

РАБОЧАЯ ПАМЯТЬ КАК ПЕРСПЕКТИВНЫЙ КОНСТРУКТ КОГНИТИВНОЙ ПСИХОЛОГИИ И МЕТОДЫ ЕГО ИЗМЕРЕНИЯ¹

В.К. Войтов, В.В. Косихин, Д.В. Ушаков

Понятие рабочей памяти является одним из центральных в современной когнитивной психологии. С теоретической позиции оно выступает одним из важных объяснительных конструктов интеллекта. В практическом плане рабочая память при большом удобстве измерения показала себя важным предиктором достижений в образовании и профессии. В то же время в арсенале отечественных психологов рабочая память еще не заняла подобающего ей места. В МГППУ создается вторая версия системы психологического тестирования рабочей памяти. В настоящее время в Internet функционирует несколько тестов, входящих в эту систему. Вход в систему можно осуществить по адресу: <http://it-span.mgppu.ru/u3rem/>. При вычислении трудностей заданий тестов и оценке способностей тестируемых использовалась технология IRT (Item Response Theory).

Working memory is one of the core concepts of the contemporary cognitive psychology. Working memory have shown to be strongly related to general intelligence and a number of different higher-order cognitive abilities. Psychometric measures of working memory are easy to obtain and are widely used to predict educational attainment and professional success. In this paper the second version of the Internet-based working memory measurement system is presented, which have been developed at The Moscow State University of Psychology and Education to support the research of working memory in Russia. Item response theory has been implemented to assess the tasks' difficulty and subjects' ability.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Рабочая память, кратковременная память, интеллект, когнитивная психология, психологическое тестирование, адаптивные методы тестирования.

1. ВВЕДЕНИЕ

Задача этой статьи заключается в том, чтобы рассмотреть понятие рабочей памяти, а также предложить способы его операционализации, которые в настоящее время могут использоваться отечественными психологами. Будет описана версия тестов рабочей памяти, которая размещена авторами в сети Интернет, а также первичные результаты, полученные по этим тестам.

Понятие рабочей памяти является одним из центральных в современной когнитивной психологии. С теоретической позиции оно выступает одним из важных объяснительных конструктов интеллекта. Оно широко используется в исследованиях когнитивной система человека, являясь там одним из фундаментальных концептов. В практическом плане рабочая па-

¹ Работа поддержана грантом РГНФ № 15-06-10890.

мять при большом удобстве измерения показала себя важным предиктором достижений в образовании и профессии.

Ниже будет кратко рассмотрена история изучения этого понятия в контексте как исследования процессов переработки информации, так и описания индивидуальных различий, а также изложены собственные разработки, связанные с компьютерной реализацией тестов рабочей памяти.

2. ИСТОРИЯ ПОЯВЛЕНИЯ ПОНЯТИЯ РАБОЧЕЙ ПАМЯТИ

Термин «рабочая память» (РП) в современной когнитивной психологии означает систему, обеспечивающую кратковременное хранение ограниченного объема информации и манипулирование ею. Впервые он встречается в работах Миллера [15], а позднее – Аткинсона и Шифрина [7]. В то время термин «рабочая память» использовался синонимично с терминами «кратковременная память», «первичная память», «оперативная память» и пр., а его содержание сводилось к способности удерживать новую информацию в течение короткого периода времени (в диапазоне нескольких секунд). Основанием для различения рабочей и кратковременной памяти заключалось в том, что классические работы по кратковременному запоминанию показали, что для объяснения результатов недостаточно прибегнуть к представлению о некоем хранилище, где информация существует в течение ограниченного промежутка времени. Были предложены более сложные модели, включающие как управляющие (executive) компоненты, которые запускают, переключают, отслеживают работу других когнитивных механизмов, так и служебные (slave) системы – фонологическая петля и визуально-пространственный буфер. Представление о кратковременном запоминании как сложной структуре, задействующей различные компоненты и процессы, и привело к различению рабочей и кратковременной памяти. Начиная с работ Бэддели и Хитча [11], рабочая память понимается как включающая кратковременную память, но несводимая к последней, поскольку рабочая память обеспечивает не только хранение, но и обработку информации.

3. МОДЕЛИ СТРУКТУРЫ РАБОЧЕЙ ПАМЯТИ

В настоящее время существует несколько конкурирующих моделей рабочей памяти. Теория Бэддели и Хитча [9,10]) является первой и доминирующей среди этих концепций. Главное положение этой модели – существование функционально различных компонентов в системе РП – принимается большинством последующих теорий рабочей памяти, которые, как правило, не содержат принципиальных разногласий с теорией Бэддели и Хитча и в той или иной степени комплементарны ей.

Ядро модели составляют три компонента: центральный управляющий (central executive, часто встречается перевод «центральный исполнитель»), фонологическая петля (phonological loop) и визуально-пространственный блокнот (visuospatial sketchpad). Два последних компонента обеспечивают удержание информации различных модальностей – фонологической и визуально-пространственной соответственно. Центральный управляющий в общем случае обеспечивает все функции, связанные с манипуляцией сохраненной информацией.

Фонологическая петля и визуально-пространственный блокнот являются подчиненными (slave) компонентами относительно центрального управляющего (ЦУ). В то же время им посвящено большее число работ в области рабочей памяти, а структура и принцип действия ЦУ исследованы сравнительно менее подробно. Изначально Бэддели и Хитч описывали ЦУ как своего рода гомункулус, выполняющий, собственно, управляющие функции, не сводимые к хранению информации. В списке последних выделяются фокусировка внимания,

разделение внимания между несколькими стимулами или задачами и переключения внимания между задачами [8].

Хотя большинство исследований рабочей памяти опираются на модель Бэддели и Хитча, которая существенно усложнилась со времен первых работ и до сих пор сохраняет потенциал развития, есть и альтернативные теории, в той или иной степени отвергающие многокомпонентный подход к РП в пользу более обобщенных механизмов запоминания и воспроизведения информации. В модели Коуена [12] РП определяется как активированная часть долговременной памяти, которая включает зону под названием «фокус внимания», объем которой составляет около четырех «чанков» информации (каждый из которых может содержать несколько связанных элементов). Информация, входящая сенсорным путем, согласно Коуену, попадает в унифицированное хранилище, не разделенное по модальности, где содержится не более нескольких сотен мс, а затем вызывает активацию долговременной памяти.

Коуен различил рабочую и кратковременную память следующим образом. Кратковременная память включает элементы долговременной памяти, получившие в определенный момент времени надпороговую активацию. В рабочую память входит лишь часть этих элементов, а именно те, с которыми активно работают аттенциональные механизмы, связанные с управляющими процессами. Таким образом, кратковременная память – это просто хранилище информации, а рабочая память – еще и аттенциональные управляющие процессы.

