

УДК: 004.5, 004.9, 612.821, 519.8, 519.1, 519.6, 51.7

## Исследование возможности параллельной переработки информации человеком в серии задач растущей сложности

А. В. Коганов<sup>1,а</sup>, А. И. Злобин<sup>2,б</sup>, Т. А. Ракчеева<sup>3,в</sup>

<sup>1</sup> НИИСИ РАН, Россия, 117218, г. Москва, Нахимовский пр., д. 36, корп. 1,

<sup>2</sup> ГКА им. Маймонида, Россия, 115035 г. Москва, Садовническая ул., д. 52

<sup>3</sup> ИМАШ РАН, Россия, 117334, г. Москва, уд. Бардина, д. 4

E-mail: <sup>а</sup> koganow@niisi.msk.ru, <sup>б</sup> mr.zlobin@mail.ru, <sup>в</sup> rta\_ra@list.ru

Получено 2 сентября 2013 г.

Разработана компьютерная технология предъявления инженерно-психологических тестов, позволяющая выявлять испытуемых, способных ускорять решение логических задач путем выполнения одновременно нескольких стандартных логических операций. В основу положена ранее опубликованная теоретическая разработка тестовых задач двух типов: на одних параллельная логика эффективна, а на других — нет. Поставленный эксперимент подтвердил способность к параллельной логике значительного процента испытуемых. Существенное ускорение выполнения логических операций в последовательной логике встречается очень редко. Подтверждена эффективность разработанной методики.

Ключевые слова: инженерная психология, логическая операция, параллельная логика, запараллеленность, психологические тесты, компьютерная технология

### Research of possibility for man the parallel information handling in task series with increase complexity

A. V. Koganov<sup>1</sup>, A. I. Zlobin<sup>2</sup>, T. A. Rakcheeva<sup>3</sup>

<sup>1</sup> NIISI RAN, 36 Nakhimovsky st., corp. 1, Moscow, 117218, Russia

<sup>2</sup> GKA of Maimonides, 52 Sdovnicheskaya st., Moscow, Russia

<sup>3</sup> IMASH RAN, 4 Bardina st., Moscow, 117334, Russia

**Abstract.** — We schedule the computer technology for present the engineer psychology tests which reveal probationer men which may hasten the logic task solution by simultaneous execution several standard logic operations. These tests based on the theory of two logic task kinds: in first kind the parallel logic is effectively, and in second kind it is not effectively. The realize experiment confirms the capability parallel logic for impotent part of people. The vital speedup execution of logic operations is very uncommon in simultaneous logic. The efficacy of methodic is confirmed.

Keywords: engineer psychology, logic operation, parallel logic, paralleling, psychology tests, computer technology

Citation: *Computer Research and Modeling*, 2013, vol. 5, no. 5, pp. 845–861 (Russian).

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проекты 13-01-00190а, 11-06-00155а и Российского гуманитарного научного фонда, проект 11-03-00035а

## 1. Введение

Современная инженерная психология уделяет большое внимание исследованию производительности человека при решении задач обработки информации, в частности при решении логических задач в уме с последующим действием, зависящем от полученного результата [Котик, 1978; Крылов, 1991; Суходольский, 1964]. Такие ситуации часто возникают в практике операторов технических устройств самого различного назначения: от пилотов летательных аппаратов до рабочих на станках или при использовании вычислительных устройств. Однако исследование структуры работы мозга при решении логических задач возможно только на специальных тестах, разработанных так, что по данным, которые формируются в результате заложенных в тест измерений, можно выявить структуру организации мыслительного процесса.

Одной из таких структур может быть так называемая *запараллеленность*, которая заключается в формировании двух или более центров логической обработки исходной информации с целью ускорения получения решения. Альтернативным способом ускорения решения задачи может быть ускорение работы нейронной структуры, выполняющей соответствующую логическую обработку данных. Это может быть достигнуто как путем улучшения системы связей между нейронами, так и за счет ускорения процессов в нейронной сети при неизменной конфигурации. Характерным примером ускорения работы без перестройки способа решения задачи является повышение сосредоточенности человека на задаче, когда мозг начинает фильтровать отвлекающие внешние сигналы.

Потребность в сокращении времени решения задачи возникает у человека, например, при поступлении серии однотипных задач в условиях дефицита времени. Эта потребность возрастает, если по мере поступления возрастает сложность задачи. Сложность можно определить как число логических операций из некоторого известного человеку стандартного набора, необходимых для получения ответа в данной задаче. В число таких операций входит как считывание символьной, графической или сенсорной информации (сигналов), так и генерация новых данных того же вида по стандартным правилам. Эти правила, которым человек обучен заранее, называются элементарными операциями. Творческая работа, где требуется находить способ достижения цели или ставить новую цель, в этот класс задач не входят. Известно, что в таких ситуациях человек, как правило, находит способ ускорить решение одной задачи. На этом, в частности, основан принцип конвейерной организации работы коллектива, когда каждый человек решает серию стереотипных задач. Однако выяснить, какой метод рационализации работы мозга человек интуитивно использует, непосредственно невозможно, поскольку наблюдается только сам факт увеличения производительности труда. Данная статья содержит описание и обоснование инженерно-психологического эксперимента, в котором тестовая серия задач позволяет регистрировать факт роста производительности переработки логической информации человеком и определить, какой из двух указанных выше способов при этом использован.

Вопрос об использовании человеком параллельных алгоритмов при решении логических задач изучался с пятидесятых годов двадцатого века в рамках инженерной психологии. Большинство работ сводилось к определению объема внимания человека в тестовой ситуации, который, безусловно, связан с параллельной работой сенсоров и анализаторов мозга. На этом пути были получены глубокие результаты, но вопрос о возможности параллельной сознательной логической переработки данных оставался открытым, поскольку все наблюдения допускали указанную выше двойственную интерпретацию. В 60-е годы начались работы по поиску тестов, разрешающих эту альтернативу в Лаборатории математических методов в биологии МГУ, руководимой И. М. Гельфандом, под руководством математиков М. Л. Цейтлина и И. И. Пятецкого-Шапиро, и позже профессора психологии И. М. Фейгенберга. Некоторое решение было предложено одним из авторов данной работы. Оно было основано на выборе задачи, где параллельное вычисление стандартной несложной логической функции дает сильный эффект снижения времени решения всей задачи при возрастании ее сложности. Косвенным аргументом против ускорения выполнения одной операции служил тот факт, что при повторном предъявлении серии задач низкой сложности после серии высокой сложности среднее время решения не со-

кращалось по отношению к первому предъявлению низкой сложности. Однако прямого доказательства отсутствия такого ускорения тест не давал.

В работах [Коганов и др., 1971; Коганов, 1972] представлены результаты, полученные к началу 70-х годов. На задаче поиска максимума в наборе нескольких чисел некоторые испытуемые (трое из 28) показали рост производительности по мере увеличения набора чисел (уменьшалось среднее время решения задачи, отнесенное к количеству чисел, учитывались только верно решенные задачи). Как сказано выше, были основания считать это результатом параллельной обработки данных, но оставалось альтернативное объяснение снижения удельного времени обработки за счет ускорения работы участка мозга, занятого решением, при последовательном алгоритме. Была построена оценка пропускной способности мозга человека при решении этих задач, которая кроме производительности учитывала долю верно решенных задач. Позднее, в работах [Коганов, 2001, 2010] была предложена тестовая задача вычисления траектории, на которой параллельная логика практически не дает ускорения решения при небольшом числе параллельных процессоров. В этой задаче, как и в задаче поиска максимума, осуществляется многократная операция сравнения пары чисел, но структура задачи требует большого числа одновременных сравнений, чтобы запараллеленность дала снижение времени решения. Таким образом, появляется возможность экспериментально выяснить, какой способ ускорения решения использует испытуемый. Если причиной снижения времени решения при вычислении максимума в наборе чисел является ускорение одного сравнения, то снижение удельного времени на соответственной сложности должно произойти и в задаче вычисления траектории. Если же в задаче поиска максимума имела место параллельная работа нескольких сравнений, то в задаче вычисления траектории снижения удельного (на одну операцию сравнения) времени решения не будет. Тест, состоящий в предъявлении человеку серий задач растущей сложности обоих типов, может определить, какой из вариантов роста производительности имеет место.

