждого класса в отдельности и результаты не складывали).

Время регистрировалось автоматически, с точностью до 0,01 с от момента предъявления кадра до окончания ответных действий (после окончания ответа испытуемый всегда нажимал клавишу «кон», которая и останавливала время). Номер нажимаемых испытуемым кнопок отображался на панели экспериментатора и сверялся с бланком истинных ответов — таким способом регистрировались ошибки. Периодически производилась регистрация движений глаз с записью на ленту видеоманитофона.

В эксперименте участвовало пятеро испытуемых-мужчин в возрасте от 25 до 35 лет (все с высшим техническим образованием). Всем давалась инструкция на максимальную скорость и точность. Эксперимент занимал в среднем 1—1,5 час в день на каждого испытуемого. Между первым и вторым предъявлением разрешался отдых 10—15 мин. В конце каждой экспериментальной серии в специальном дополнительном эксперименте регистрировалось время моторной реализации ответа.

После обработки результатов через 10 месяцев была проведена вторая часть эксперимента. Методика ее осталась такой же, но количество объектов (фигур) в кадре увеличилось и варьировало: в первой серии (количество классов, как и в первой части, два), в шести градациях — 25, 27, 30, 35, 40, 45; во второй серии (три класса) — 20, 25, 27, 30, 35, 40; в третьей серии (четыре класса) — 30, 35, 40, 45. Для обеспечения случайного расположения в квадратном поле столь больших количеств объектов была разработана специальная программа на ЭВМ, реализующая генерирование случайных чисел в заданном диапазоне по каждой из двух осей независимо; на пересечении полученных таким образом точек и помещались фигуры. Дважды в день испытуемым предъявлялось 60 кадров в первых двух сериях и 40 кадров — в третьей (по 10 кадров с одинаковым количеством фигур). Каждая экспериментальная серия проходила 4 дня подряд, таким образом, тренировка по каждой группе однотипных кадров (с одинаковым количеством классов и объектов) составила 80 реализаций. Все три экспериментальные серии проходили три недели подряд.

Количество испытуемых в этой части также было пять, из них только двое участвовали в предыдущих экспериментах. Данные новых испытуемых аналогичны.

Одна из отличительных особенностей деятельности во второй части исследования состояла в необходимости перемножать в основном двузначные числа (количество объектов каждого класса) на однозначные, тогда как в 1-й части такие случаи были очень редки. Для корректности сопоставления полученных в обеих частях исследования данных был проведен дополнительный эксперимент по определению характеристик выполнения действий перемножения каждым испытуемым. После этого разность между временем перемножения двузначного числа на однозначное и временем перемножения двух однозначных чисел была вычтена из соответствующих экспериментальных времен.

Для отображения информации и регистрации времени и ошибок использовалась коммутационная схема, включающая диапроектор «Протон», электромагнитную шторку, частотомер-периодомер ЧЗ-22, триггер, пульт испытуемого и панель индикации ответов. При предъявлении кадра схема обеспечивала автоматический запуск частотомера-периодомера

в режиме счета импульсов (100 импульсов в секунду); при первом нажатии испытуемым любой кнопки цифронаборника электромагнитная шторка закрывала объектив проектора, номера нажимаемых кнопок отражались на панели неоновых лампочек. Время останавливалось нажатием кнопки «кон», эта же кнопка опускала шторку. Движения глаз и точки зрительных фиксаций регистрировались аппаратурой «НАС, model 4» с портативной телекамерой «AVC-3450CE» и видеоманитофоном «SONY AV-3420CE». Испытуемый во время эксперимента находился в затемненной звукоизолированной камере, регистрационная аппаратура (кроме НАС и телекамеры) находилась вне камеры.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

При обработке данных учитывались только времена правильных ответов, ошибки были незначительны. Из времени каждого ответа вычиталось время моторной реакции; таким образом, все результаты и зависимости приведены без времени моторной реализации ответа. Рассчитывались как индивидуальные кривые, так и средние значения по всем испытуемым. В каждой точке определялось среднеквадратическое отклонение, коэффициент вариации и статистическое распределение времен. Здесь мы приведем только некоторые усредненные данные, необходимые для иллюстрации. На рис. 1 приведена зависимость логарифма

