

Н. Д. Гордеева, И. В. Евсевичева, А. А. Корнеев

ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ СЕРИЙНЫХ СЕНСОМОТОРНЫХ ДЕЙСТВИЙ

В работе на примере исследования серийных действий разной степени сложности обнаружен эффект функциональной трансформации между когнитивными стадиями двух соседних действий и показана его избирательность. Слияние когнитивных компонентов двух соседних действий и взаимопроникновение функций происходит тогда, когда это объединение обеспечивает более эффективное выполнение всей задачи. Полученный факт имеет принципиальное значение и служит объяснительным принципом построения из отдельных изолированных действий непрерывной деятельности, подчиненной общему смыслу решаемой задачи.

Ключевые слова: серийные действия, сенсомоторная деятельность, функциональная трансформация, временная антиципация, регуляция и организация серийных действий различной протяженности.

Исполнительное, сенсомоторное действие является неотъемлемой частью любой деятельности. В зависимости от характера деятельности исполнительные действия, ее составляющие, могут играть либо доминирующую, либо вспомогательную, сопутствующую основной деятельности роль. Соответственно этому меняется и характеристика самих действий: от простейших реактивных движений до сложнейших точностных пространственных действий. Нередки ситуации, когда по роду деятельности в течение короткого времени необходимо последовательно совершать простые одиночные и сложные пространственные действия или быстро перейти от исполнения серии регулярных действий к нерегулярным, где постоянно чередуются простые и сложные операции. Лабораторная имитация подобных ситуаций дает возможность выявить и проанализировать способы организации и регуляции различных сенсомоторных действий, возможности работы в неординарных и экстренных ситуациях, способы адаптации к сложным условиям, оценить качество исследуемых действий и определить условия их оптимизации.

Постановка задачи. Цель исследования — сравнительный анализ организации двухкоординатных серийных действий, объединенных в последовательности разной длины. Предмет изучения — структура серийных действий. Информативными показателями служили пространственно-

временные характеристики отдельного действия и последовательности серийных действий, полученные методом микроструктурного анализа, позволяющего вскрыть структуру исполнительного действия и проследить закономерности его функционирования.

Методика исследования. Экспериментальная установка состояла из компьютера; датчиков, дающих возможность перемещать орган управления в плоскости по горизонтали и вертикали; малоинерционного двухкоординатного органа управления манипуляторного типа, представляющего собой двадцатисантиметровый стержень с закрепленным на конце легким шариком и вмонтированной в него кнопкой. Он служил для передачи информации о движениях руки, точно отражающейся на экране монитора с помощью управляемого ею курсора, позволяя получать необходимые данные, поступающие от датчиков в компьютер. Специальная программа выполняла функции настройки параметров эксперимента, формирования экспериментальной задачи на экране монитора, регистрации и обработки данных, поступающих от датчиков управления на линии эксперимента.

Тестовый материал представлен на экране монитора четырьмя матрицами, состоящими из 1, 3, 6 и 9 элементов. Единым для всех матриц был стартовый элемент. На черном экране монитора отображались целевые и стартовый элементы в виде квадратов белого цвета размером 9×9 мм и курсор в виде креста, отражающий текущее положение органа управления. Стартовый квадрат стационарно находился в левой части экрана и не исчезал при смене матриц. Элементы размещались на экране по диагонали один от другого, так что перемещение управляемого курсора от элемента к элементу требовало от испытуемого совершения двухкоординатных (XY) движений (рис. 1).

Процедура эксперимента. Каждая проба начиналась с того, что испытуемый должен был вписать управляемый курсор в плоскость стартового