Несмотря на принципиальное, на первый взгляд, расхождение между теориями Коуена, с одной стороны, и Бэддели и Хитча, с другой, сам Бэддели считает, что оно сводится к терминологии и области интереса. С точки зрения модели Бэддели и Хитча, Коуен просто более подробно описал взаимодействие между центральным управляющим и эпизодическим буфером.

4. РАБОЧАЯ ПАМЯТЬ В ПСИХОЛОГИИ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ РАЗЛИЧИЙ

Первую когнитивную задачу, которая рассматривается как валидный тест рабочей памяти, разработали М. Дейнман и П. Карпентер [13]. Это так называемая RS (reading span) задача, которая состоит в том, что испытуемому предъявляются несколько простых фраз, относительно которых он должен, например, сказать, являются ли они истинными. После того, как все фразы предъявлены, необходимо воспроизвести последние слова этих фраз. Вскоре была разработана OS (operation span) задача, где испытуемые должны были выполнять арифметические действия и запоминать слова, находящиеся в конце строки с описанием арифметических действий.

Обе эти задачи относятся к типу двойных задач, где испытуемый должен сочетать запоминание с дополнительным действием (счетом, опознанием фраз и т.д.).

Стало возникать представление о том, что как RS-, так и OS-задачи оценивают важную когнитивную способность, связанную не столько с содержанием (вербальным, пространственным, числовым и т.д.), сколько с возможностью параллельного выполнения задач.

5. РАБОЧАЯ ПАМЯТЬ И ИНТЕЛЛЕКТ

С теоретической позиции достаточно естественно, что рабочая память выступает основным и наиболее обсуждаемым кандидатом на роль когнитивного процесса, объясняющего интеллект, в современной психологии. Весьма правдоподобно, что способность к решению интеллектуальных задач выше у тех людей, которые способны одновременно держать в голове большее число идей. Подобную концепцию уже очень давно выдвинул один из предшественников Ж. Пиаже Дж. Болдуин, правда, в несколько ином контексте. Болдуин полагал, что

развитие интеллекта в онтогенезе можно объяснить увеличением количества элементов, с которыми может одновременно работать мышление. Хотя Пиаже подобные представления отвергал, неооппианцы вновь к ним вернулись [16].

В область интеллекта проблема рабочей памяти была эксплицитно внесена в высокоцитируемой статье 1990 г. П. Киллонена и Р. Кристала под эпатирующим названием «Способность к рассуждению – это (немногим больше, чем) рабочая память»² [14] Авторами была разработана специальная батарея для измерения рабочей памяти. Она показала настолько высокие корреляции интеллекта и рабочей памяти, что, по мнению авторов, эти два понятия близки к тому, чтобы совпасть. По результатам различных исследований, рабочая память объясняет от 50 до 90% дисперсии показателей флюидного интеллекта.

Дополнительную поддержку объяснение генерального фактора через рабочую память находит в некоторых исследованиях процессов решения интеллектуальных задач [4,5]

6. ИЗМЕРЕНИЕ РАБОЧЕЙ ПАМЯТИ

Одно из важных достоинств рабочей памяти, которое обуславливает расширяющуюся сферу ее применения, состоит в надежности и удобстве ее измерения. Задания на определение объема рабочей памяти компактны, легко выполняются испытуемым и при этом хорошо коррелируют друг с другом, образуя устойчивую факторную структуру. В этом она выгодно отличается от многих других психологических конструктов и позволяет обеспечить успех как в исследовательском, так и практическом применении. Кроме того, тестирование рабочей памяти очень удобно проводить в автоматическом компьютерном режиме. Важность автоматизации психологического тестирования программным путем становится все более актуальной. Это вызвано возможностью сокращения времени, требуемого для организации прохождения тестирования и отсутствием кадров соответствующего уровня для организации тестирования.

Вместе с тем, в нашей стране исследования рабочей памяти пока что не приобрели того места, которое они заслуживают. В настоящее время в МГППУ ведутся работы по созданию системы тестирования рабочей памяти человека, функционирующей в Internet.

Первая версия этой системы была создана. В ней функционировало 15 тестов. Сейчас система тестирования перерабатывается и создается вторая версия системы. На данном этапе в системе функционирует 8 тестов.

Эти тесты имеют значительную традицию изучения в когнитивной психологии и отражают разные стороны конструкта рабочей памяти. Их совместное проведение позволяет создать надежную и многомерную картину развития рабочей памяти испытуемого.

Ниже содержится краткое описание этих тестов.

Тест Visual MUT

Испытуемому предъявляется квадратная таблица с меткой в одной ячейке. Затем предъявляется серия знаков в виде стрелок 'вверх', 'вниз', 'вправо', 'влево'.

Необходимо мысленно переместить метку в запомненной таблице в указанном направлении на одну клетку для каждого знака. Затем предъявляется пустая таблица для ответа, в которой следует указать, в какой из ячеек окажется метка. При прохождении теста длина серии знаков возрастает.

В тесте реализована возможность задавать размеры таблицы и число параллельных рядов из таких таблиц со знаками. На рис. 1 изображены элементы такого ряда при задании в тесте только одного ряда. Если определить, например, два ряда, то будет параллельно гене-

² Отметим, что в российской психологии в близкое время В.Н. Дружинин выдвинул в качестве объяснительного принципа интеллектуальный ресурс, который он также определял как способность одновременно оперировать значительным количеством материала [2].

рироваться две таблицы и две серии знаков. При этом первый ряд будет розовым, а второй – зеленым. Тест усложнится. В памяти потребуется держать две таблицы и параллельно выполнять две серии действий.

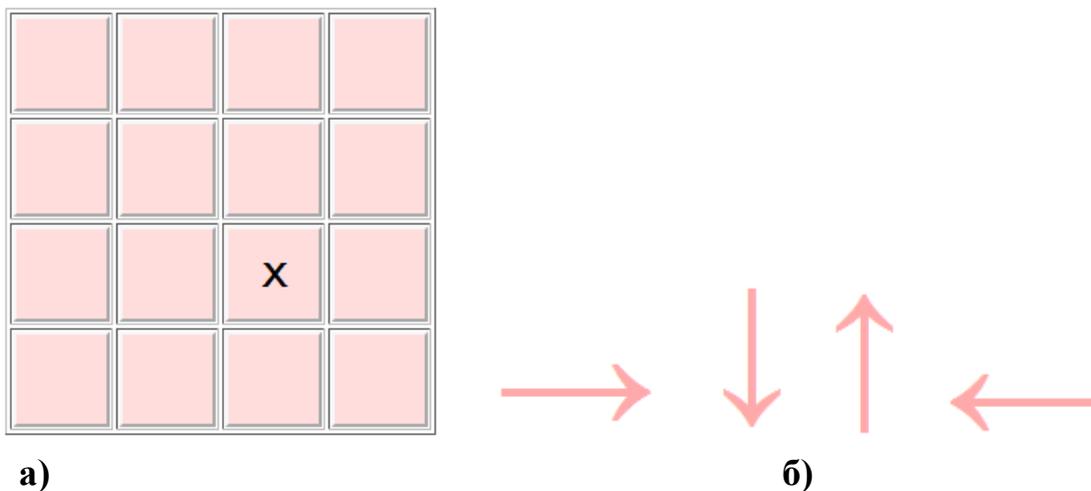
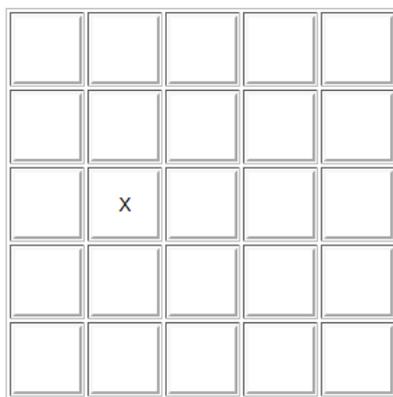