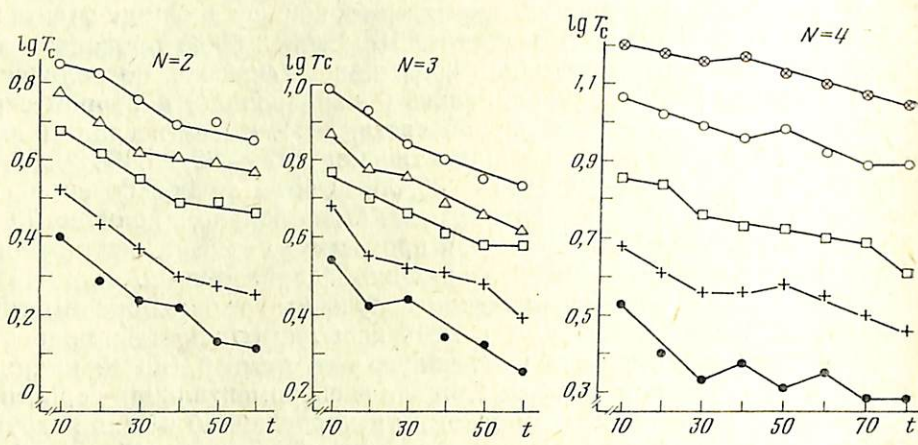


Рис. 1. Зависимость времени решения T от уровня тренировки (числа реализации t), количество объектов на экране в качестве параметра (масштаб полулогарифмический)

N — количество классов; число объектов: ● — 5, + — 7, □ — 10, △ — 12, ○ — 15, ⊗ — 20

времени решения T от числа реализаций t , общее количество объектов на экране в качестве параметра, т. е. кривые тренировки 1-й части всех трех экспериментальных серий. Выбор полулогарифмического масштаба обусловлен тем, что полученные данные хорошо аппроксимируются экспоненциальными участками с разными показателями степени, что находит отражение в кусочно-линейном характере зависимостей. Такой вид зависимостей свидетельствует, как сказано выше, о качественном изменении алгоритма деятельности в моменты, соответствующие точкам излома кривых. Это косвенно подтверждается и заметным увеличением коэффициентов вариации в этих точках. Увеличение флуктуаций в критических точках является характерным для процессов любой природы.

В целом можно обнаружить тенденцию к сдвигу точек излома влево с увеличением количества объектов на экране при близких углах наклона кривых функций или уменьшение угла наклона, сопровождающееся иногда смещением точек излома несколько вправо. Периоды перестроек сопровождаются часто выбросами значений времени в обе сто-

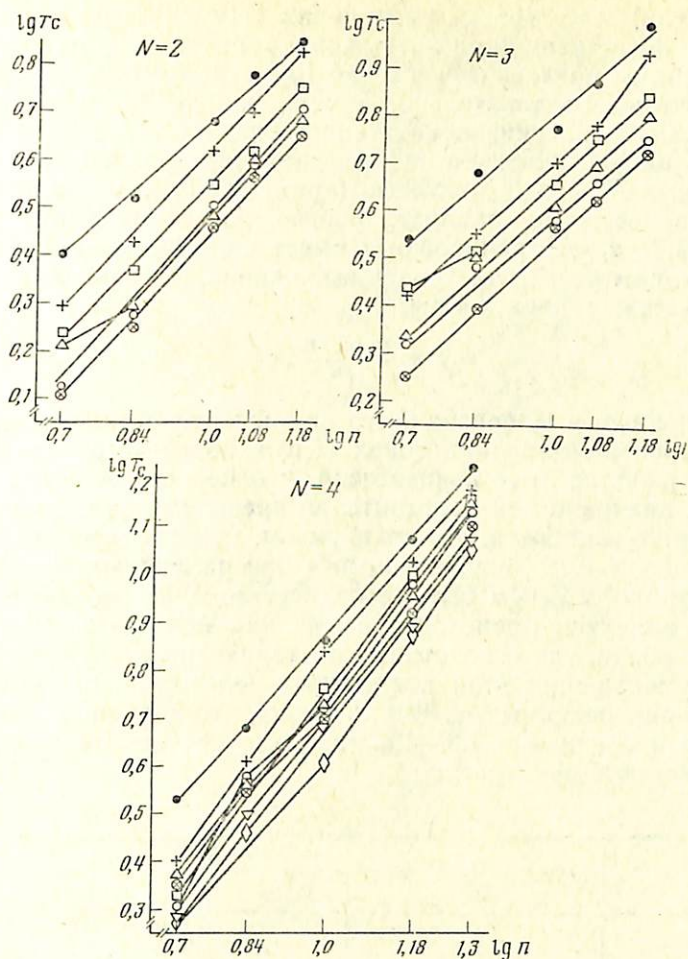


Рис. 2. Зависимость времени решения T от количества объектов на экране n , уровень тренировки в качестве параметра (масштаб логарифмический)
 N — количество классов; число реализаций: ● — 10, + — 20, □ — 30, △ — 40, ○ — 50, ⊗ — 60, ▽ — 70, ◇ — 80

роны. В целом кривые тренировки на качественном уровне подтверждают высказанные ранее предположения о закономерностях развития систем. Коэффициенты вариации колеблются в разных точках от 0,1 до 0,3, что свидетельствует о крайне незначительном разбросе данных. На рис. 2 показаны зависимости времени решения от количества объектов на экране в двойном логарифмическом масштабе, уровень тренировки в качестве параметра. Эти кривые хорошо аппроксимируются степенными функциями, типа параболы и в таком масштабе имеют линейный вид. Видно, что преобладает линейный характер этих зависимостей, поэтому их можно представить в виде:

$$\lg T = \lg a + b \lg n, \quad (5)$$

где T — время решения, n — количество объектов на экране, a и b — коэффициенты.