Авторами данной статьи разработана программа для ПК, позволяющая провести указанный эксперимент, — тест на двух задачах: поиска максимума и расчета траектории [Злобин и др., 2013а, 2013б]. В случае ускорения последовательного алгоритма рост пропускной способности при росте сложности должен наблюдаться на обоих тестах, а при переходе к параллельной логике рост должен наблюдаться только для задачи максимума. Задача поиска максимума представляется на экране как прямоугольная таблица, заполненная двузначными числами. Сложность задачи определяется числом заполненных клеток в таблице. Задача расчета траектории представлена треугольной таблицей, геометрически аналогичной треугольнику Паскаля, где в каждой клетке стоит однозначное число. Испытуемый, начиная с вершины, должен спускаться на нижний уровень, переходя из каждой очередной клетки в ту клетку под ней, в которой цифра больше. На нижнем уровне в клетке стоит номер траектории, который является ответом. Сложность этой задачи измеряется числом уровней. В обеих задачах испытуемый вычисляет ответ в уме, останавливает отсчет времени (при этом задача исчезает с экрана) и вводит ответ в специальное окно, а потом вызывает следующую задачу и запускает новый отсчет времени. Регистрируется правильность ответа и время решения. Задачи подаются сериями, в каждой — сложность фиксирована. Сложности растут от серии к серии.

Изучается зависимость статистически измеренной пропускной способности испытуемого от сложности задачи. Под пропускной способностью понимается число символов (цифр), которое необходимо переработать человеку в единицу времени, чтобы показать тот результат, который зафиксирован в опыте, с учетом среднего времени решения, доли неверно решенных задач и возможности случайного угадывания ответа. Строгое формальное определение будет дано ниже.

## 2. Описание тестовых задач и формы их предъявления испытуемым

**2.1. Задача поиска максимума.** Испытуемому предъявляется таблица, содержащая числа. Одновременно запускается отсчет времени. Примеры таблицы показаны на рисунке 1. Испытуемый получает перед экспериментом следующую установку.

Требуется найти наибольшее число в таблице, запомнить его и нажать клавишу «пробел» для остановки времени. После этого таблица исчезает, и можно уже без отсчета времени ввести ответ в специальное окно на экране и нажимом кнопки «отправить» передать данные в память компьютера. При этом на экране возникает оценка результата: правильность ответа и время решения. После нажима «пробел» на экране возникает следующая задача данной серии. Оценивается быстрота решения задачи и процент ошибок, причем ошибки резко снижают оценку.

Реальная формула оценки пропускной способности испытуемому не сообщается. Но о цели эксперимента — исследование способа адаптации к возрастающей сложности задачи — испытуемые знают. Под сложностью задачи понимается количество чисел в таблице. Испытуемый получает несколько серий задач со сложностями  $A = 2, 4, 6, 8, 16, 32$ . В каждой серии — по 20 задач одной сложности.

Скриншот (a) показывает интерфейс задачи поиска максимума со сложностью 4. В центре экрана расположены четыре кнопки с числами: 72, 64, 78, 76. Справа находится панель управления с полями для ввода: 'Введите максимум:', 'Результат:', 'Время:', 'Промежуточные результаты:'. Каждое поле имеет кнопку 'Вкл/Выкл'. Внизу панели — кнопка 'Показать все результаты'.

Скриншот (b) показывает интерфейс задачи поиска максимума со сложностью 32. В центре экрана расположена таблица чисел в виде 5-ти строк и 6-ти столбцов:

13	47	86	03	41	16
05	42	37	24	38	34
07	19	29	35	61	56
70	16	07	33	20	58
59	76	02	23	71	41
39	12				

Справа находится панель управления, идентичная той, что в скриншоте (a).

Рис. 1. Форма предъявления задачи поиска максимума. (a) — сложность 4, (b) — сложность 32

**2.2. Задача вычисления траектории.** Испытуемому предъявляется треугольная таблица, имеющая структуру треугольника Паскаля (рис. 2). В клетках таблицы расположены числа. Требуется, начиная с вершины треугольника, спускаться, переходя из очередной клетки в ту клетку под ней, где стоит большее число. Гарантируется, что двух одинаковых чисел под клеткой не бывает. Под клетками нижнего уровня стоят их номера подряд слева направо. Надо указать в ответе номер последней клетки траектории спуска, который называется номером траек-

тории. После этого действия индикация и обработка аналогичны задаче поиска максимума. Установка испытываемому также аналогична.

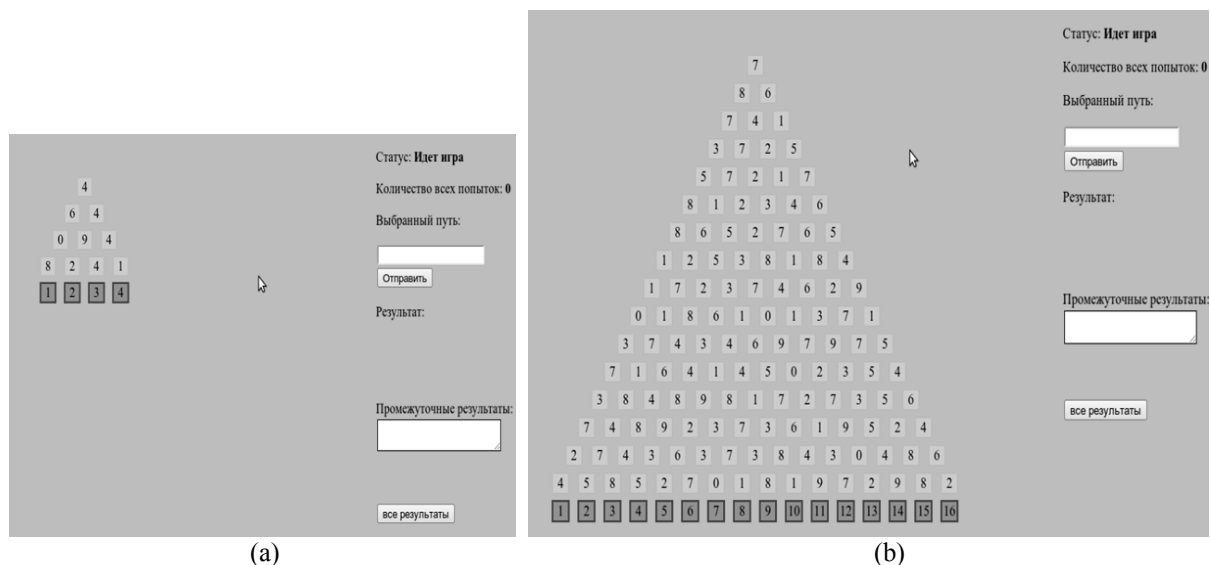


Рис. 2. Форма предъявления задачи вычисления траектории: (a) — сложность 4, (b) — сложность 16

**2.3. Контрольная задача поиска максимума в старом формате.** Для проверки адекватности новой компьютерной технологии предъявления задачи той технологии, которая использовалась в начале 70-х годов прошлого века, была сделана имитация старой формы предъявления. В то время тесты предъявлялись с механического прибора, в который вставлялась карточка с очередной таблицей для поиска максимума, закрытая шторкой. Когда шторка отодвигалась, запускался электрический секундомер, который останавливался при нажатии испытуемым одной из четырех клавиш. Под каждой цифрой в таблице стояла одна из четырех заглавных букв АБСД. Требовалось нажать клавишу с той буквой, которая стоит под максимальным числом. В компьютерной имитации этого эксперимента использовались клавиши [Z] [X] [>] [?] стандартной клавиатуры соответственно буквам. Предварительно испытуемый привыкал к этому соответствию в тренировочной последовательности. Указанные клавиши расположены удобно для нажима пальцами двух рук примерно так, как располагались клавиши в старом электромеханическом приборе. Форма предъявления контрольной задачи показана на рисунке 3.