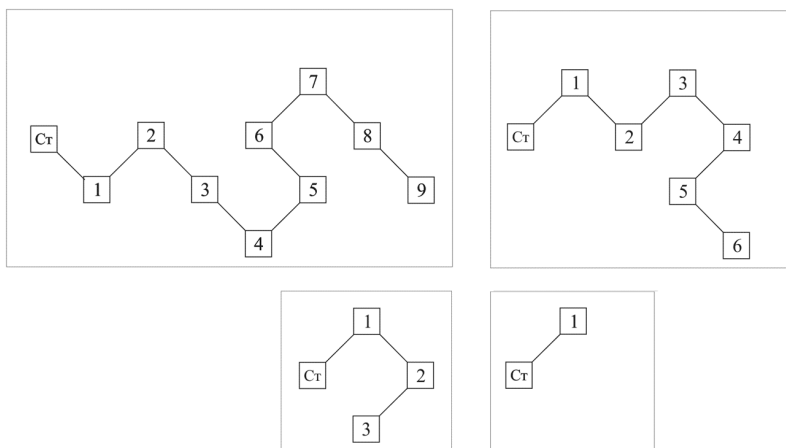


Рис. 1. Образцы регулярных тестовых матриц

квадрата. Когда перед испытуемым появлялась матрица, с которой ему предстояло работать в данной пробе, он должен был последовательно и быстро перемещать управляемый курсор от элемента к элементу. Как только испытуемый убеждался, что курсор точно вписался в плоскость элемента, он нажимал на кнопку, расположенную на шарике под указательным пальцем, что свидетельствовало об окончании работы. Проба завершалась после того, как испытуемый последовательно и точно проходил весь маршрут. После этого матрица гасилась. Испытуемый перемещал управляемый курсор в стартовую позицию и ждал появления следующей матрицы. Местоположение элементов в каждой матрице задавалось до эксперимента. Каждая матрица в течение эксперимента предъявлялась 20 раз в случайном порядке.

До проведения основного эксперимента с каждым испытуемым был проведен фоновый эксперимент на подобном тестовом материале для достижения уровня устойчивого навыка управления и стабильной скорости выполнения действия.

Во время эксперимента испытуемый сидел в комфортной позе за столом, на котором был укреплен орган управления, на расстоянии 80 см до экрана монитора.

Испытуемые. В эксперименте принимали участие трое взрослых испытуемых.

Обработка. Полученные результаты подверглись микроструктурному анализу. По ходу эксперимента регистрировались и сохранялись в памяти компьютера общее время ($T_{\text{общ}}$) выполнения действия при переходе с элемента на элемент и время компонентов (стадий) действия: латентной ($T_{\text{лат}}$), реализации ($T_{\text{реал}}$), контроля и коррекции ($T_{\text{кк}}$). Схема выделения анализируемых параметров действия дана на рис. 2. Анализировались и сопоставлялись все единичные записи движений по каждой

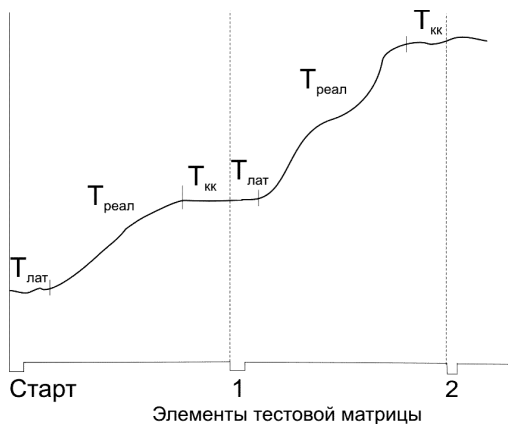


Рис. 2. Схема выделения анализируемых стадий серийного действия:

$T_{\text{лат}}$ — латентная, $T_{\text{реал}}$ — реализации, $T_{\text{кк}}$ — контроля и коррекции

матрице. По всем анализируемым параметрам вычислялись средние значения и среднеквадратическое отклонение.

Поскольку анализ индивидуальных данных показал незначительную межиндивидуальную вариативность основных анализируемых параметров, ниже излагаются результаты, полученные на основе данных, усредненных по всем испытуемым.

Результаты и обсуждение. Макроанализ результатов выявил прямо пропорциональную зависимость общего времени перехода на один элемент от количества элементов в матрице. Исключением является матрица, состоящая из одного элемента, время перехода на который значимо выше времени, затрачиваемого на один элемент в серийном действии (от 60 до 120 мс в зависимости от количества элементов в матрице). Величина небольшая, но стабильная. Такой эффект можно назвать эффектом одиночной цели. Любое увеличение числа целей привело к изменению автотемпа.