Значения T и n известны из эксперимента; решая систему из двух уравнений, находим угловой коэффициент b и $\lg a$. Значение b колеблется по разным кривым в пределах 0,85—1,2, поэтому примем его равным 1,0 с точностью до экспериментальных данных. Величина же $\lg a$ зависит, как видно из рис. 2, от количества классов N (возрастая при

его увеличении) и от уровня тренировки t (уменьшаясь при его увеличении). При фиксированном t эту зависимость от N можно с небольшими допущениями представить в виде: $\lg a = \lg a_1 + b_1 \lg N$. Значения $\lg a$ и $\lg N$ известны, следовательно, можно найти b_1 ; $b_1 = 2/3$. Отметим здесь, что такое значение показателя степени при N (анализ экспериментальных данных показал, что это значение практически не меняется при различных N , n и t) является характерным для большинства естественных процессов и обладает, видимо, известной универсальностью. Зависимость $\lg a_1$ от тренировки t имеет вид: $\lg a_1 = \lg a_2 - b_2 \lg t$. Аналогично находим b_2 и $\lg a_2$. Теперь выражение, связывающее все три переменные, можно записать в виде:

$$T = \frac{a_2 N^{2/3} n}{t^{b_2}}, \text{ с.} \quad (6)$$

Расчет величин a_2 и b_2 показал, что их значения остаются неизменными только в определенных диапазонах N и n , после чего значительно увеличивается разброс этих показателей, что не позволяет рассматривать их прежние значения как константы за пределами этих диапазонов. Величины a_2 и b_2 являются, таким образом, константами при определенных значениях N и n . Значения a_2 и b_2 при различных N и n приведены в табл. 1. Видно, что чем больше количество классов, тем при меньшем количестве объектов происходит смена как показателя степени экспоненты тренировки, так и константы a_2 ; характерно, что при наличии ступенчатого уменьшения этих постоянных некоторые их значения отсутствуют при определенных N . Видно также, что значения как a_2 , так и b_2 изменяются в среднем в 1,3—1,5 раза, что соответствует нашей основной теоретической предпосылке.

Таблица 1

a_2	N		
	2	3	4
1,5	—	$n \leq 5-7$	—
1,0	$n \leq 7-10$	$5-7 \leq n \leq 15$	—
0,7	$7-10 \leq n \leq 15$	—	$n \leq 10-15$
0,5	—	—	$10-15 \leq n \leq 20$
b_2			
0,43	$n \leq 7-10$	$n \leq 5-7$	—
0,33	$7-10 \leq n \leq 15$	$5-7 \leq n \leq 15$	$n \leq 10-15$
0,23	—	—	$10-15 \leq n \leq 20$

Выражение (6) и табл. 1 позволяют прогнозировать время решения таких задач или при необходимости рассчитывать кривые эквивалентности, т. е. сочетания таких N , n и t , при которых времена решения будут одинаковы. Полученное выражение дает расхождение с экспериментальными результатами, не превышающее 5—10%.

Однако соответствие полученных данных исходным теоретическим положениям основано, как видно из табл. 1, только на одном скачкообразном изменении a_2 и b_2 для каждого N . Представляет интерес значение этих показателей при дальнейшем увеличении количества объектов на экране. Следует предположить, что при этом должны происходить очередные скачкообразные переходы в 1,4 раза на следующие уровни (т. е. при $N=2$, к примеру, a_2 и b_2 примут значения 0,5 и 0,23, при $N=3$ —0,7 и 0,23, а при $N=4$ —0,35 и 0,15 соответственно). С целью проверки этого предположения и была проведена 2-я часть исследования.

Зависимость времени решения от количества объектов (в логарифмах их значений) при всех исследуемых N приведена на рис. 3. Здесь