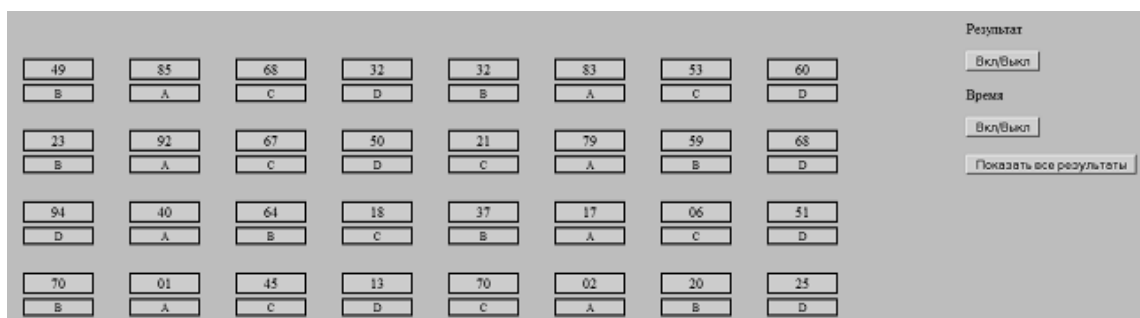


Рис. 3. Контрольная задача поиска максимума с буквенной индикацией ответа — сложность 32

**2.4. Индикация результатов решения.** После каждого решения задачи одного из указанных выше типов испытываемый получает оценку результата в форме, показанной на рисунке 4 для задачи вычисления траектории. Для задачи поиска максимума форма индикации результата аналогична, с заменой надписи «Выбранный путь» на «Выбранный максимум». На рисунке 5 показана индикация для контрольной задачи.

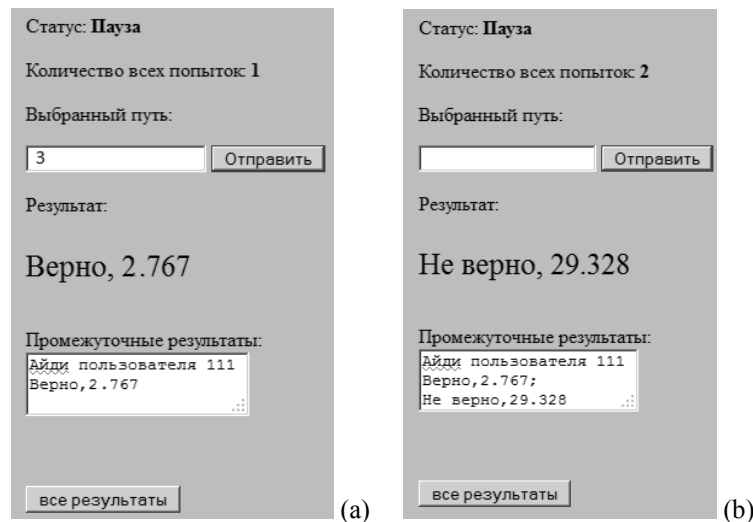


Рис. 4. Индикация результата решения задачи вычисления траектории: (а) — верное решение, (б) — ошибка

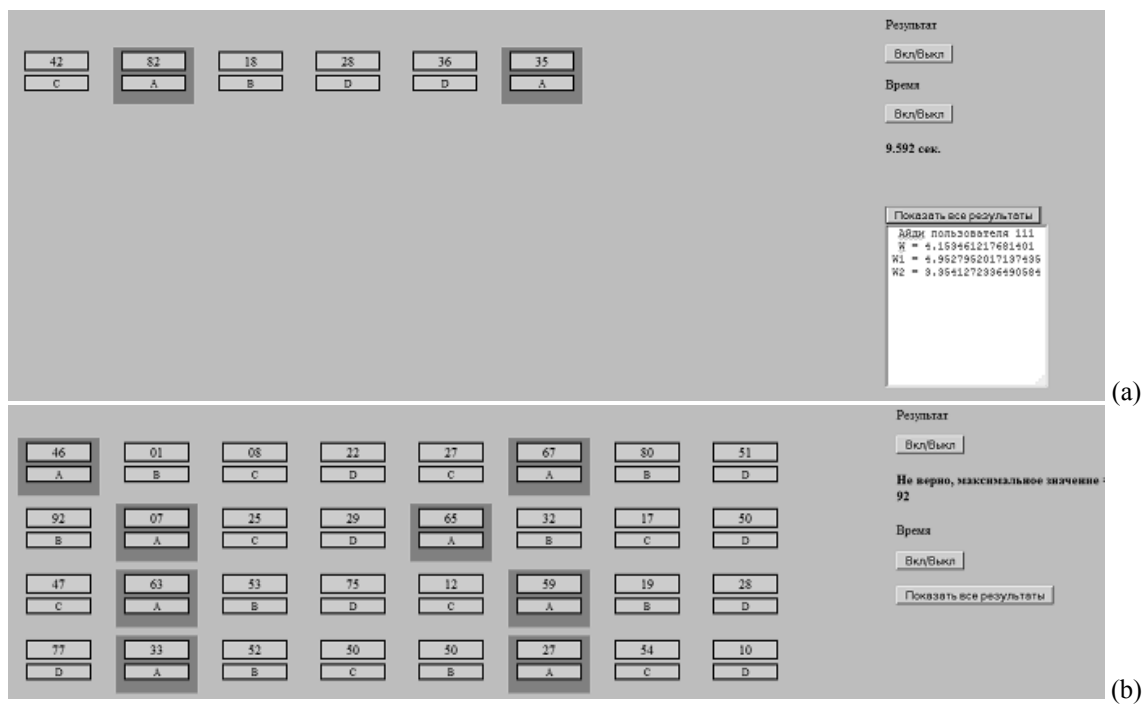


Рис. 5. Индикация верного (а) и ошибочного (б) решения в контрольной задаче поиска максимума; сложности 6 и 32 соответственно

**2.5. Форма инициализации эксперимента.** В начале работы с испытуемым экспериментатор заводит в память компьютера специальный идентификатор данного человека, и далее в статистике все его результаты идут только под этим номером без указания личных данных. При переходе с одной сложности на другую экспериментатор задает новую сложность. Соответствующие экраны показаны на рисунке 6.

### 3. Формирование последовательности задач

Основной проблемой при формировании серии задач является создание такого алгоритма построения таблиц, при котором невозможно найти статистическую закономерность, позволяющую с большой вероятностью угадать ответ, не анализируя всех данных таблицы.