Рис. 1. Вид таблицы с меткой (а) и серии знаков в виде стрелок (б).

Тест n-Back Matrices

Предъявляется ряд квадратных таблиц с меткой 'X' в одной из ячеек (рис. 2). Этот ряд является целевым и его нужно запомнить. В конце ряда Вам будет предъявлена подобная таблица с меткой 'X' и задается вопрос, является ли эта таблица n-тым элементом ряда с конца ряда. На этот вопрос следует ответить “Да” или “Нет”.



Это 2-й стимул от конца (из 3)?

Рис. 2. Вид окна с вопросом для теста n-Back Matrices.

Тест Symmetry Span Image

Предъявляется ряд парных элементов (рисунок и набор полосок). Рисунки надо запомнить, а после каждого появления полосок следует отвечать, составляют ли полосы симметричную фигуру ('Да') или несимметричную фигуру ('Нет'). В конце ряда предъявляется таблица с рисунками, в которой мышью следует отметить запомненные рисунки (в порядке их появления). После этого предъявляется новый ряд, в котором число пар на единицу больше и так далее. Максимальную длину ряда задает администратор-психолог. Ниже на рис. 3 приведены примеры фигур, предъявляемых в тесте.

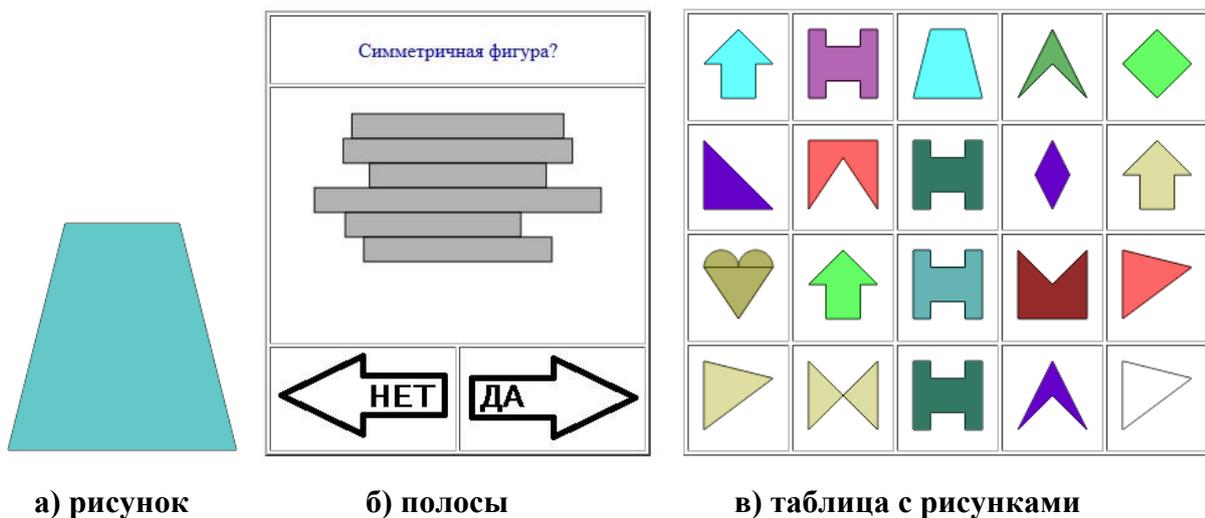


Рис. 3. Вид фигур, предъявляемых в тесте Symmetry Span Image.

Тест Symmetry Span Matrices

Этот тест похож на предыдущий тест, но вместо рисунка предъявляется квадратная таблица с отмеченным элементом. После каждой такой таблицы также генерируется рисунок с полосками. В конце ряда Вам будет предъявлена пустая таблица, в которой мышью надо отметить запомненные положения меток (в порядке их появления). Параметр ряды указывает, сколько таких параллельных рядов разного цвета реализуется

Пользователь может задать размеры матрицы и число параллельных рядов (они выделяются разным цветом).

Тест Simple Span Text (5.1)

Предъявляется ряд слов и псевдослов, которые необходимо запомнить. Затем появляется таблица со словами и псевдослов, в которой мышью следует отметить запомненные элементы (в порядке их появления).

Пользователь может задать число параллельных рядов (они выделяются разным цветом).

Тест Simple Span Image (5.2)

Этот тест похож на предыдущий тест, но вместо слов предъявляются рисунки, которые надо запомнить. Здесь нет рисунков с полосками. В конце ряда появляется таблица с рисунками, в которой мышью следует отметить запомненные рисунки (в порядке их появления).

Пользователь может задать число параллельных рядов.

Тест Simple Span Matrices (5.3)

Этот тест похож на предыдущий тест, но вместо рисунка предъявляется квадратная таблица с отмеченным элементом. Здесь нет рисунков с полосками. В конце ряда предъявляется пустая таблица, в которой мышью надо отметить запомненные положения меток (в порядке их появления).

Пользователь может задать размеры матрицы и число параллельных рядов (они выделяются разным цветом).

Тест Reading Spans

Предъявляется ряд предложений, появляющихся одно за другим. Необходимо прочесть их вслух и запомнить последнее слово каждого предложения. Затем появляется таблица со сло...

вами, в которой мышью следует отметить запомненные элементы (в порядке их появления). Данный тест реализован с использованием системы **Flash**, что позволяет защитить исходный код. Визуальные средства создания теста при этом максимальны.

7. РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ON-LINE ТЕСТИРОВАНИЯ

В целях обеспечить удобство использования описанных выше тестов была разработана Интернет-система, позволяющая осуществлять on-line тестирование с сохранением всех полученных результатов. Ниже описана работа этой системы.