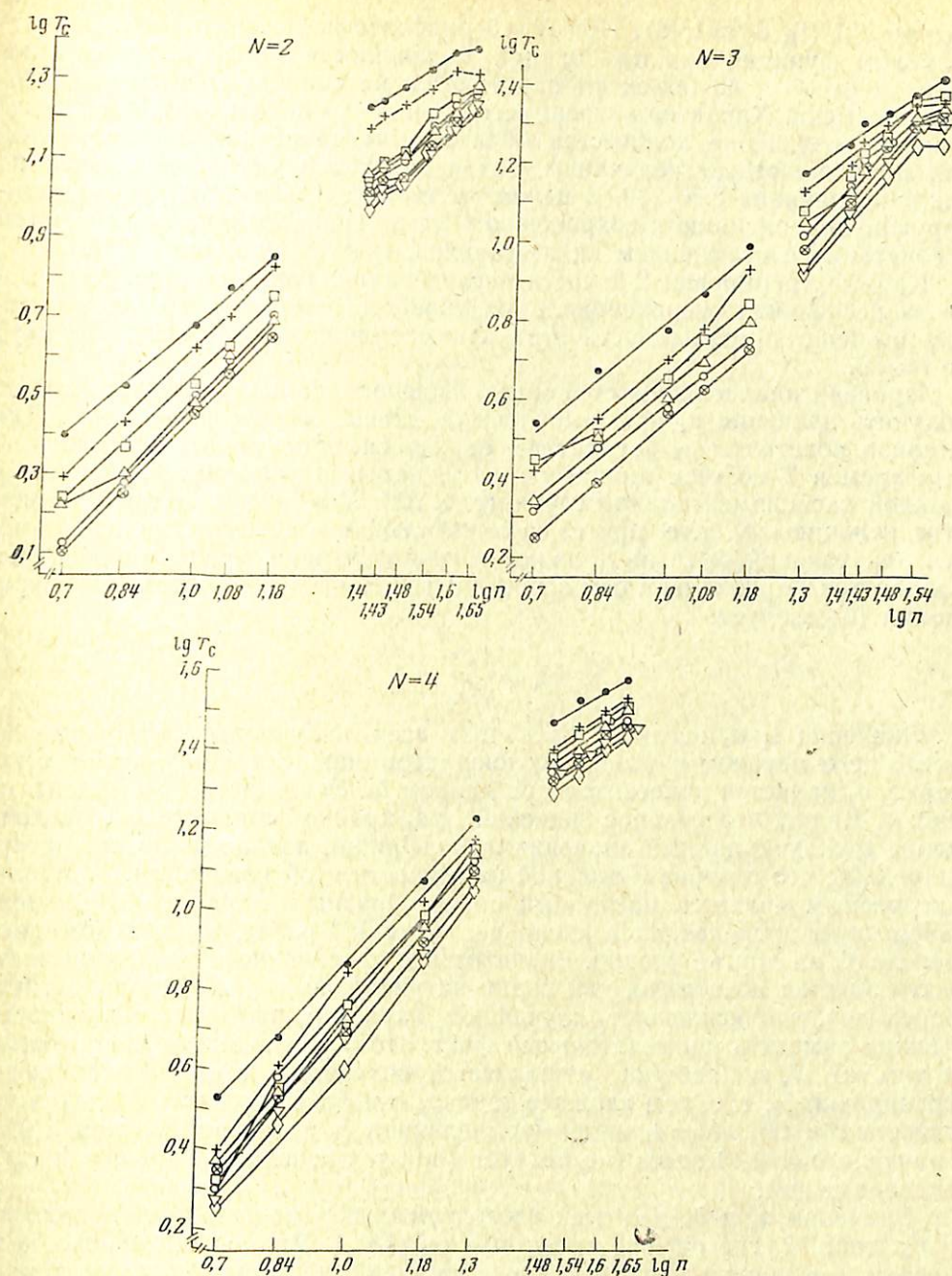


Рис. 3. Зависимость времени решения T от количества объектов n , уровень тренировки в качестве параметра (масштаб логарифмический, обозначения см. на рис. 2)

даны также для сравнения и результаты, полученные в предыдущей части эксперимента, с относительно малым количеством объектов. Видно, что при двух и трех классах ($N=2$ и 3) и больших количествах объектов на экране нарушается линейный характер зависимостей при одинаковых уровнях тренировки; сохраняя близкий угол наклона, эти зависимости несколько подняты по абсолютной величине (т. е., возвращаясь к выражению (5), можно сказать, что у них разные значения $\lg a$ при близких b). Отметим также, что при $N=2$ у многих кривых угол наклона изменяется при $n=40$ ($\lg 40 \approx 1,6$), отчасти этот эффект выражен и

при $n=30$ ($\lg 30 \approx 1,48$). При $N=3$ наиболее иллюстративным является излом функций при $n=35$; при большинстве уровней тренировки переход от 35 к 40 объектам практически не сопровождается увеличением времени. Характер зависимостей при $N=4$ показывает, что значительное увеличение количества объектов вызывает как подъем функций по абсолютным величинам, так и некоторое уменьшение угла их наклона, начиная с $n=30$. В целом же по рис. 3 можно отметить доминирующую тенденцию к сохранению угла наклона кривых зависимостей в сочетании с изменением их постоянной, $\lg a$ (выражение (5)).

Кривые тренировки 2-й части исследования, как и на рис. 1, состоят из нескольких экспоненциальных участков с меняющимся показателем степени; протяженность этих кривых увеличилась (см. методику) до $t=80$.