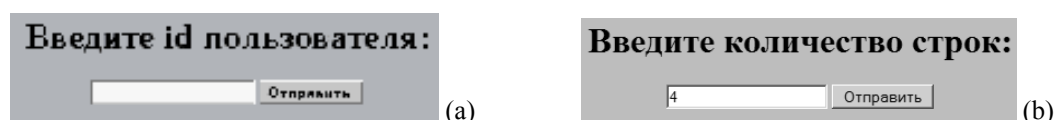


Рис. 6. Формат начала эксперимента: (а) — задание личного идентификатора испытуемого, (б) — задание сложности в очередной серии задач вычисления траектории

Для задачи поиска максимума это требование означает отсутствие характерных областей таблицы, где может находиться максимум. Поэтому алгоритм формирования очередной задачи был следующий. Предварительно задается диапазон натуральных чисел, которые могут стоять в клетках таблицы, и задается нижняя граница возможных значений максимума. На первом шаге с равномерным распределением случайно выбирается числовое значение максимума в используемом диапазоне чисел в таблице с заданным ограничением снизу. Потом с равномерным распределением случайно выбирается клетка таблицы, где этот максимум будет расположен. Затем в остальных клетках таблицы с равномерным распределением и взаимно независимо случайно выбираются числа из части диапазона меньше выбранного ранее максимума. Для чистоты эксперимента нижнее ограничение максимума выбирается так, чтобы ниже него находилось не менее двух чисел диапазона. Кроме того, те задачи, в которых максимум равен наибольшему числу диапазона, не использовались при оценке среднего времени, поскольку в этих задачах можно остановить просмотр таблицы, как только в поле зрения попал этот максимум. В использованном варианте алгоритма использовались все натуральные числа 1–99 с ограничением максимума 3.

Создание тестовых таблиц в задаче вычисления траектории допускает два подхода: либо равномерное статистическое распределение результатов на последнем нижнем уровне, либо равновероятное ветвление право/лево в каждой промежуточной вершине. В последнем случае трудно угадать, куда пойдет траектория из промежуточной вершины, но при большой сложности возникает высокая вероятность расположения окончательного ответа в центральной зоне нижней строки. Вероятность ответа распределена пропорционально биномиальным коэффициентам в треугольнике Паскаля на нижнем уровне. На этой стадии исследований был реализован более простой алгоритм, соответствующий второму подходу. При этом ни один испытуемый не попытался угадывать ответ, используя указанную выше неравномерность распределения. Кроме того, вероятность ошибки при таком угадывании остается высокой даже при большом числе уровней — при четной сложности она выше пятидесяти процентов, что практически делает общий результат недостоверным.

Однако в дальнейшем предполагается реализовать более сложный алгоритм с равномерным распределением ответа. В этом случае несколько облегчается задача последовательного отслеживания траектории, поскольку возникают корреляции между переходами право/лево на разных уровнях таблицы. Сможет ли человек использовать эту статистику неизвестно.

#### 4. Метод оценки пропускной способности мозга при решении задачи

Для выявления параллельности обработки информации в идеале можно использовать зависимость среднего времени правильного решения задачи от сложности. Если время поиска максимума растет не линейно по сложности, а имеет участок слабой зависимости от сложности (плато на графике), то это аргумент в пользу подключения на этом участке графика дополнительного логического блока. Однако при такой методике возникает риск неверного учета объема информации, которую реально использует испытуемый, формируя ответ. Если испытуемый готов пойти на риск ошибки, то можно искать максимум только по некоторой части таблицы, уменьшая время выработки ответа. Поэтому для анализа работы испытуемого требуется характеристика, которая учитывает не только время решения, но и частоту ошибок. Такой характеристикой является пропускная способность мозга как информационного канала при переработке символической информации. В оценке пропускной способности ключевым является следующее положение.

**Утверждение 4.1.** Для достоверного определения максимума в таблице требуется просмотреть все числа в ней. Для достоверного построения траектории в треугольнике требуется просмотреть все пары чисел, которые стоят под точками правильной траектории. Таким образом, при гарантированном решении указанных задач необходимый и достаточный объем исходной информации пропорционален сложности задачи, определенной выше.

**Замечание 4.2.** Если под сложностью задачи понимать число необходимых для решения операций из стандартного логического базиса, то в самом общем случае верно более слабое утверждение: для решения задачи необходимо и достаточно переработать количество символов, пропорциональное сложности задачи. Но при этом часть этих символов не обязательно относится к исходным данным, а появляется в ходе промежуточных вычислений. Учесть такие символы в обработке психологического эксперимента практически невозможно. Ценность предлагаемых в разделе 2 тестов заключается именно в том, что все необходимые для решения задачи символы явно входят в исходную информацию, и их легко учесть.

Введем обозначения:

$W$  — оценка пропускной способности испытуемого;

$K$  — число различных априори возможных вариантов ответа в одной задаче;

$Q = \log_2(M)$  — коэффициент перевода в биты энтропии элемента исходных данных, где

$M$  — число вариантов возможных значений одного элемента исходных данных;

$A$  — число элементов исходных данных, которые надо просмотреть для получения гарантированного верного ответа в одном предъявлении задачи (это мера сложности задачи);

$g$  — доля задач, в которых испытуемый правильно выполнил операции решения задачи в эксперименте на серии задач данной сложности;

$f_T$  — теоретическое значение доли верных ответов, соответствующее  $g$ ;

$f$  — эмпирическое значение частоты (доли) верных ответов;

$T$  — среднее время решения по правильно решенным задачам этой сложности;

$N$  — число предъявленных задач в серии одной сложности.

Под оценкой информации, переработанной испытуемым, будем понимать оценку числа символов, которые он обработал в серии задач данной сложности. Если задача решена не верно, то всю информацию, содержащуюся в ней, будем считать необработанной, а время, затраченное на неверное решение, исключим из оценки среднего времени решения задачи.

Тогда оценка пропускной способности (число переработанных символов в единицу времени) имеет вид

$$W = \frac{QAg}{T}. \quad (4.1)$$

В этой формуле известны все данные, кроме вероятности  $g$ . Для оценки этого параметра можно использовать эмпирическое значение доли верных ответов  $f$ . Если не учитывать погрешность оценки частоты, связанной с конечностью числа предъявлений задач  $N$ , то следует учесть, что при ошибке возможно случайное угадывание ответа (совпадение случайно выданного ответа с правильным значением), что происходит с вероятностью  $1/K$ . Поэтому «теоретическая» частота верных ответов удовлетворяет уравнению

$$f_T = g + (1 - g) / K. \quad (4.2)$$

Разрешая это уравнение относительно неизвестной вероятности, получаем

$$g = \frac{kf_T - 1}{k - 1}. \quad (4.3)$$

Исходя из статистической погрешности значения эмпирической частоты, имеем

$$f_T = f \pm \delta. \quad (4.4)$$



При доверительном интервале равном  $b$  стандартных отклонений  $\delta = b\sigma / \sqrt{N}$ , где сигма обозначает стандартное отклонение бинарного процесса Бернулли (решение верное или неверное). В таких процессах наибольшее значение стандартного отклонения  $\sigma = 1/2$  достигается при равновероятных исходах, когда  $g = 1/2$ . Поэтому

$$\delta \leq \frac{b}{2\sqrt{N}}. \quad (4.5)$$

Из уравнений (4.3), (4.4) и оценки (4.5) следует

$$q = \frac{kf - 1}{k - 1} \mp \frac{bk}{2\sqrt{N}}. \quad (4.6)$$

Теперь из (4.1) можно получить окончательную оценку

$$W = \frac{QA(Kf - 1)}{T(K - 1)} \pm \frac{bQAK}{2T(K - 1)\sqrt{N}}. \quad (4.7)$$

Эта оценка пропускной способности содержит только параметры, известные из эксперимента. При обработке экспериментальных данных был использован доверительный интервал с  $b = 1$ .