7.1. Вызов системы тестирования

Вход в Систему тестирования происходит при наборе в Интернет: **it-span.mgppu.ru/u3rem**. Появляется окно регистрации, в котором пользователю следует ввести имя, пароль и группу (не обязательно). Если пользователь впервые ввел имя, пароль и группу, то такой пользователь создается, об этом появляется соответствующее сообщение и следует снова ввести имя и пароль. Появляется “Меню выбора теста” (см. рис. 4). При наведении мыши на строку с названием теста появляется краткое описание соответствующего теста.



Рис. 4. Меню выбора теста.

7.2. Общая информация о тестах

Каждый тест состоит из набора повторяющихся действий – проб. В пробу может входить несколько заданий. Пробы объединены в блоки. Все блоки теста имеют одинаковое число проб. Все пробы одного блока имеют одинаковое число заданий. При увеличении номера блока число заданий, входящих в пробу увеличивается. Администратор-психолог имеет возможность задавать количество проб в тесте, длину блока (число проб в блоке) и другие параметры тестирования.

В некоторых тестах пользователь может задавать числовое значение параметру “ряды”. Это означает, что будет создаваться указанное число параллельных последовательно... стей проб (здесь они также называются рядами). В таких случаях элементы разных рядов отличаются цветом. В тех случаях, когда в качестве элемента теста выдается матрица, пользователь часто имеет возможность задавать размены матрицы.

В целях поддержания интереса у пользователей, для каждого теста поддерживается таблица рейтингов, в которую заносятся наиболее важные результаты тестирования.

7.3. Уровни доступа к системе

Система тестирования поддерживает три уровня пользователей:

1. Администратор системы.
2. Администратор-психолог.
3. Обычный пользователь (испытуемый).

Администратор системы обладает максимальными правами доступа. Он осуществляет ведение базы данных. Возможности данного уровня пользователя позволяют ему создавать и удалять базу данных и отдельные таблицы базы. Он имеет возможность назначать уровни доступа к системе, удалять и добавлять пользователей, а так же экспортировать данные о результатах тестирования. Он не имеет возможность менять результаты тестирования.

Администратор-психолог может просматривать данные тестирования, экспортировать эти данные, изменять настраиваемые параметры тестирования. Он также имеет возможность получать различные отчеты о результатах тестирования испытуемых. Администратор-психолог не может удалять и создавать таблицы базы данных, не может модифицировать данные тестирования.

Обычный пользователь (испытуемый) выбирает тесты из предложенного списка (см. рис. 4). После прохождения тестов ему выдаются результаты. В целях поддержания интереса у пользователей для прохождения тестирования в системе поддерживается таблица рейтингов, в которой можно посмотреть наиболее важные результаты тестирования. Испытуемому не доступны функции администратора системы и администратора-психолога.

На рис. 5 изображено взаимодействие основных компонентов системы тестирования.

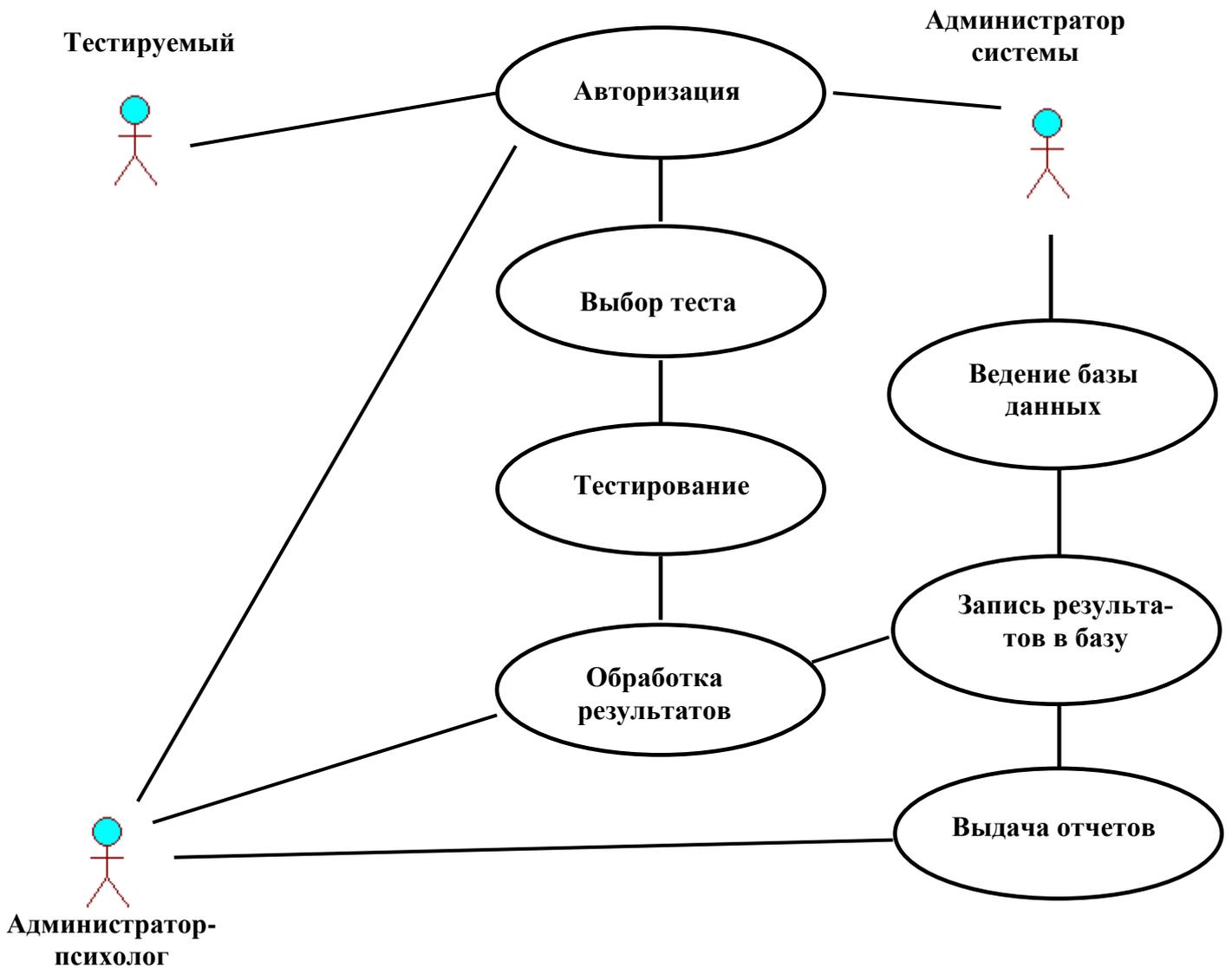


Рис. 5. Взаимодействие основных компонентов системы тестирования.

7.4. Вид таблицы с рейтингом

Пользователи системы могут сравнить свои результаты с результатами других. При вызове каждого теста вверху экрана появляется кнопка “Результаты”, при нажатии которой появля... ется таблица с самыми лучшими результатами для данного теста. Ниже на рис. 6 приведена такая таблица для теста n-Back Matrices. Кроме того, пользователь может посмотреть все свои результаты по всем тестам, если при входе в систему нажать на кнопку “Information”.