Проведя аналогичную обработку экспериментальных данных, можно получить значения a_2 при выявленных значениях показателя b_2 . Для анализа константы a_2 рассмотрим ее зависимость от экспериментальных времен T во всем диапазоне исследуемых переменных отдельно по каждой экспериментальной серии (т. е. для $N=2,3$ и 4). При постоянстве величины a_2 , т. е. при ее действительной константности зависимости как таковой быть не должно, соответствующие точки должны располагаться параллельно оси абсцисс с небольшим разбросом. Из выражения (6) следует:

$$a_2 = \frac{T t^{b_2}}{N^{1/2n}}.$$

Значения $\lg a_2$ исследовались при всех полученных значениях b_2 , после чего методом наименьших квадратов определялись участки, в которых a_2 является константой при данном b_2 . Эти участки приведены на рис. 4. Видно, что разброс значений $\lg a_2$ крайне незначителен, расхождение между крайними значениями колебаний, как правило, не превышает 0,05, что говорит о высокой надежности этой константы. Наиболее интересным является наглядный скачкообразный характер изменения констант в предсказанное число раз ($\sim$ в 1,4 раза), их закономерные переходы на другие уровни. Значительное увеличение n во второй части исследования позволило, как видно на рис. 4, выявить несколько таких переходов, что исключает случайный характер этой закономерности. Можно заметить примечательный факт, что с увеличением n при одном и том же N , и наоборот, уменьшается показатель степени экспоненты тренировки b_2 , т. е. чем сложнее задача, тем более пологой является эта экспонента. При $N=4$, например, величина b_2 сразу начинается с 0,33, значение $b_2=0,43$ здесь отсутствует (при тех n , которые были в нашем эксперименте).

Значения a_2 и b_2 при всех исследуемых переменных N и n приведены в табл. 2, где отражены данные и табл. 1. Видно, что переходы на следующие уровни происходят в определенных промежутках n ; точные значения n , при которых происходят скачки, не всегда удалось зафиксировать. Это закономерное следствие определенной длины «шагов» изменения n в методике эксперимента. Следует, однако, заметить, что промежутки это небольшие, и степень неопределенности моментов изменения констант крайне незначительна.

Из табл. 2 видно, что при увеличении N от 2 к 3 процесс изменения n эволюционирует, в то время как при $N=4$ он начинается с других уровней констант, хотя в дальнейшем развитие процесса идет по такому же пути. Это свидетельствует об изменении алгоритма деятельности при переходе к ситуациям, в которых количество классов превышает три. Эти изменения, на наш взгляд связаны прежде всего с перестройкой способов запоминания промежуточных результатов, т. е. организации предъявленного материала и даже характера его восприятия. В пользу по-