Микроструктурный анализ целостного действия позволил проследить соотношения выделенных стадий при совершении серийных действий разной протяженности. Полученные данные свидетельствуют о том, что при совершении серийных действий время когнитивных компонентов (латенции, ответственной за планирование действия, и контроля, отвечающего за оценку совершенного действия) не зависит от количества элементов в матрице. Средние значения этих компонентов внутри последовательности серийных действий, независимо от длины маршрута, составляют 217 мс для латентных стадий и 237 мс — для стадий контроля и коррекции при стандартном отклонении в 20–60 мс, что укладывается в рамки биологического разброса. Время когнитивных стадий серийных действий любой протяженности достоверно и устойчиво ниже аналогичных значений, полученных при работе с матрицей, состоящей из одного элемента. Время моторной стадии серийных действий стабильно выше (в среднем на 50–100 мс) времени осуществления одиночного действия, и его значения прямо пропорциональны длине маршрута, т.е. при совершении серийных действий по сравнению с одиночными действиями уменьшается время когнитивных компонентов и скорость оперирования органом управления, что вызывает увеличение времени моторной стадии действия. В целом наблюдается уменьшение общего времени на отработку одного элемента серийного действия, что позволяет говорить о чувствительности и когнитивных, и моторных компонентов действия к условиям эксперимента (ср. средние данные на рис. 3, А–D).

Обратимся к анализу компонентов действия внутри последовательности серийных действий при переходе с одного элемента на другой. Первое, на что необходимо обратить внимание, это значительно большее время латентной стадии движения к первому элементу по сравнению с этой же стадией при работе с другими элементами данной матрицы (см. рис. 3, А–С, кривые латентной стадии). При этом чем длиннее маршрут, тем больше время этой стадии. Эти данные свидетельствуют о

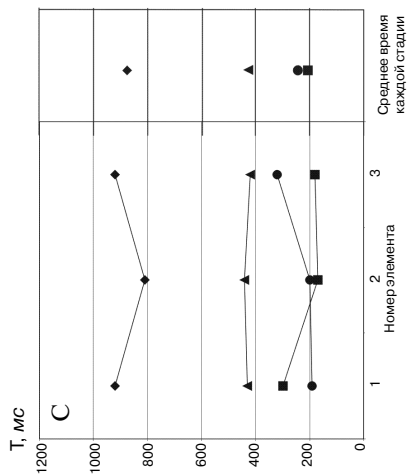
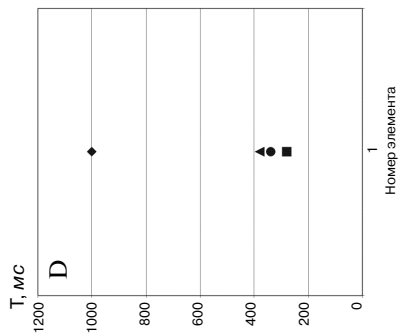
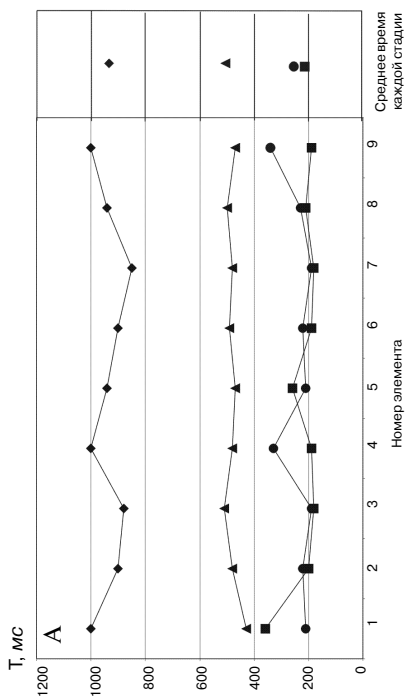
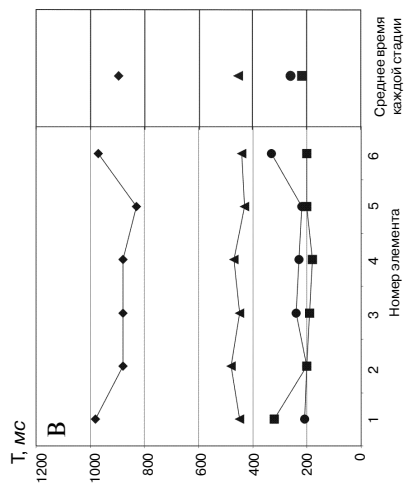