## 5. Постановка и результаты эксперимента

Испытуемый сидел за столом перед компьютером (ноутбуком). Ему давали установку в соответствии с разделом 2. Потом он получал задачи по 20 в серии каждой сложности. Результаты заносились в память машины и обрабатывались автоматически.

**5.1. Контрольная серия опытов.** Вначале была исследована контрольная задача (раздел 2.3), предложенная семи испытуемым. Целью этой части опыта была проверка адекватности новой и старой формы предъявления задачи поиска максимума. Некоторые испытуемые получили серии со сложностями  $A = 1, 2, 4, 6, 8, 16, 24, 32$ , которые подавались в опытах по старой методике. Другие получили серии  $A = 2, 4, 6, 8, 16, 32$ . Это позволило сократить нагрузку на человека без существенной потери информативности опыта.

Полученные результаты позволили сделать вывод о достаточном соответствии обеих методик. Времена решения задач и интервал разброса времени решения, а также частота ошибок и расчетная пропускная способность в обоих опытах были одного порядка. В этих опытах задача вычисления траектории не предлагалась. Скорость обработки информации (пропускная способность) составляла 5–30 бит/с. Это близко к известным данным инженерной психологии по скорости восприятия зрительной символьной информации в коре — до 60 бит/с. Более низкое значение объясняется дополнительной логической работой. При этом, у испытуемых, не показавших роста пропускной способности, стабилизация наступала на уровне около 10 бит/с. А значения 20–30 бит/с характерны для роста пропускной способности на задачах высокой сложности.

В этой группе из семи испытуемых два человека показали достоверный (по доверительному интервалу 1 сигма) рост пропускной способности, и еще двое — недостоверный (средняя оценка росла внутри доверительного интервала), но постоянный рост (рис. 7). Остальные испытуемые показали колебания пропускной способности около постоянного уровня (рис. 8). При этом у одного испытуемого на задаче с максимальной сложностью наблюдался достоверный скачок пропускной способности, который можно объяснить повышением концентрации внимания. Такая статистика превосходит процент испытуемых с гипотетической запараллеленностью, установленной в старой серии опытов, — около 10%. К обсуждению этого эффекта вернемся ниже.

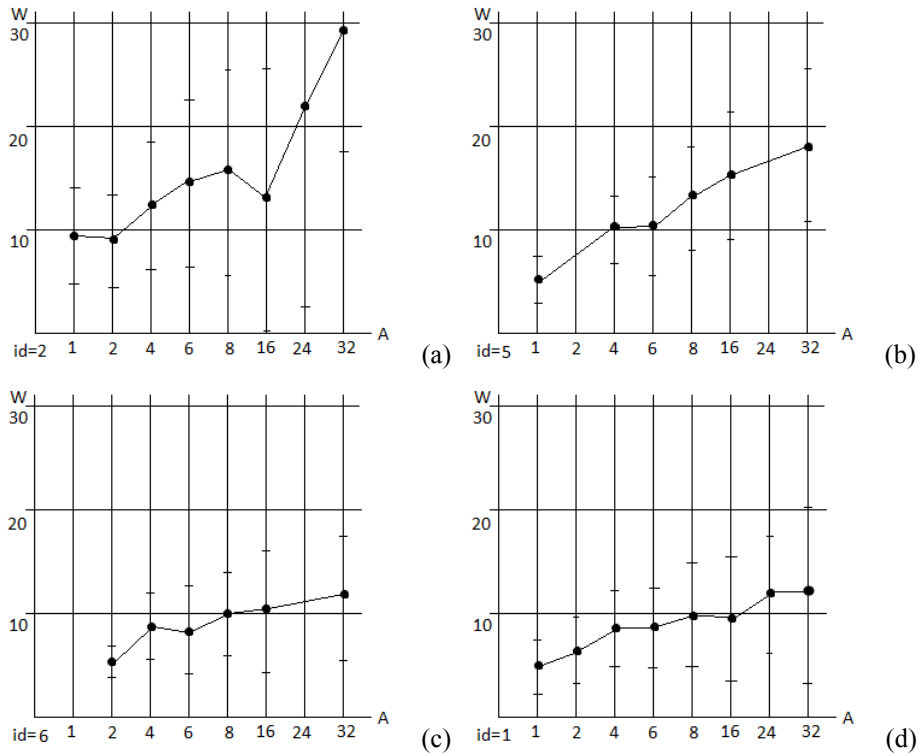


Рис. 7. Устойчивые варианты зависимости пропускной способности от сложности, полученные в контрольной серии опытов: (а, б) — достоверный рост пропускной способности; (с, д) — недостоверный рост; внизу слева отмечены личные идентификаторы испытуемых

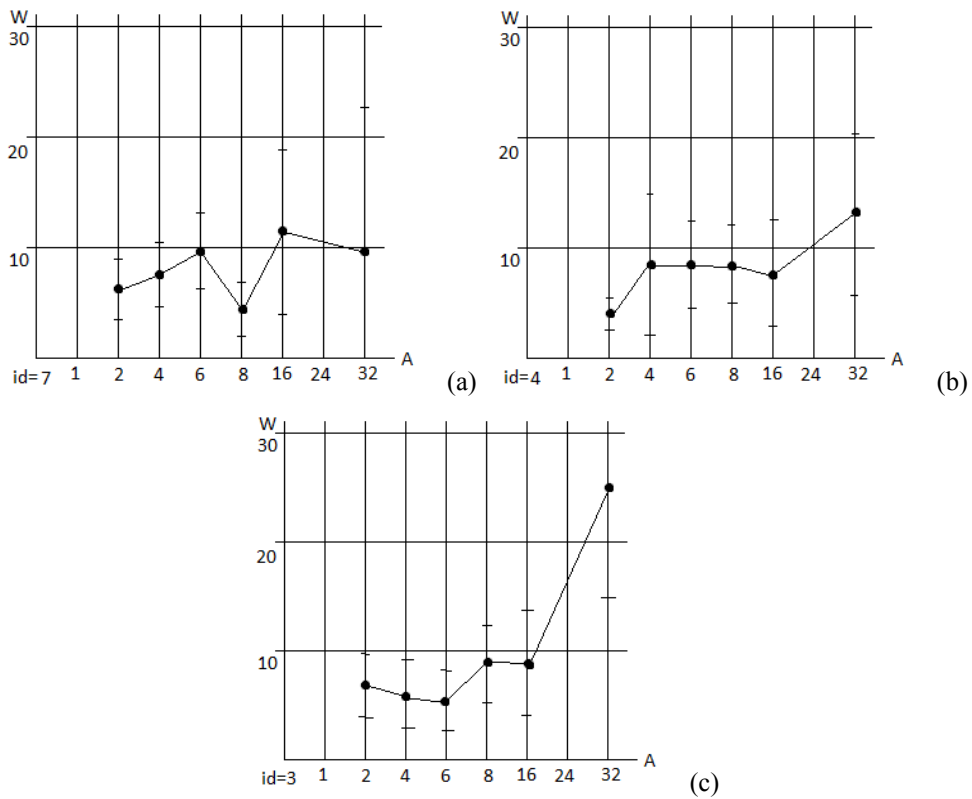


Рис 8. (а, б) — стагнация пропускной способности около среднего уровня; (с) — стагнация с достоверным ростом при большой сложности

**5.2. Основная серия опытов.** В этих опытах каждому испытуемому предлагались серии задач обоих типов: поиска максимума и вычисления траектории, описанные в разделах 2.1 и 2.2. Серии задач вычисления траектории давались только до сложности 16 из-за невозможности вывести на экран ноутбука большой треугольник Паскаля с достаточно крупным шрифтом цифр. Для уравнивания числа серий обеих задач, в серию вычисления траектории была введена сложность 12.