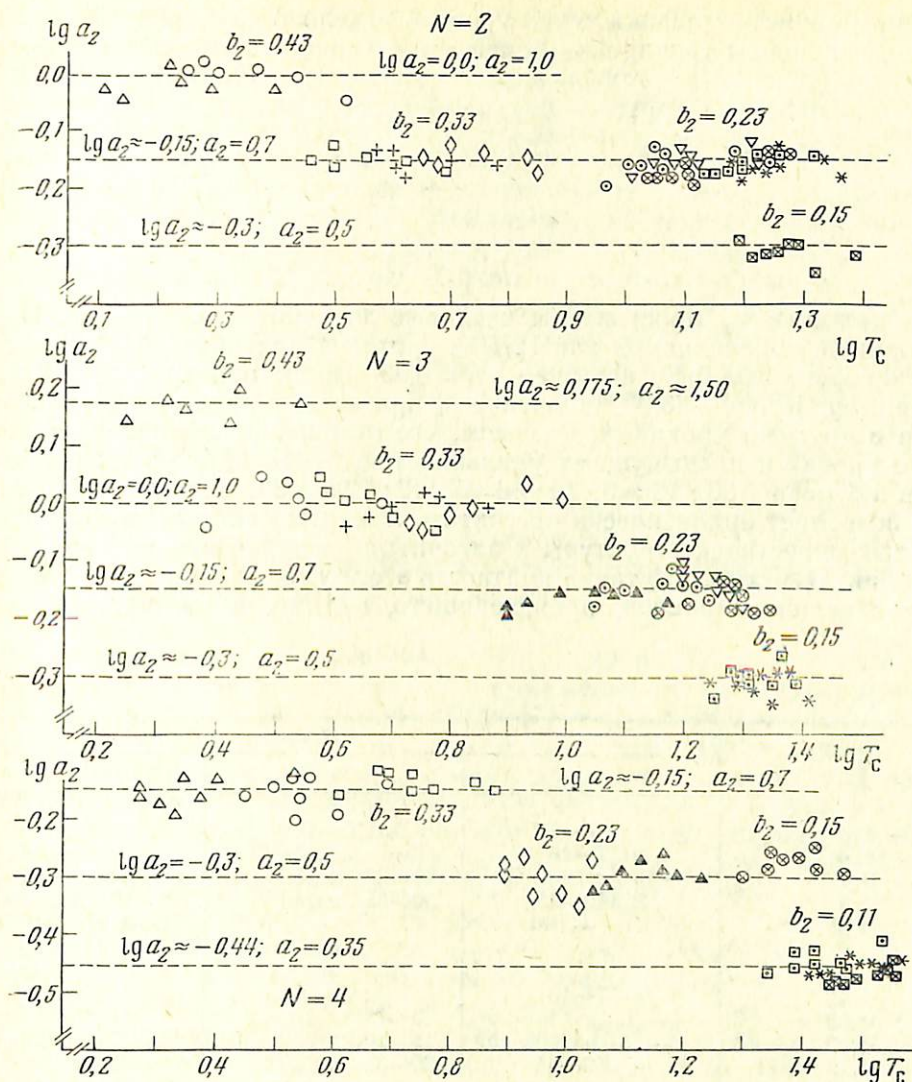


Рис. 4. Значения константы a_2 при любом фиксированном времени решения T . Одинаковые обозначения n в разных точках отражают разные уровни тренировки (при данных n) (масштаб логарифмический)
 N — количество классов, число объектов: $\triangle$ — 5, $\circ$ — 7, $\square$ — 10, $+$ — 12, $\diamond$ — 15, $\blacktriangle$ — 20, $\odot$ — 25, ∇ — 27, $\otimes$ — 30, $\square$ — 35, $*$ — 40, $\boxtimes$ — 45

следнего говорят данные о траекториях движений глаз испытуемых и количестве зрительных фиксаций. При $N=4$ глазодвигательные реакции испытуемых в отличие от экспериментов с $N=2$ и 3 имели отчетливую тенденцию к уменьшению числа зрительных фиксаций и увеличению их средней продолжительности по мере тренировки. При $N=2$ и 3, наоборот, времена фиксаций сохранялись примерно близкими, но сокращался маршрут движений глаз в процессе тренировки.

Следующий шаг исследования состоял в выявлении динамики изменений N и n , при которых происходят закономерные переходы констант на другие уровни; значения n (при определенных N), при которых меняются константы, будем называть критическими $n_{кр}$. Откладывая по оси ординат значения $n_{кр}$, а по оси абсцисс — количество классов N ,

можно получить графики таких уровней отдельно по b_2 и a_2 . По показателю экспоненты тренировки b_2 эти уровни аппроксимируются в виде:

$$\begin{aligned} n_{кр 1}(b_2) &= \frac{12}{N^{0,7}}; & n_{кр 2}(b_2) &= \frac{36}{N^{0,7}}; & n_{кр 3}(b_2) &= \frac{72}{N^{0,7}}; \\ 0,43 \rightarrow 0,33 & & 0,33 \rightarrow 0,23 & & 0,23 \rightarrow 0,15 & \\ & & n_{кр 4}(b_2) &= \frac{96}{N^{0,7}}. & & \end{aligned} \quad (7)$$

$$0,15 \rightarrow 0,11$$

Под каждым $n_{кр}$ проставлены числовые значения перехода b_2 . Иначе, по кривой, определяемой как $12/N^{0,7}$, проходит критический уровень, ниже которого $b_2=0,43$, а выше — $b_2=0,33$. Таким образом, в диапазоне например, $12/N^{0,7}-36/N^{0,7}$ значение b_2 при всех N равно 0,33. Аналогично и с другими уровнями. Отметим, что отношения каждого последующего уровня к предыдущему уменьшаются от уровня к уровню примерно в 1,5 раза ($36:12=3$; $72:36=2$, $96:72=1,33$; $3:2=1,5$), что позволяет аналитически рассчитать моменты наступления принципиальных перестроек структуры и алгоритма деятельности при изменении условий. Отметим, что такая кратность этого уменьшения также соответствует величине скачка, происходящего, видимо, и на более высоком уровне.

Таблица 2

a_2	N		
	2	3	4
1,5	—	$n \leq 5-7$	—
1,0	$n \leq 7-10$	$5-7 \leq n \leq 15-20$	—
0,7	$7-10 \leq n \leq 40-45$	$15-20 \leq n \leq 30-35$	$n \leq 10-15$
0,5	$n \geq 40-45$	$30-35 \leq n \leq 40$	$10-15 \leq n \leq 30-35$
0,35	—	—	$30-35 \leq n \leq 45$
b_2			
0,43	$n \leq 7-10$	$n \leq 5-7$	—
0,33	$7-10 \leq n \leq 15-25$	$5-7 \leq n \leq 15-20$	$n \leq 10-15$
0,23	$15-25 \leq n \leq 40-45$	$15-20 \leq n \leq 30-35$	$10-15 \leq n \leq 20-30$
0,15	$n \geq 40-45$	$30-35 \leq n \leq 40$	$20-30 \leq n \leq 30-35$
0,11	—	—	$30-35 \leq n \leq 45$