Рис. 3. Зависимость анализируемых параметров серийных действий от протяженности маршрута движения. Количество элементов в матрице: А — 9, В — 6, С — 3, D — 1

- ◆ — общее время выполнения элемента,
- — время латентной стадии,
- ▲ — время стадии реализации,
- — время стадии контроля и коррекции

том, что во время латентной стадии при переходе со стартовой позиции к первому элементу строится не только программа реализации движения к нему, но и план последовательности действий по всему маршруту. Это может быть подтверждено результатами проведенных ранее экспериментов с одновременной регистрацией движений руки и глаз в задачах формирования сложных пространственных действий (Гордеева, 1995; Евсевичева, Федорова, 1982). В этих исследованиях было показано, что время первой латентной стадии, так же как и время глазодвигательной активности, прямо пропорционально сложности совершаемого действия. Ориентировочно-исследовательские, поступательно-возвратные скачки глаз, пересекающие тестовую матрицу и возвращающиеся на исходную позицию, наблюдаются только во время латентной стадии при подготовке движения к первому элементу матрицы. Однако при усложнении задачи и увеличении маршрута движения они могут возникать во время латентного периода при переходе на другие позиции в середине маршрута. Таким образом, можно утверждать, что увеличение времени первой латентной стадии в среднем на 120—150 мс по сравнению с данными латентного периода всех последующих серийных действий связано именно с построением плана последовательности движения по всему маршруту. Общая последовательность включения фаз движения руки и глаз всегда одинакова: после появления очередной тестовой матрицы регистрируется латентный период движения руки и глаз, который сменяется сначала периодом глазодвигательной активности, затем начинается движение руки к первому элементу, заканчивающееся стадией контроля и коррекции, обеспечивающей точное вписывание курсора в плоскость первого элемента и оценкой совершенного действия. При этом глаз продолжает фиксировать этот элемент вплоть до совмещения с ним управляемого курсора, затем отмечается опережающее движение руки скачок глаз на следующий элемент и начинается программирование перехода к нему. И так по всем элементам тестовой матрицы.

Латентное время при переходе на каждый последующий элемент матрицы составляет в среднем 200 мс, что в 1.6—1.8 раза меньше латентного времени первого перехода, при незначительных (в пределах биологического разброса) колебаниях в 20—30 мс. Однако мы не можем с уверенностью утверждать, что именно это время необходимо для построения программы каждого перехода в серийном действии. Дело в том, что в серийном действии период контроля и оценки совершенного действия плавно перетекает в латентный период следующего за ним действия (см. рис. 2).

При описании процедуры эксперимента отмечалось, что, как только испытуемый убеждается в том, что курсор точно совмещен с очередной позицией, он нажимает на кнопку, расположенную под его указательным пальцем. Сигнал от кнопки служит показателем того, что работа с этим элементом завершена и испытуемый начинает работать со следующим элементом матрицы. Однако довольно часто при совершении се-

**Удельный вес компонентов целостного действия
в зависимости от длины тестовых матриц**

Компоненты действия (в процентах от целого)	Количество элементов в матрице			
	1	3	6	9
Латентная стадия	28	25	24	23
Стадия реализации (моторная)	38	48	50	52
Стадия контроля и коррекции	34	27	26	25

рийных действий, объединенных общей задачей, испытуемый еще до нажатия на кнопку переводит взгляд и фиксирует его на следующей позиции (запись движений глаз в аналогичной ситуации это убедительно показала — Гордеева, 1995). Это свидетельствует о том, что он уже начал формирование программы движения к следующему элементу, формально не закончив работу с предыдущим. Именно поэтому в серийном действии между периодом контроля предыдущего действия и планированием последующего трудно отделить два процесса один от другого и имеет смысл рассматривать их как единый когнитивный компонент.