Для задачи поиска максимума сложность задач менялись последовательно по номеру серии так:

$$A = 2, 4, 6, 8, 16, 32.$$

Для задачи расчета траектории последовательность сложности такая:

$$A = 2, 4, 6, 8, 12, 16.$$

Вывод о регистрации параллельной работы испытуемого в задаче поиска максимума делался, если пропускная способность достоверно росла при росте сложности в задаче поиска максимума и достоверно не имела роста в задаче вычисления траектории. Если в обеих задачах регистрировалась достоверная стагнация пропускной способности, то регистрировалась последовательная обработка информации. Вывод о последовательном способе решения задач с ускорением работы задействованных в решении участков мозга делался, если пропускная способность достоверно росла по сложности в обеих задачах. Если нельзя достоверно регистрировать одну из тенденций, то регистрировалась неопределенность результата эксперимента для данного испытуемого. Полная схема анализа результатов опыта приведена в таблице 1. Особый случай, если в задаче поиска максимума есть стагнация пропускной способности, а при вычислении траектории она растет. Это означает, что испытуемый по-разному воспринимает элементарное сравнение в этих задачах и использует ускорение только в задаче траекторий, хотя решает обе задачи последовательно. Такой результат нежелателен, ибо ставит под сомнение основную схему анализа, основанную на эквивалентности сравнений для человека в этих задачах.

Таблица 1. Анализ способа решения задачи испытуемым.

Тип адаптации к сложности	Тенденция W, поиск максимума	Тенденция W, вычисление траектории
Запараллеленность на поиске максимума без ускорения	Рост	Стагнация
Последовательно без ускорения	Стагнация	Стагнация
Последовательно и ускорение на обеих задачах	Рост	Рост
Последовательно; ускорение в поиске траектории; Для испытуемого операции сравнения в этих задачах неэквивалентны.	Стагнация	Рост
Неопределенность	Одна или обе тенденции недостоверны	

Всего по этой схеме была исследована работа 15 испытуемых (идентификаторы 7, 10–23). Испытуемый с идентификатором 7 участвовал и в контрольной серии. Результаты испытуемых с идентификаторами 8 и 9 не вошли в анализ, поскольку на этих опытах отлаживалась методика. Результаты содержатся в сводной таблице 2.

Таблица 2. Сводка результатов эксперимента с решением задач поиска максимума и вычисления траектории

Обозначения столбцов: А — сложность задачи; W — пропускная способность (бит/с); D — доверительный интервал (1 сигма) для значения W

Идентификатор испытуемого	Задача вычисления траектории			Задача поиска максимума			Тип адаптации
	A	W	D	A	W	D	
7	2	1.478	0.739	2	5.213	2.606	последовательность
	4	2.023	1.767	4	7.134	2.493	
	6	2.2805	1.975	6	5.607	1.691	
	8	4.255	1.975	8	9.816	2.392	
	12	6.309	3.561	16	9.986	1.852	
	16	6.743	4.632	32	11.544	2.132	
10	2	2.395	1.197	2	3.6009	1.953	параллельность
	4	2.396	2.236	4	5.959	2.083	
	6	3.129	3.079	6	6.776	1.918	
	8	2.924	3.411	8	7.869	1.917	
	12	14.369	5.352	16	8.495	1.589	
	16	4.239	5.995	32	7.591	2.0602	
11	2	3.821	1.9105	2	4.955	2.477	последовательность
	4	4.4271	3.0203	4	11.209	3.918	
	6	6.4.14	3.587	6	11.281	3.527	
	8	4.426	4.426	8	11.475	3.463	
	12	4.207	5.863	16	10.159	2.722	
	16	4.176	6.814	32	15.7505	3.607	
12	2	1.805	0.902	2	2.735	1.367	параллельность
	4	4.2.192	1.819	4	4.524	1.581	
	6	3.294	2.853	6	5.9501	1.684	
	8	2.619	3.056	8	6.491	1.581	
	12	3.399	4.163	16	7.647	1.612	
	16	3.431	4.852	32	10.274	1.795	
13	2	3.643	1.821	2	6.212	3.332	последовательность
	4	5.348	3.781	4	11.569	4.044	
	6	5.432	4.923	6	11.451	3.683	
	8	5.781	5.781	8	11.868	2.892	
	12	4.232	6.6302	16	13.263	3.0901	
	16	5.319	8.875	32	14.4003	3.101	
14	2	2.398	1.199	2	3.841	1.9208	ускорение / недостоверность
	4	2.398	1.199	4	6.122	2.139	
	6	3.7501	3.511	6	7.584	2.147	
	8	4.497	4.497	8	8.055	1.963	
	12	4.951	6.064	16	9.029	1.643	
	16	4.495	7.335	32	6.681	1.063	
15	2	1.745	1.646	2	2.164	1.082	параллельность
	4	1.851	1.646	4	3.815	1.333	
	6	1.522	2.006	6	4.5202	1.28	
	8	2.6309	3.069	8	5.492	1.338	
	12	3.535	4.3301	16	7.214	1.219	
	16	3.141	4.442	32	5.853	1.1107	
16	2	2.728	1.364	2	6.5008	1.641	параллельность
	4	4.797	3.592	4	14.248	2.651	
	6	5.2003	4.845	6	19.334	2.818	
	8	5.201	5.663	8	19.986	2.629	
	12	5.834	7.146	16	24.681	2.649	
	16	5.6203	7.948	32	17.576	1.559	

Таблица 2. (продолжение)

идентификатор испытуемого	задача вычисления траектории			задача поиска максимума			тип адаптации
	A	W	D	A	W	D	
17	2	1.398	0.798	2	1.429	0.714	параллельность
	4	2.572	1.818	4	3.108	1.086	
	6	3.353	2.904	6	4.357	1.234	
	8	3.732	3.732	8	5.087	2.306	
	12	3.568	5.061	16	4.0208	1.227	
	16	4.256	6.019	32	5.567	1.125	
18	2	2.551	1.275	2	1.714	0.944	последовательность
	4	4.305	3.341	4	6.541	2.434	
	6	4.632	4.419	6	3.9303	1.694	
	8	4.981	4.981	8	8.036	2.095	
	12	5.682	6.959	16	7.314	2.377	
	16	3.921	7.562	32	5.709	1.774	
19	2	1.716	1.049	2	3.554	0.897	параллельность
	4	1.236	1.573	4	7.388	1.319	
	6	2.9703	3.026	6	6.404	1.122	
	8	3.589	4.187	8	10.952	1.382	
	12	4.165	5.101	16	13.572	1.347	
	16	4.171	5.899	32	16.598	1.047	
20	2	1.936	0.968	2	2.221	1.317	параллельность
	4	2.999	2.121	4	6.564	2.294	
	6	3.582	3.102	6	8.069	2.523	
	8	3.4105	3.4105	8	9.3908	2.472	
	12	3.5601	4.3603	16	10.666	2.124	
	16	3.601	5.093	32	13.9709	1.8503	
21	2	6.253	1.364	2	11.763	1.296	последовательность
	4	6.179	0.9307	4	10.436	1.344	
	6	7.873	1.163	6	10.271	1.159	
	8	6.137	1.016	8	14.499	1.724	
	12	4.578	1.042	16	11.854	1.791	
	16	5.539	0.892	32	10.208	1.984	
22	2	4.405	0.985	2	13.427	1.516	ускорение
	4	5.517	0.881	4	14.604	1.552	
	6	5.5403	0.7907	6	12.434	1.561	
	8	7.155	0.914	8	13.018	1.635	
	12	7.623	1.043	16	16.551	2.079	
	16	7.6908	0.968	32	19.195	2.283	
23	2	4.987	1.088	2	7.009	0.754	параллельность
	4	7.123	1.106	4	8.643	0.976	
	6	6.952	0.9103	6	10.271	1.2903	
	8	7.417	0.924	8	11.357	1.384	
	12	2.863	0.3407	16	13.029	1.778	
	16	5.593	0.724	32	12.723	1.638	