*** Результаты для теста n-Back Matrices ***

№	пользователь	рез1	рез2	рез3	нач	вр	размер
1	Valeri28	34	8	0	19-Mar-2015 11:34:05	806	5
2	des	28	8	0	18-Mar-2015 11:33:32	858	5
3	Бочин Г.А.	28	0	0	18-Mar-2015 11:51:16	858	5
4	Volkov	24	3	0	24-Feb-2015 13:19:23	830	5
5	Санакин	24	3	0	02-Mar-2015 22:52:08	811	2
6	Tatiana	24	0	0	20-Mar-2015 11:35:46	876	2
7	Castiel	23	0	0	05-Mar-2015 17:17:21	783	5
8	Chris	22	3	0	05-Mar-2015 17:12:36	859	5
9	Xelg	22	0	0	05-Mar-2015 17:11:34	1161	5
10	Katya	22	0	0	13-Mar-2015 13:32:12	820	5
11	Еремин	21	4	0	03-Mar-2015 18:54:39	807	2
12	Aaa	20	0	0	17-Mar-2015 17:20:41	12686	5
13	Tatiana	20	0	0	17-Mar-2015 22:10:11	1734	5
14	sokolova	18	6	0	31-Mar-2015 21:03:20	787	5

Рис. 6. Вид таблицы с рейтингом для теста n-Back Matrices.

7.5. Проведение тестирования

В разделе “Общая информация о тестах” было сказано, что тест состоит из нескольких проб, а проба состоит из нескольких заданий. Будем считать, что проба выполнена правильно, если правильно выполнены все задания пробы.

С ростом номера блока проб число заданий в пробе возрастает, поэтому сложность правильного выполнения всех заданий пробы (а, следовательно, и самой пробы) увеличивается. Также можно рассматривать сложности отдельных заданий каждой пробы.

Было проведено тестирование нескольких групп испытуемых на различных тестах системы. На рис. 7 изображены результаты тестирования 15 испытуемых для теста n-Back Matrices. В этом тесте в конце каждой пробы надо было ответить “Да”, если предъявленная подобная таблица (матрица) с меткой 'X' являлась n-тым элементом ряда с конца ряда. Тест состоял из 40 проб. В верхней строке таблицы пробы обозначены t1, t2, ..., t40. В первом столбце указаны номера испытуемых. Результаты каждого испытуемого располагаются в соответствующей строке (1 означает, что задание пробы выполнено правильно, а 0 - неправильно).

	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9	t10	t11	t12	t13	t14	t15	t16	t17	t18	t19	t20	t21	t22	t23	t24	t25	t26	t27	t28	t29	t30	t31	t32	t33	t34	t35	t36	t37	t38	t39	t40		
1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	0	1	
2	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	1
3	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1
4	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	
5	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0
6	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1
7	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	
8	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	1	1	0	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	0	1	
9	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	1	0	0	1	0	1	1	
10	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	1	0	1	1		
11	1	0	1	1	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1	0	
12	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	
13	1	1	0	1	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0		
14	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	
15	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	

Рис. 7. Результаты тестирования 15 испытуемых для теста n-Back Matrices.

На рис. 8 изображены результаты тестирования 16 испытуемых для теста Simple Span Matrices. В этом тесте было определено задание и только одного ряда в каждой пробе. При этом выдаются только розовые элементы (см. рис. 10). В каждой пробе испытуемому предьявляется ряд квадратных таблиц (матриц) с отмеченными элементами. Затем предьявляется пустая таблица, в которой мышью надо отметить запомненные положения меток (в порядке их появления). Ответ считается правильным, если правильно указана вся последовательность меток пробы. Заданием является вся последовательность таблиц пробы.

Тест состоял из 32 проб. В блоке 4 пробы. Предьявляемые матрицы имели 4 строки и четыре столбца. С увеличением номера блока длина ряда увеличивается и увеличивается сложность задания.

	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9	t10	t11	t12	t13	t14	t15	t16	t17	t18	t19	t20	t21	t22	t23	t24	t25	t26	t27	t28	t29	t30	t31	t32									
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	
5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0		
8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
9	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
11	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
12	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Рис. 8. Результаты тестирования 16 испытуемых для теста Simple Span Matrices.

В качестве задания взят весь ряд пробы.

Определено задание только одного ряда для каждой пробы.

В тесте Simple Span Matrices пользователь имеет возможность сам задать размеры матрицы и число параллельных рядов (они выделяются разным цветом). Если для данного теста определить число рядов равным двум, то число предьявляемых таблиц увеличится в два раза. Правильным ответом для пробы будет считаться такой ответ, в котором испытуемый правильно указал отмеченные элементы в обоих рядах.

К тестированию можно относиться по-другому и рассматривать два ответа: один для ответа на первый ряд, а второй – на второй ряд для каждой пробы. И соответственно подсчитывать две сложности для двух заданий в каждой пробе.

Во время тестирования возможен более подробный анализ результатов тестирования. Так как каждый ряд пробы теста Simple Span Matrices состоит из нескольких элементов, и тестируемый должен правильно указать каждый из них, то в качестве заданий можно рассмотреть правильное указание этих элементов. Для рассмотренного на рис. 9. теста таких заданий будет 176. Как оказалось с такой задачей компьютер легко справляется. На рис. 10. Изображен пример вида матриц для двух рядов, каждый ряд состоит из двух элементов (первый ряд розовый, а второй – зеленый).

Во время тестирования все ответы пользователей сохраняются в базе данных.

	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8		t169	t170	t171	t172	t173	t174	t175	t176
1	1	1	1	1	1	1	1	1	58	0	0	0	1	0	0	0	0
2	1	1	1	1	1	1	1	1	59	0	0	0	0	0	0	0	0
3	1	1	1	1	1	1	1	1	60	1	1	0	1	0	0	0	0
4	1	1	1	1	1	1	1	1	61	1	1	1	1	1	0	0	0
5	1	1	1	1	1	1	1	1	62	0	0	0	0	0	0	0	0
6	1	1	1	1	1	1	1	1	63	1	0	1	0	0	0	0	0
7	1	1	1	1	1	1	1	1	64	1	1	1	1	1	0	0	0
8	1	1	1	1	1	1	1	1	65	1	1	1	1	1	1	1	1
9	1	1	1	1	1	1	1	1	66	0	0	1	0	0	0	0	0
10	1	1	1	1	1	1	1	1	67	1	1	0	0	0	0	0	1
11	1	1	1	1	0	0	1	1	68	1	1	0	0	0	0	1	1
12	1	1	1	1	1	1	1	1	69	1	1	1	1	0	1	1	1
13	1	1	1	1	1	1	1	1	70	0	0	0	0	0	0	0	0
14	1	1	1	1	1	1	1	1	71	1	1	1	0	0	0	0	0
15	1	1	1	1	1	1	1	1	72	0	0	0	0	0	0	0	0
16	1	1	1	1	1	1	1	1	73	0	0	0	0	0	0	0	0

Рис. 9. Результаты тестирования 16 испытуемых для теста Simple Span Matrices.