Что касается показателя a_2 , то несмотря на большой объем экспериментальных данных их оказалось недостаточно для получения столь же надежных функций критических уровней, как по b_2 . С некоторыми допущениями можно принять:

$$\left. \begin{aligned} n_{кр 1}(a_2) &= 0,6 N^2 \\ 1,5 \rightarrow 1,0 \\ n_{кр 2}(a_2) &= 1,8 N^2 \\ 1,0 \rightarrow 0,7 \end{aligned} \right\} \text{при } N < 4$$

$$\left. \begin{aligned} n_{кр 1}(a_2) &= 0,27 N^2 \\ 1,0 \rightarrow 0,7 \\ n_{кр 2}(a_2) &= 0,81 N^2 \\ 0,7 \rightarrow 0,5 \\ n_{кр 3}(a_2) &= 2,4 N^2 \\ 0,5 \rightarrow 0,35 \end{aligned} \right\} \text{при } N = 4 \quad (8)$$

Смысл этих выражений аналогичен (7). Видно, что отношение каждой последующей функции к предыдущей везде равно трем, показатель же степени при N получен из результатов эксперимента только на уровне $1,0 \rightarrow 0,7$ и $N=2,3$. В остальных точках он является гипотезой, удовлетворяющей имеющимся экспериментальным данным. Здесь также под-

тверждается наш вывод об изменении структуры деятельности при увеличении количества классов более трех.

Психологический смысл константы a_2 может быть интерпретирован следующим образом: a_2 есть некая исходная величина времени, требующегося на восприятие единственного объекта одного класса без тренировки (так как из выражения (6) следует, что $T=a_2$ при N , n и t , равных единице). Величина $a_2=1,0$ соответствует времени реверберации импульсов по нейронным сетям в ответ на действие стимула, что принимается за длительность удержания следа в кратковременной памяти (1 с); величина $a_2=0,5$ близка к времени стирания образа из иконической памяти [16], $a_2=0,35$ можно рассматривать как время одной зрительной фиксации. Величина же b_2 — показателя степени экспоненты тренировки, равная 0,23, соответствует времени хранения стимула в памяти до его осознания [17], и убывание времени при тренировке с такой постоянной может быть объяснено постепенным уменьшением воспринимаемых единичных объектов и переходом к работе с группами таких объектов; величина $b_2=0,15$ соответствует показателю степени экспоненты стирания образа из иконической памяти [16, 18], которое заканчивается, как отмечено выше, по истечении 0,5 с. Можно предположить, что $b_2=0,15$ и $a_2=0,5$ характеризуют завершение перехода к целостному восприятию всего объема отображения и работе с большими группами объектов.

Проверка полученной зависимости времени решения от переменных эксперимента показала, что основное выражение (6) со значениями констант a_2 и b_2 , приведенных в функциях (7) и (8), а также в табл. 2, обладает высокой прогностической точностью: расхождение между экспериментальными и расчетными данными при всех исследованных значениях переменных не превышает 10—17% от результатов эксперимента.

Полученные данные могут быть использованы для практических целей при необходимости, например, аналитической оценки времени решения человеком задач классификации. В основе всякого классифицирующего решения лежит процесс обобщения, который и обуславливает неравенство концептуально и перцептивно дифференцируемых сигналов. В деятельности операторов этот процесс может развиваться по одному из двух направлений. Если любой сигнал (или совокупность сигналов) требует только одного определенного ответа, обобщение идет по пути формирования оперативного зрительного образа, т. е. выделяется область пространства, в которой любой сигнал или их совокупность вызывают определенное ответное действие (или систему действий). Количество сигналов при этом становится после небольшой тренировки несущественным, так как такой образ целостен и выступает как единая психологическая единица. Если сформировано несколько таких образов, то каждый из них является одновременно дифференцируемым классом. Опыт анализа деятельности операторов в системах управления показывает, что в реальности крайне редки задачи, в которых процесс обобщения мог бы развиваться по такому направлению. Значительно более распространена другая форма обобщения, при которой оператор разделяет объекты по критерию однородности производимых с каждым из них действий. При этом количество объектов в классе имеет существенное значение, так как на каждый из них необходимо реагировать (или каждый из них в той или иной степени влияет на характер ответа). Эта особенность отражена в выражении (6).

В целом результаты работы подтвердили нашу исходную теоретическую предпосылку по крайней мере в рамках исследуемых экспериментальных задач. Это позволяет предположить, что в других классификационных задачах функция времени решения от переменных задачи будет иметь вид, аналогичный выражению (6), но, возможно, с иными значениями констант.

ВЫВОДЫ

1. Найдена зависимость времени решения от количества дифференцируемых классов, составляющих их элементов и уровня тренировки, имеющая вид, показанный в выражении (6).