## 6. Анализ результатов

6.1. Из таблицы 2 видно, что среди 15 испытуемых запараллельность показали 8, более половины. Это значительно больше, чем в старых экспериментах 1970-х годов, где этот показатель составил 3 из 28. Можно предположить, что наличие в таблице одновременно чисел и букв затрудняет адаптацию человека к росту сложности и снижает вероятность перехода на параллельный алгоритм решения. Возможно, также сказалась тренированность современных людей к

работе с экраном и клавиатурой, что облегчает адаптацию. Последнее более вероятно, поскольку в контрольной серии, близкой к старым экспериментам, также наблюдался большой процент роста пропускной способности, даже если не учитывать случаи недостоверного роста по критерию доверительного интервала 1 сигма. Надо учесть также более комфортные условия работы испытуемого по сравнению с механическим предъявлением задач.

6.2. Ни разу не встретился вариант роста пропускной способности расчета траектории без роста на задаче поиска максимума. Как отмечалось выше, это означает высокую достоверность факта эквивалентности для человека операции элементарного сравнения пары чисел при решении обеих задач. Таким образом, принцип, положенный в основу метода выявления параллельной обработки информации, нашел подтверждение.

6.3. Обнаружен один достоверный и один вероятный случай адаптации за счет ускорения выполнения элементарной операции сравнения без параллельности (таблица 2, идентификаторы 22 и 14). Это подтвердило целесообразность проведения эксперимента на двух задачах. При использовании только задачи поиска максимума эти случаи могли быть ошибочно отнесены к запараллеленности.

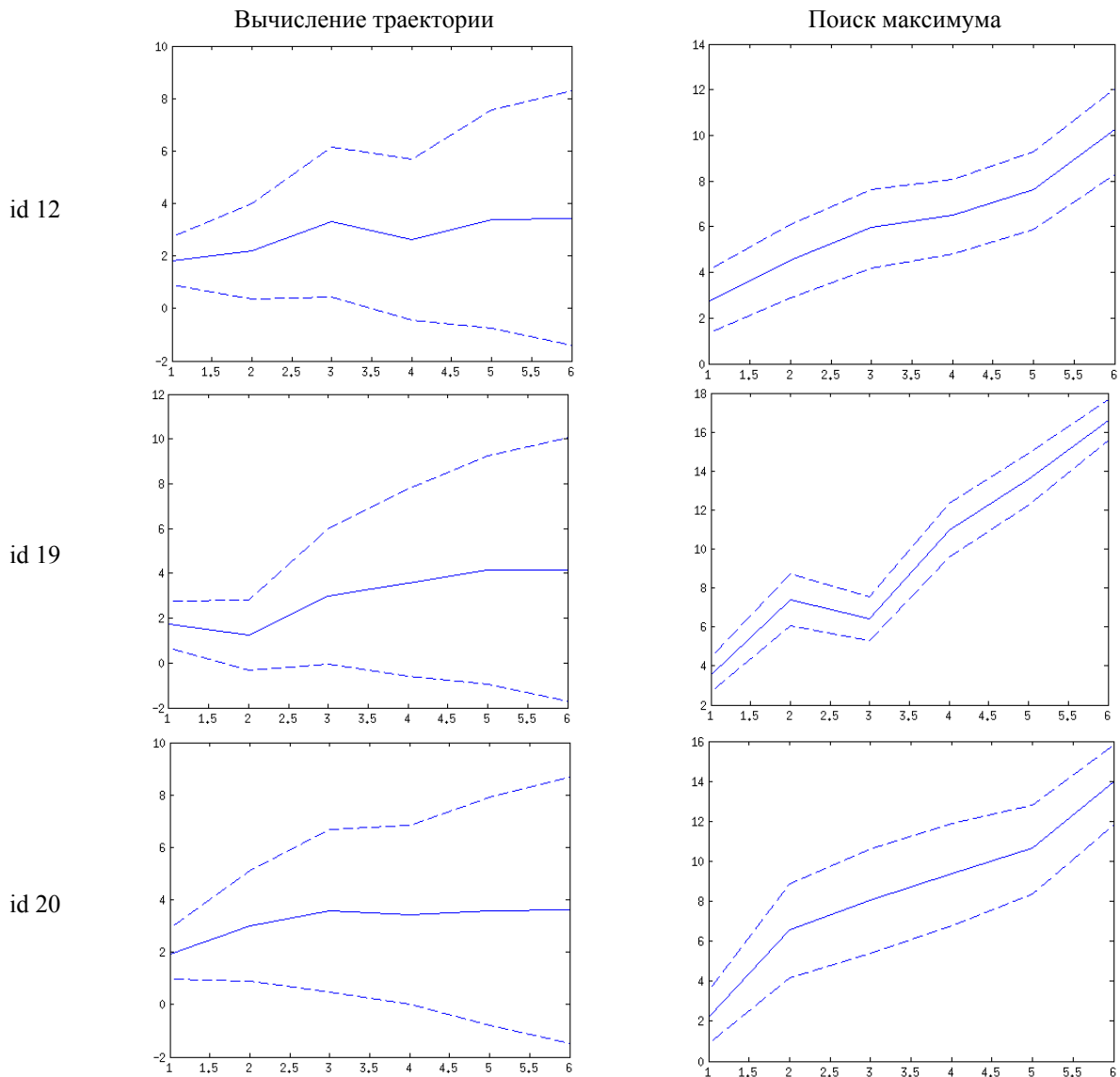


Рис. 9. Примеры четкой регистрации запараллеленности

6.4. Как и ожидалось, запараллеленность является более частым способом адаптации к росту сложности, чем ускорение работы участков мозга. Видимо, при стремлении решить задачу быстрее человек выходит на максимум быстродействия еще при малых сложностях. На это указывает и некоторый рост пропускной способности у большинства испытуемых при переходе от сложности 2 к сложности 4. Тем не менее, как указано в п. 6.3, резерв роста быстродействия иногда сохраняется.

6.5. У большинства испытуемых на общую тенденцию изменения пропускной способности накладываются значительные шумовые отклонения. Это связано, в первую очередь, с нестабильностью концентрации внимания. Поскольку эксперимент длился около часа, то возникали как внешние отвлекающие факторы, так и субъективная нестабильность в состоянии испытуемого. В некоторых случаях удавалось зафиксировать причину этих флуктуаций, например, появление в комнате нового человека или посторонний шум. Добиться более стабильных условий опыта в данной серии экспериментов не удалось. Такой эффект наблюдался и в первой серии опытов с механическим представлением информации. Поэтому при оценке общей тенденции зависимости пропускной способности от сложности приходилось иногда отбрасывать явные одиночные выбросы. Большинство таких скачков происходило внутри доверительного интервала относительно сглаженной кривой.