Для каждого задания взят отдельный элемент ряда пробы.

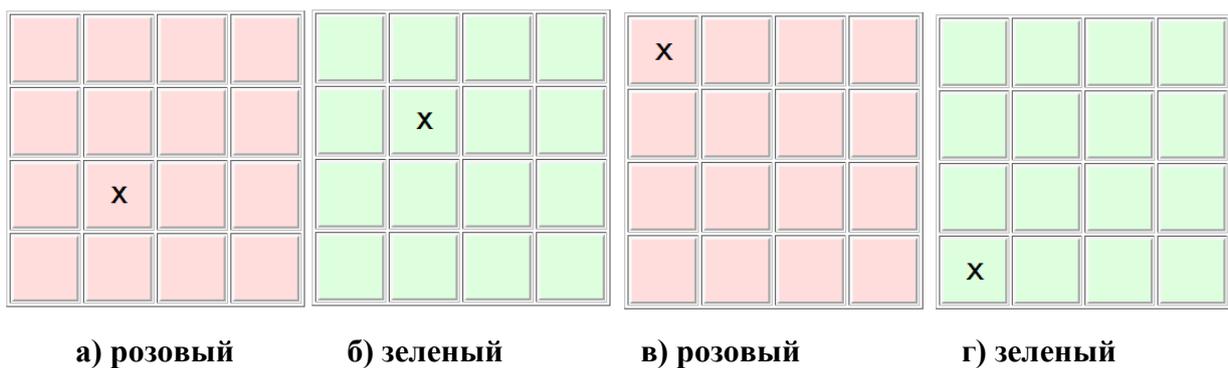


Рис. 10. Тест Simple Span Matrices. Вид матриц при определении двух параллельных рядов, каждый ряд из двух элементов (первый ряд розовый, а второй – зеленый). При определении только одного ряда выдаются только розовые элементы.

7.6. Расчет значений сложностей заданий

Тесты рабочей памяти допускают применения в адаптивных тестовых системах, в которых в зависимости от предыдущих ответов испытуемых им предлагаются задачи большей или меньшей сложности. Для наиболее адекватного использования в этих системах тесты должны анализироваться в терминах Теории тестовых заданий (Item Response Theory, IRT). В рамках этой теории предполагается, что тестовые задания имеют различную сложность, причем вероятность правильного выполнения задания есть функция двух переменных – способности тестируемого и сложности задания. Анализ тестов в рамках этой теории создает много преимуществ, в том числе – позволяет сравнивать между собой способности испытуемых, выполнивших разные задания одного теста. Тем самым задается адекватный аппарат для адаптивного тестирования, при котором разные испытуемые при прохождении одного и того же теста выполняют разные задания.

В нашей работе к анализу тестов рабочей памяти была применена модель Раша, которая представляет собой наиболее простую (однопараметрическую) модель в рамках Теории тестовых заданий.

Рассмотрим вычисление сложностей заданий с помощью концепции Раша в общем виде. Пусть тест состоит из M заданий и имеется N испытуемых. Например, в случае теста Simple Span, когда в качестве задания взят весь ряд пробы (см. рис. 8) N равно 16, а M равно 32. Для того же теста при выборе в качестве заданий элементов ряда пробы N равно 16, а M равно 176. Для теста n -Back Matrices (см. рис. 7) N равно 15, а M равно 40.

Обозначим через x_{ij} результат выполнения i -м испытуемым ($i = 1, \dots, N$) j -го задания теста ($j=1, \dots, M$).

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } i\text{-й испытуемый верно ответил на } j\text{-е задание} \\ 0, & \text{если } i\text{-й испытуемый неверно ответил на } j\text{-е задание.} \end{cases}$$

Составляем матрицу ответов:

$$A = \begin{pmatrix} x_{11} & \dots & \cdot & x_{1M} \\ \dots & \dots & \cdot & \dots \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \dots & \dots & \cdot & \dots \\ x_{N1} & \dots & \cdot & x_{NM} \end{pmatrix} \quad (1)$$

Пусть P_{ij} - вероятность правильного выполнения i -м испытуемым j -го задания, Q_{ij} - вероятность неправильного выполнения i -м испытуемым j -го задания. Сумма P_{ij} и Q_{ij} равна 1.

$$Q_{ij} = 1 - P_{ij} \quad (2)$$

Обозначим через θ_i логит способности i -го испытуемого, а через β_j логит трудности j -го задания теста. Наша задача найти β_j и θ_i . В современной теории тестирования согласно концепции Раша Г. (Item Response Theory) P_{ij} и Q_{ij} определяются так:

$$P_{ij} = \frac{\exp(1,7(\theta_i - \beta_j))}{1 + \exp(1,7(\theta_i - \beta_j))} \quad (3)$$

$$Q_{ij} = \frac{1}{1 + \exp(1,7(\theta_i - \beta_j))} \quad (4)$$

Пусть i -й испытуемый в M заданиях теста получил результаты x_{ij} ($j=1, \dots, M$). Тогда L_i - вероятность получения i -м испытуемым всей последовательности результатов x_{ij} ($j=1, \dots, M$) будет:

$$L_i = \prod_{j=1}^M D_{ij} \quad (5)$$

По аналогии, L_j - вероятность получения в j -м задании определенной последовательности результатов x_{ij} ($i=1, \dots, M$) будет:

$$L_j = \prod_{i=1}^M D_{ij} \quad (6)$$

Здесь

$$D_{ij} = \begin{cases} P_{ij} & \text{при } x_{ij} = 1 \\ Q_{ij} & \text{при } x_{ij} = 0. \end{cases}$$

Пусть

$$X_i = x_{i1} + x_{i2} + \dots + x_{iM} \quad (7)$$

$$X_j = x_{1j} + x_{2j} + \dots + x_{Nj} \quad (8)$$

Введем обозначения:

$$p_i - \text{доля правильных ответов } i\text{-го испытуемого: } p_i = X_i / M$$

$$q_i - \text{доля неправильных ответов } i\text{-го испытуемого: } q_i = 1 - p_i$$

$$p_j - \text{доля правильных ответов на } j\text{-е задание теста: } p_j = X_j / N$$

$$q_j - \text{доля неправильных ответов на } j\text{-е задание теста: } q_j = 1 - p_j$$

Приближенные значения оценки способностей испытуемых и трудности заданий теста (их называют логитами) определяются следующим образом (Челышкова, 2002):

$$\theta_i^0 = \ln(p_i / q_i) \quad (9)$$

$$\beta_j^0 = \ln(q_j / p_j) \quad (10)$$

Верхний индекс 0 здесь поставлен для обозначения того, что они часто используются в качестве начальных значений для вычисления θ_i и β_j .