2. Динамика времени решения при изменении переменных эксперимента имеет кусочно-непрерывный характер. Значения констант a_2 и b_2 выражения (6) скачкообразно изменяются в 1,4—1,5 раза при достижении какой-либо переменной эксперимента (или всеми переменными) определенной величины. Характер этих изменений приведен в выражениях (7) и (8), а также в табл. 2.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ломов Б. Ф. О путях развития психологии.— *Вопр. психол.*, 1978, № 5.
2. Леонтьев А. Н. Категория деятельности в современной психологии.— *Вопр. психол.*, 1979, № 3.
3. Леонтьев А. Н. Психология образа.— *Вестн. МГУ, сер. Психология*, 1979, № 2.
4. Гнездилова С. М., Кузьмин В. И., Ленская Г. С. Использование модели устойчивого роста для прогнозирования объемов яйцеклеток и их ядер в овогенезе у морского ежа.— *Биология моря*, 1976, № 1.
5. Кузьмин В. И., Ленская Г. С. Модели процессов устойчивого роста.— В сб.: *Исследование систем*. Владивосток, 1974.
6. Зараковский Г. М., Медведев В. И. Психолого-физиологическое содержание деятельности оператора.— В кн.: *Инженерная психология*, гл. 5. Под ред. Б. Ф. Ломова, В. Ф. Рубахина, В. Ф. Венды. М., 1977.
7. Полтсрак М. И. Влияние модальности сигнала на стабилизацию времени реакции.— В сб.: *Вопросы экспериментального исследования скорости реагирования*. Тарту, 1971.
8. Беллман Р., Кук К. Дифференциально-разностные уравнения. М., 1967.
9. Кузьмин В. И., Ленская Г. С. Модель устойчивого роста биологических систем.— *Ж. общ. биологии*, т. 35, № 5, 1974.
10. Эшби У. Конструкция мозга. М., 1962.
11. Винер Н. Кибернетика. М., 1958.
12. Bertalanffy L. von and others. *Human biology*, 1951, v. 23, p. 302.
13. Брей Дж., Уайт К. Кинетика и термодинамика биохимических процессов. М., 1959.
14. Лурия А. Р. Парадоксы памяти (нейропсихологический этюд).— *Вестн. МГУ, сер. Психология*, № 1, 1978.
15. Зинченко В. П. Принципы анализа функциональной структуры познавательной и исполнительной деятельности.— В кн.: *Деятельность и психические процессы*. М., 1977.
16. Линдсей П., Норман Д. Переработка информации у человека. М., 1974.
17. Зинченко В. П. Функциональная структура исполнительных (перцептивно-моторных) действий.— В сб.: *Эргономика*. Тр. ВНИИТЭ, 1978, № 16.
18. Беспалов Б. И. Микроструктурный анализ сенсомоторного действия.— В сб.: *Эргономика*. Тр. ВНИИТЭ, 1978, № 16.

Поступила в редакцию
1.XII.1979

ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ОТРАЖЕНИЯ ПРОСТРАНСТВА И ВРЕМЕНИ ЧЕЛОВЕКОМ

В. П. Лисенкова

В психологической литературе имеется достаточно большое количество исследований, посвященных различным аспектам отражения как времени, так и пространства [2—5, 9]. Значительно меньше работ существует по исследованию особенностей взаимозависимостей отражения пространства и времени [1, 6, 8].

В данной работе делается попытка исследовать, во-первых, индивидуальные особенности отражения величины пространственных отрезков и временных интервалов с помощью одинаковых методических приемов оценки и отмеривания, во-вторых, степень адекватности отражения как пространства, так и времени в одних и тех же условиях эксперимента, и, в-третьих, выявить существование зависимостей между характером отражения величины пространственных отрезков и временных интервалов по параметру адекватности отражения, показателю индивидуальных тенденций и особенностям структурирования того и другого.

МЕТОДИКА

Для исследования особенностей отражения пространственных отрезков и временных интервалов использовались такие методические приемы, как оценка и отмеривание [6]. Испытуемым предлагалось оценить и отмерить 9 временных интервалов в пределах одной минуты и 9 пространственных отрезков в пределах 60 см. Длительность временного интервала и величина пространственного отрезка выражались в секундах и в сантиметрах. Использовались следующие временные интервалы и пространственные отрезки: 3, 5, 7, 12, 17, 21, 27, 45, 60, которые предъявлялись в случайном порядке.

При оценке временного интервала испытуемому предлагалось словесно определить в секундах тот или иной интервал времени, непосредственно продемонстрированный ему экспериментатором. При отмеривании временного интервала испытуемый сам определял в секундах этот интервал, названный ему экспериментатором. И в первом, и во втором случаях испытуемым разрешалось считать с интервалом в 1 с.

При исследовании особенностей отражения пространства предлагались пространственные отрезки на белой бумажной ленте шириной 1 см. При оценке испытуемый называл в сантиметрах величину, продемонстрированного ему отрезка, а при отмеривании сам отрезал от белой бумажной ленты заданную в сантиметрах ту или другую величину пространственного отрезка.

В экспериментах принимали участие 44 человека 18—20-летнего возраста. С каждым испытуемым проведено от 4 до 8 опытов (4204 измерения). Полученный эмпирический материал подвергался корреляционному и факторному анализу.