Слияние двух стадий соседних действий в один когнитивный компонент вызывало у испытуемых иллюзию превращения дискретных серийных действий в единое, целостное действие, создавая тем самым ощущение легкости и комфортности работы и, что примечательно, даже большей комфортности, чем при работе с одиночной целью. Объективные данные действительно свидетельствуют о более эффективном выполнении серийных действий по сравнению с одиночными, что подтверждается процентным соотношением выделенных компонентов в целостном действии. Оказалось, что при совершении одиночного действия доля когнитивных компонентов составляет примерно $2/3$ от целостного действия, на моторную стадию приходится чуть более $1/3$. При совершении серийных действий доли моторного и когнитивных компонентов равны, что свидетельствует о более эффективном выполнении действия в целом (табл. 1).

Необходимо отметить еще одну особенность, которая была выявлена при работе только с 9-элементной матрицей: существенно возросло время стадии контроля и коррекции четвертого элемента, абсолютные значения которого сопоставимы со значениями, полученными при осуществлении одиночного действия. Кроме того, возросло время латентной стадии при переходе к следующему за ним пятому элементу, абсолютные значения которого также сопоставимы со временем латентной стадии одиночного действия (см. рис. 3, А, кривые стадий латенции и контроля). Суммарное время этих стадий, объединенных в один когнитивный компонент, в полтора раза выше времени такого же компонента при других переходах данной матрицы. Полученные результаты дают основание предположить, что

при работе с маршрутом такой длины построенный во время первой латенции общий план последовательности действий должен конкретизироваться и достраиваться. Это и наблюдалось при переходе с четвертого на пятый элемент. При работе с 6- и 3-элементными матрицами такого увеличения времени когнитивных компонентов в середине маршрута не наблюдалось. Было решено провести контрольный эксперимент, в котором увеличили количество элементов до 12 и 15. При работе с 12-элементной матрицей трижды было зарегистрировано увеличение времени когнитивных компонентов двух соседних элементов. Так же, как и в 9-элементной матрице, возросло время стадии контроля при работе с четвертым элементом, а время латентной стадии — с пятым. Такая же картина наблюдалась при переходе с 8-го на 9-й и с 11-го на 12-й элементы. При работе с 15-элементной матрицей увеличение времени когнитивных компонентов двух соседних элементов было зафиксировано в пяти случаях. Иначе говоря, скачкообразное увеличение времени когнитивных компонентов двух соседних элементов в последовательности серийных действий прямо пропорционально длине маршрута.

Наблюдаемое увеличение времени когнитивных компонентов двух соседних элементов в последовательности серийных действий связано с достройкой и конкретизацией плана, построенного до начала движения. И таких временных всплесков тем больше, чем длиннее маршрут движения. Запись движений глаз в исследовании, на которое мы ссылались выше, подтверждает это положение. Ведь именно при увеличении времени когнитивных компонентов двух соседних элементов тестовой матрицы наблюдались поступательно-возвратные скачки глаз, такие же, как и при подготовке перехода на первый элемент матрицы. Подобные временные всплески не наблюдались при работе с 6- и 3-элементными матрицами. Отсюда можно заключить, что в длинных маршрутах план последовательности не может быть полностью построен в первый латентный период, его достройка и конкретизация происходит внутри маршрута, и чем сложнее маршрут движения, тем большее число раз дорабатывается, достраивается его план. Приведенные данные свидетельствуют о возможной совместимости высказанных в свое время Н.А. Бернштейном двух гипотез: гипотезы «гребенки» — планирования всего действия до начала движения и гипотезы «цепочки» — достройки и конкретизации программы движения внутри последовательности действий (Бернштейн, 1966).