8. ВЫЧИСЛЕНИЕ ТРУДНОСТИ ЗАДАНИЙ ТЕСТА И СПОСОБНОСТЕЙ ИСПЫТУЕМЫХ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА МАКСИМАЛЬНОГО ПРАВДОПОДОБИЯ

Более точные значения логитов трудностей заданий и логитов способностей испытуемых θ_i и β_j вычисляем с помощью метода максимального правдоподобия, используя метод Ньютона-Рафсона. Точки экстремума для L_i и $\ln(L_i)$ совпадают. Аналогично экстремумы для L_j и $\ln(L_j)$ совпадают. Находим логарифмы L_i и L_j :

$$\ln(L_i) = \sum_{j=1}^M (\ln(D_{ij})) = \sum_{j=1}^M (x_{ij} \ln(P_{ij}) + (1 - x_{ij}) \ln(Q_{ij})) \quad (11)$$

$$\ln(L_j) = \sum_{i=1}^N (\ln(D_{ij})) = \sum_{i=1}^N (x_{ij} \ln(P_{ij}) + (1 - x_{ij}) \ln(Q_{ij})) \quad (12)$$

Для поиска оценок максимального правдоподобия θ_i и β_j , следует найти:

1. Экстремумы функций $\ln(L_i)$ по каждой из переменных θ_i (при этом β_j служит значением изменяемого параметра):

$$\frac{\partial \ln(L_i)}{\partial \theta_i} = 0 \quad (i=1, \dots, N)$$

2. Экстремумы функций $\ln(L_j)$ по каждой из переменных β_j (при этом θ_i служит значением изменяемого параметра):

$$\frac{\partial \ln(L_j)}{\partial \beta_j} = 0 \quad (j=1, \dots, M)$$

Найдем производные и составим системы уравнений для θ_i согласно (3, 4, 11):

$$\begin{aligned} \ln(P_{ij}) &= 1,7(\theta_i - \beta_j) + \ln(Q_{ij}) \\ \ln(L_i) &= \sum_{j=1}^M (\ln(D_{ij})) = \sum_{j=1}^M (x_{ij} \ln(P_{ij}) + (1 - x_{ij}) \ln(Q_{ij})) = \\ &= \sum_{j=1}^M (x_{ij} 1,7(\theta_i - \beta_j) + \ln(Q_{ij})) \\ \frac{\partial \ln(L_i)}{\partial \theta_i} &= 1,7X_i - 1,7 \sum_{j=1}^M P_{ij} = 0 \quad (i=1, \dots, N) \end{aligned}$$

Отсюда получаем систему уравнений для нахождения θ_i при фиксированных значениях β_1, \dots, β_M :

$$f_i(\theta_i, \beta_j) = -X_i + \sum_{j=1}^M P_{ij} = 0 \quad (i=1, \dots, N) \quad (13)$$

Аналогично получаем систему уравнений для нахождения β_j при фиксированных значениях $\theta_1, \dots, \theta_N$

$$\frac{\partial \text{Ln}(L_j)}{\partial \beta_j} = -1, 7X_j + 1, 7 \sum_{i=1}^N P_{ij} = 0$$

$$f_j(\theta_i, \beta_j) = -X_j + \sum_{i=1}^N P_{ij} = 0 \quad (j = 1, \dots, M) \quad (14)$$

В работе М.Б. Челышковой [6] предлагается решать системы (13, 14) методом Ньютона-Рафсона, подставляя в них в качестве начальных стандартные значения измеряемых параметров, подсчитанные на основе приближенных значений (9), (10). В работе Ю.М. Неймана и В.А. Хлебникова [3] предлагается находить статистические величины θ_i и β_j только на основе достаточных статистик X_i и X_j , так как это сокращает число неизвестных x_{ij} .

Для нахождения корня некоторой функции $g(x) = 0$ по методу Ньютона-Рафсона (Метод Ньютона, 2013) обычно используется итерационный процесс (15), который начинается с некоего начального приближения x^0 . Далее:

$$x^{k+1} = x^k - \frac{g(x^k)}{g'(x^k)} \quad (15)$$

Для решения (13, 14) найдем частные производные функции P_{ij} по переменным θ_i и β_j :

$$\frac{\partial}{\partial \theta_i} P_{ij} = 1, 7P_{ij} + \exp(1, 7(\theta_i - \beta_j)) \frac{-1}{(1 + \exp(1, 7(\theta_i - \beta_j)))^2} 1, 7 \exp(1, 7(\theta_i - \beta_j)) = 1, 7(P_{ij} - P_{ij}P_{ij}) \quad (16)$$

$$\frac{\partial}{\partial \beta_j} P_{ij} = -1, 7P_{ij} + \exp(1, 7(\theta_i - \beta_j)) \frac{-1}{(1 + \exp(1, 7(\theta_i - \beta_j)))^2} (-1, 7) \exp(1, 7(\theta_i - \beta_j)) = 1, 7(-P_{ij} + P_{ij}P_{ij}) \quad (17)$$

Составляем итерационные соотношения:

$$\theta_i^{k+1} = \theta_i^k - \frac{f_i(\theta_i^k)}{f'_i(\theta_i^k)} = \theta_i^k - \frac{-X_i + \sum_{j=1}^M P_{ij}}{1, 7 \sum_{j=1}^M (P_{ij} - P_{ij}P_{ij})} \quad (i = 1, \dots, N)$$

$$\beta_j^{k+1} = \beta_j^k - \frac{f_j(\beta_j^k)}{f'_j(\beta_j^k)} = \beta_j^k - \frac{-X_j + \sum_{i=1}^N P_{ij}}{1, 7 \sum_{i=1}^N (-P_{ij} + P_{ij}P_{ij})} \quad (j = 1, \dots, M)$$

Нахождение значений θ_i и β_j производится следующим образом. Сначала вычисляем их приближенные значения (9), (10), затем подсчитываем для них значения по вышеприведенным формулам. Выбираем требуемую погрешность, например, 0,0001. При фиксированных значениях β_j подсчитываем по формуле (18) значения θ_i . Вычисления повторяются до тех пор, пока разность соседних значений не станет меньше значения погрешности по абсолютной величине. Затем повторяем процесс для формулы (19). И так далее... В результате получаем значения трудностей β_j для M заданий теста ($j = 1, \dots, M$). Проведенные вычисления показали быстрое схождение итераций: схождение обычно достигалось за 7-10 итераций.