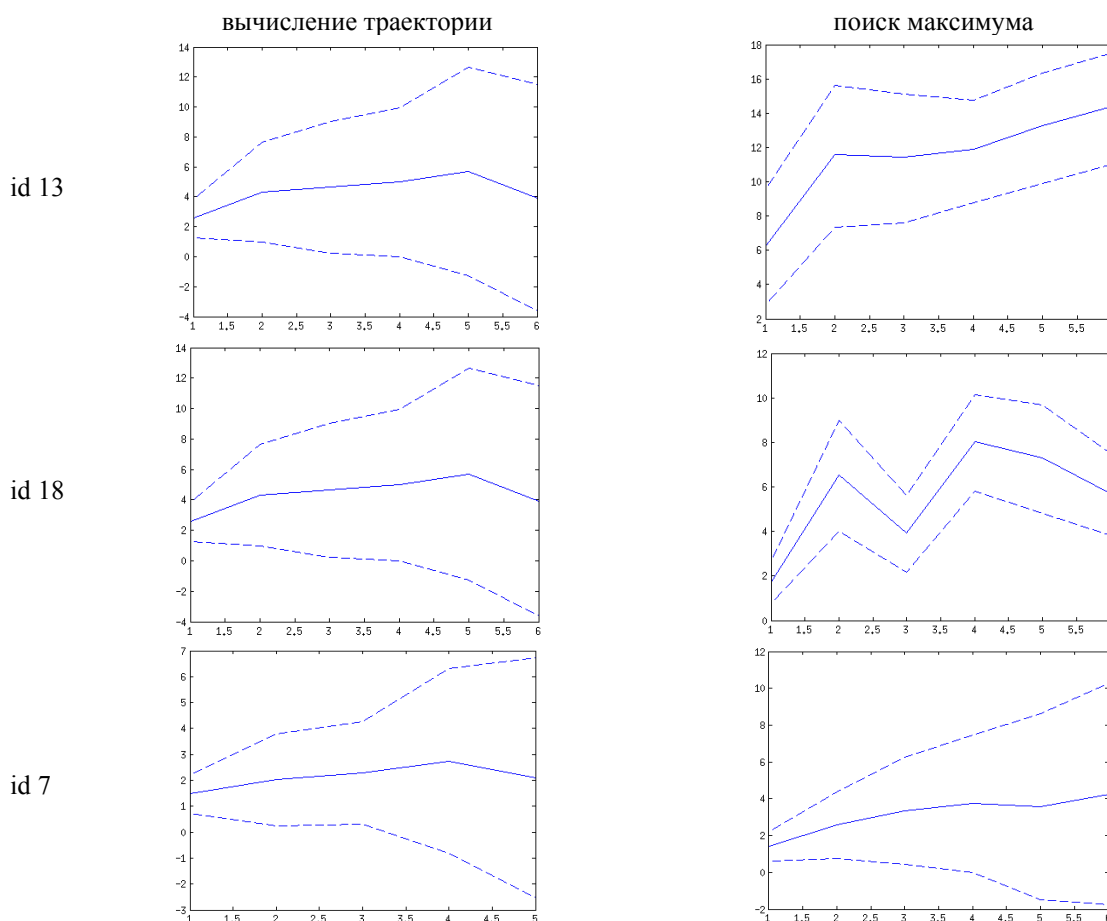


Рис. 10. Примеры четкой регистрации последовательной работы. У испытуемого с идентификатором 18 на задаче поиска максимума видна нестабильность работы

6.6. Оценка тенденции удобно проводить в графическом представлении зависимости. При этом лучше видны и выбросы. На рисунках 9 и 10 показаны некоторые характерные формы таких графиков. При обработке результатов опыта все данные таблицы 2 были переведены в графическую форму. На графиках по оси абсцисс указан номер серии задач от 1 до 6 в соответст-

вии с последовательностями сложности, указанными в разделе 5.2, и таблицей 2 (без указания самой сложности). По оси ординат показана пропускная способность (бит/с).

## 7. Выводы

7.1. Построен комплекс программ для мобильного компьютера, позволяющий предъявлять в графической форме два типа задач — поиска максимума и вычисления траектории. Эти программы позволяют ставить эксперименты по решению человеком серий этих задач возрастающей сложности с графическим представлением в форме таблиц и с регистрацией времени решения, правильности решения и оценкой показанной пропускной способности (количества символов, переработанных в единицу времени).

7.2. Целью проведенных экспериментов является выявление тех испытуемых, которые могут сокращать время решения задачи поиска максимума путем подключения параллельных логических процессоров при возрастании сложности (запараллеленность). Альтернативами является либо равномерная последовательная обработка входной информации, либо последовательная обработка с ускорением логической работы мозга при высокой сложности. Разработана методика различения этих вариантов адаптации к сложности у испытуемого.

7.3. Проведены эксперименты с 23 испытуемыми. В обработку основной серии задач попали 15 испытуемых. Анализ показал, что после предварительной тренировки примерно половина испытуемых (8 из 15-ти) используют запараллеленность для адаптации к растущей сложности. Ускорение последовательной обработки данных показали не более чем двое из пятнадцати. Остальные показали равномерную последовательную работу (5 из 15).

7.4. Кроме того, была проведена контрольная серия опытов (7 испытуемых) для установления адекватности новой компьютерной методики ранее поставленным опытам с помощью электромеханической методики предъявления задач. Показано, что порядок времени решения задачи и процент ошибок в обеих методиках близкие. Однако процент людей, показавших рост пропускной способности при росте сложности задачи в компьютерной методике, значительно выше. В опытах 1970-х годов рост показали только 3 человека из 28. Причем это были люди, имевшие специальную профессиональную тренировку для быстрой обработки информации. Вероятно, это связано с более комфортными условиями работы на компьютере, а также с привычностью современного человека к работе с информацией на экране.

7.5. Можно отметить эффективность разработанной методики и технической реализации для поставленной цели. Такую методику можно использовать для профессионального отбора и тренировки специалистов в областях, где требуется быстрый анализ большой символьной информации. Однако особый интерес она представляет для когнитивной психологии, позволяя аналитически выявлять структуры, которые формирует мозг при решении вычислительных и логических задач.

## Список литературы

- Злобин А. И., Коганов А. В., Ракчеева Т. А.* Исследование скорости переработки информации человеком в серии задач растущей сложности // Девятые Курдюмовские чтения: международная междисциплинарная научная конференция «Синергетика в общественных и естественных науках». — Тверской государственный университет. — Тверь, 2013а. — С. 57–60.
- Злобин А. И., Коганов А. В., Ракчеева Т. А.* Метод исследования пропускной способности человеческого мозга при обработке символьной информации // 20-я международная конференция «Математика. Компьютер. Образование», Пущино МО, 2013б, Тезисы докладов, НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика». — Москва–Ижевск. — С. 171.
- Коганов А. В.* Исследование возможности параллельного выполнения логических операций человеком. Параллельные вычисления и задачи управления. Труды международной конференции РАСО–2001. — Москва, ИПУ РАН, 2001.



- 
- Коганов А. В.* Коллективы автоматов в детерминированных и случайных средах и приложение к психологическим тестам. Диссертация на соискание ученой степени к.ф.-м.н. М., 1972.
- Коганов А. В., Пятецкий-Шапиро И. И., Фейгенберг И. М.* Зависимость скорости решения от сложности и способа кодирования исходных данных // Сб. «Вопросы экспериментального исследования скорости реагирования». — Тарту, 1971.
- Коганов А. В.* Растущие индукторные пространства и анализ параллельных алгоритмов // Программные продукты и системы, приложение к международному журналу «Проблемы теории и практики управления». — 2010. — № 2. — С. 33–38.
- Котик М. Л.* Курс инженерной психологии. — Таллин: Валгус, 1978.
- Крылов А. А.* Организация целостной деятельности функциональных механизмов обработки информации. Хрестоматия по инженерной психологии. — М.: «Высшая школа», 1991.
- Суходольский Г. В.* К вопросу о формировании у человека — оператора навыка слежения за движущейся целью // Проблемы общей и инженерной психологии. — Л.: Изд-во ЛГУ, 1964. — С. 80–89.