Для проверки обнаруженного эффекта функциональной трансформации компонентов внутри серийных действий была проведена контрольная серия экспериментов, для чего реконструировалась экспериментальная установка, а именно в конструкцию органа управления был добавлен датчик пространственного перемещения, дающий возможность изменять управляемый курсор по величине. Соответственно этому была изменена и тестовая матрица: составляющие ее элементы были двух размеров — 9×9 мм и 16×16 мм, и при переходе от меньшего к большему и от большего к меньшему элементу величина управляемого курсора соответ-

ственно увеличивалась или уменьшалась. Это достигалось за счет пространственного (по координате Z) перемещения органа управления. При движении от себя курсор на экране монитора уменьшался, к себе — увеличивался. Кроме того, матрица была построена таким образом, что при переходе от элемента к элементу требовалось участие то двух (XY), то трех (XYZ) составляющих движения (рис. 4). Для сопоставления испытуемым предлагалась еще и работа с регулярными матрицами, только двух- (XY) и только трехкоординатными (XYZ).

При работе с нерегулярными матрицами по сравнению с регулярными существенные изменения были отмечены прежде всего в когнитивных компонентах серийных действий. А именно более чем в полтора раза возросло время стадии контроля и коррекции двухкоординатных действий и более чем в два раза сократилось время этой стадии при совершении пространственных (трехкоординатных) действий. Отмечено также незначительное уменьшение времени и латентной стадии пространственных действий. Подобное наблюдалось только в тех случаях, когда после плоскостного действия (XY) требовалось совершить пространственное (XYZ) (табл. 2, переход с элемента I на II, с V на VI и с VIII на IX).

Испытуемые, работая с нерегулярной матрицей, совершали действия той же степени сложности, что и при работе с регулярными матрицами. Казалось бы, действия разного типа сложности, выполняемые последовательно в пространстве и времени, должны сохранять черты, свойственные им в ситуации регулярности. Однако результаты свидетельствуют об обратном. Следовательно, некоторая извне заданная последовательность разнотипных действий влияет на каждое из них и на характеристики их компонентов. Отмеченные изменения, по-видимому, связаны с тем, что испытуемые объединяли действия в пары, состоящие из легкого плоскостного

Таблица 2

Изменение параметров серийных действий в нерегулярной и регулярных матрицах

Параметры действия (мс)	Элементы нерегулярной матрицы Координаты действия									Средние данные для 9 элементов регулярной матрицы	
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX		
	XY	XYZ	XYZ	XY	XY	XYZ	XYZ	XY	XYZ	XYZ	XY
$T_{\text{лат}}$ Среднее	450	210	252	210	205	215	255	218	220	253	218
Ст. отклонение	58	79	83	32	29	64	76	97	61	59	32
$T_{\text{реал}}$ Среднее	470	718	738	498	550	718	729	607	725	734	480
Ст. отклонение	128	194	178	196	118	142	169	157	179	158	121
$T_{\text{кк}}$ Среднее	520	262	585	257	535	272	596	595	285	599	237
Ст. отклонение	98	116	108	91	78	96	84	83	99	105	86

двухкоординатного и следующего за ним более сложного пространственного трехкоординатного действия (см. рис. 4, табл. 2). Уменьшение общего времени выполнения пространственного действия, абсолютного и относительного времени его когнитивных компонентов по сравнению с теми же данными при работе с регулярной матрицей обусловлено влиянием предыдущего легковыполнимого плоскостного действия, время выполнения которого (и общее, и по стадиям) значительно возросло. Есть основания полагать, что в период контроля двухкоординатного действия не только осуществляется непосредственная функция этой стадии, заключающаяся в оценке точности совмещения управляемого курсора с этим элементом, но и планируется выполнение следующего за ним более сложного пространственного действия. Если это положение справедливо и в один когнитивный компонент объединяются две когнитивные стадии соседних действий, то естественно, что общее время планирования трехкоординатного действия возрастает примерно вдвое по сравнению с регулярными матрицами той же сложности. Это способствует созданию более четкой программы реализации пространственного действия. Соответственно, реализация хорошо спланированного действия происходит успешнее, четче и точнее, что способствует сокращению времени, необходимого для его оценки и контроля. Это и наблюдалось в исследовании: время контроля пространственного действия при объединении его в пару с более простым плоскостным сократилось более чем вдвое. Полученные данные можно интерпретировать как проявление эффекта полезной временной антиципации, функция которой заключается в возможности «опередить» время, что чрезвычайно важно для успешного выполнения действия (Адамс, Кример, 1967). Необходимо отметить, что времена когнитивных стадий 3-й, 4-й и 7-й позиций аналогичны тем же данным, полученным при работе с регулярными матрицами (см. табл. 2). Это связано с тем, что два соседних

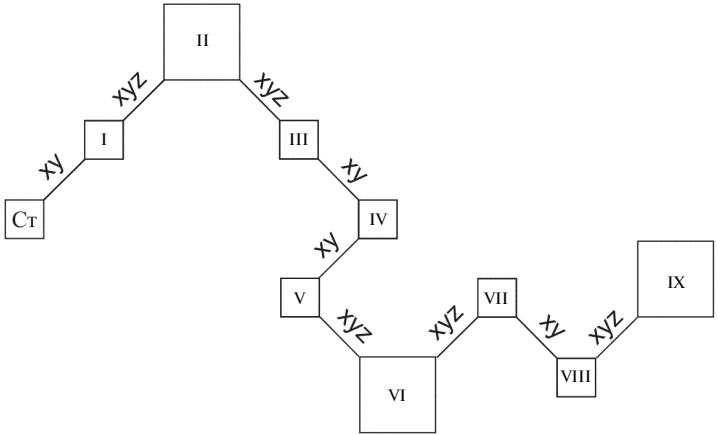


Рис. 4. Образец нерегулярной матрицы

элемента были одинаковы по сложности и при их отработке не менялось количество составляющих движения, а следовательно, и сложность исполнения.

Выше шла речь об обнаружении эффекта функциональной трансформации между двумя стадиями соседних действий при совершении серийных движений в регулярной матрице. Данные контрольного эксперимента не только подтвердили наличие этого эффекта, но и показали его избирательность. Было показано, что слияние соседних действий и взаимопроникивание функций происходит тогда, когда объединение обеспечивает более эффективное выполнение всей задачи. Перефразируя слова Л.С. Выготского, испытываемые в процессе обучения превращают бессвязную связность матриц, какой она выступает для них в начале, в своего рода комплексы (Выготский, 1983).

Полученный факт слияния двух соседних когнитивных компонентов в единый имеет, на наш взгляд, принципиальное значение, ибо на его основе возможно объяснение того, как из отдельных, изолированных действий строится непрерывная деятельность, подчиненная общему смыслу решаемой задачи. Следующее действие уже как бы присутствует в ткани предыдущего. Полученные результаты свидетельствуют, что не только действие в целом, но и все его компоненты чувствительны к вариациям условий выполнения задачи. Имеются основания полагать, что испытываемые настраивались не только на очередной элемент матрицы, но и на все пространственное поле, состоящее из этих элементов. Происходила предварительная настройка на выполнение всей цепи серийных действий. Различия в пространственном поле отразились на характеристиках компонентов целостных действий, на взаимоотношениях между соседними действиями и на способах управления последовательностью серийных действий. Полученные данные могут быть использованы для обучения при необходимости формирования разнородных действий, выполняемых в условиях дефицита времени в целях оптимизации исполнительской деятельности в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Адамс Дж., Кример Л. Антиципация непрерывных и дискретных реакций // Инженерная психология за рубежом / Под ред. А.Н. Леонтьева. М., 1967.

Бернштейн Н.А. Очерки по физиологии движений и физиологии активности. М., 1966.

Выготский Л.С. История развития высших психических функций // Собр. соч.: В 6 т. Т. 3. М., 1983.

Гордеева Н.Д. Экспериментальная психология исполнительного действия. М., 1995.

Евсевичева И.В., Федорова И.В. Зависимость структуры действия от организации информационного поля // Эргономика. Труды ВНИИТЭ. Вып. 22. М., 1982.

Поступила в редакцию
04.07.06