Для обработки полученных данных написана специальная программа на C++Builder, которая позволяет находить сложности заданий и способности пользователей. Поскольку хранящаяся в базе данных информация о прохождении тестов для многих тестов отличается, для каждого вида теста был разработан специальный блок, который извлекает нужную информацию и представляет ее в виде таблицы из 0 и 1 (см., например рис. 7). Далее для всех тестов обработка выглядит примерно одинаково, только определяются разные значения для числа пользователей и заданий. При задании погрешности равной 0,0001 очень быстро находилась точка, перемещение в любом направлении от которой давало приращение меньше погрешности.

Для обработки полученных данных написана специальная программа на C++Builder, которая позволяет находить сложности заданий и способности пользователей.

9. РЕЗУЛЬТАТЫ

На рис. 11 показаны вычисленные значения для теста Simple Span Matrices (см. рис. 11). На рис. 12 приведены доли правильных ответов P_i для испытуемых. Их также называют вероятностями правильных ответов для испытуемых. На рис. 14 изображен вид долей правильных ответов для заданий (доля P_j для j -го задания). Их также называют вероятностями правильных ответов для заданий. С увеличением номера блока, в который входит задание, P_j уменьшается. Расчет P_j не зависит от нумерации пользователей. На рис. 13 изображен вид вероятностей правильных ответов P_i для испытуемых в порядке возрастания.

Как видно из рис. 8, на задания $t1$, $t2$, $t4$, $t5$ и $t8$ ответили все испытуемые правильно. На задания $t25$ и $t30$ никто из испытуемых правильно не ответил. Обычно такие задания исключают из теста. Здесь это не сделано из-за общности рассмотрения. К тому же задания входят в блоки (по 4 задания в одном блоке) и все задания блока имеют одинаковую сложность.

Ниже на рис. 15 изображены начальные логиты трудностей заданий теста. Они используются для расчета более точных значений трудностей логитов трудностей заданий (см. ниже раздел "Расчет значений сложностей заданий"), которые изображены на рис. 16.

Было также проведено тестирование с помощью теста Visual MUT. В тестировании участвовало 13 пользователей. При этом матрица состояла из четырех строк и четырех столбцов. Использовались два ряда и семь блоков по четыре пробы. В каждой пробе функционировало два ряда. Результаты обработки тестирования изображены на рис. 17, 18 и 19. На рис. 17 отображается вид начальных вероятностей правильного ответа P_j для первого ряда, а на рис. 18 - для второго ряда. С увеличением номера блока, в который входят задания P_j первого ряда, они уменьшаются. Значения P_j для второго ряда имеют более хаотичный характер.

	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7		t30	t31	t32	dXi	Pi	T0i	Ti
1	1	1	1	1	1	1	1		0	0	0	16	0,50	0,00	-0,73
2	1	1	1	1	1	1	1		0	0	0	14	0,44	-0,25	-2,19
3	1	1	1	1	1	1	1		0	0	0	10	0,31	-0,79	-5,31
4	1	1	1	1	1	1	1		0	0	0	19	0,59	0,38	1,48
5	1	1	1	1	1	1	1		0	0	0	14	0,44	-0,25	-2,19
6	1	1	1	1	1	1	1		0	0	0	17	0,53	0,12	0,00
7	1	1	1	1	1	1	1		0	1	0	21	0,66	0,65	3,04
8	1	1	1	1	1	1	1		0	0	1	25	0,78	1,27	6,68
9	1	1	1	1	1	0	0		0	0	0	15	0,47	-0,13	-1,46
10	1	1	1	1	1	1	1		0	0	0	15	0,47	-0,13	-1,46
11	1	1	0	1	1	1	1		0	0	0	23	0,72	0,94	4,73
12	1	1	1	1	1	1	0		0	0	0	18	0,56	0,25	0,74
13	1	1	1	1	1	1	1		0	0	0	17	0,53	0,12	0,00
14	1	1	1	1	1	1	1		0	0	0	20	0,63	0,51	2,25
15	1	1	1	1	1	1	1		0	0	0	11	0,34	-0,65	-4,49
16	1	1	1	1	1	1	1		0	0	0	14	0,44	-0,25	-2,19
dRj	16	16	15	16	16	15	14		0	1	1				
Pj	1,00	1,00	0,94	1,00	1,00	0,94	0,88		0,00	0,06	0,06				
B0j	-9,21	-9,21	-2,71	-9,21	-9,21	-2,71	-1,95		9,21	2,71	2,71				
Bj	-19,42	-19,42	-5,63	-19,42	-19,42	-5,63	-4,01		19,64	5,85	5,85				

Рис. 11. Тест Simple Span Matrices. Расчет трудностей заданий и способностей испытуемых. dR_j - число правильных ответов для задания t_j , P_j - вероятность правильного ответа для задания t_j .

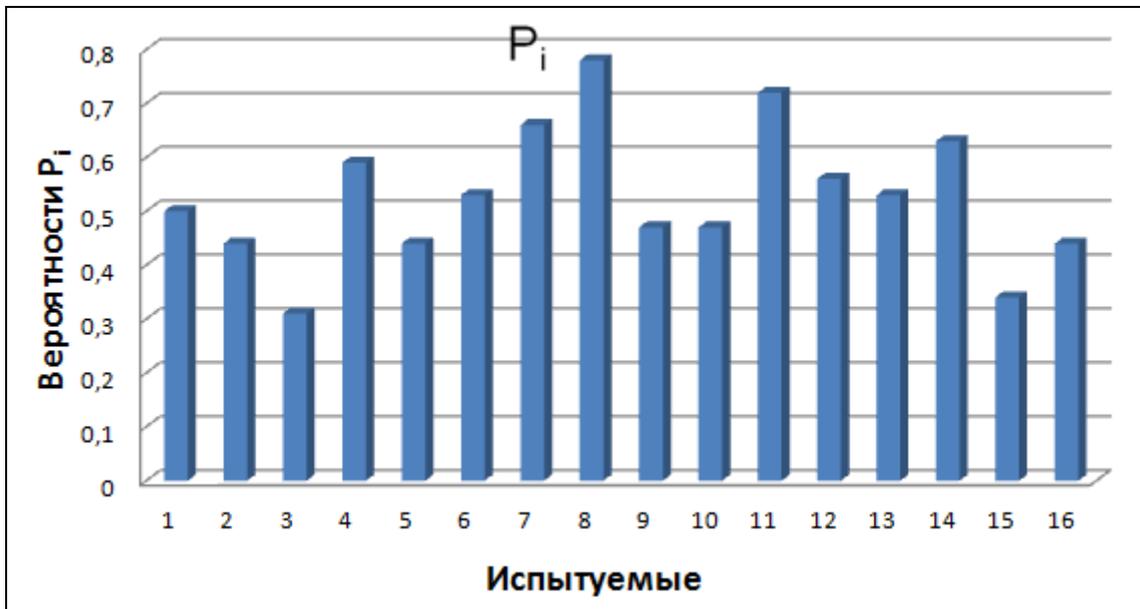


Рис. 12. Тест Simple Span Matrices. Доли правильных ответов P_i для испытуемых.

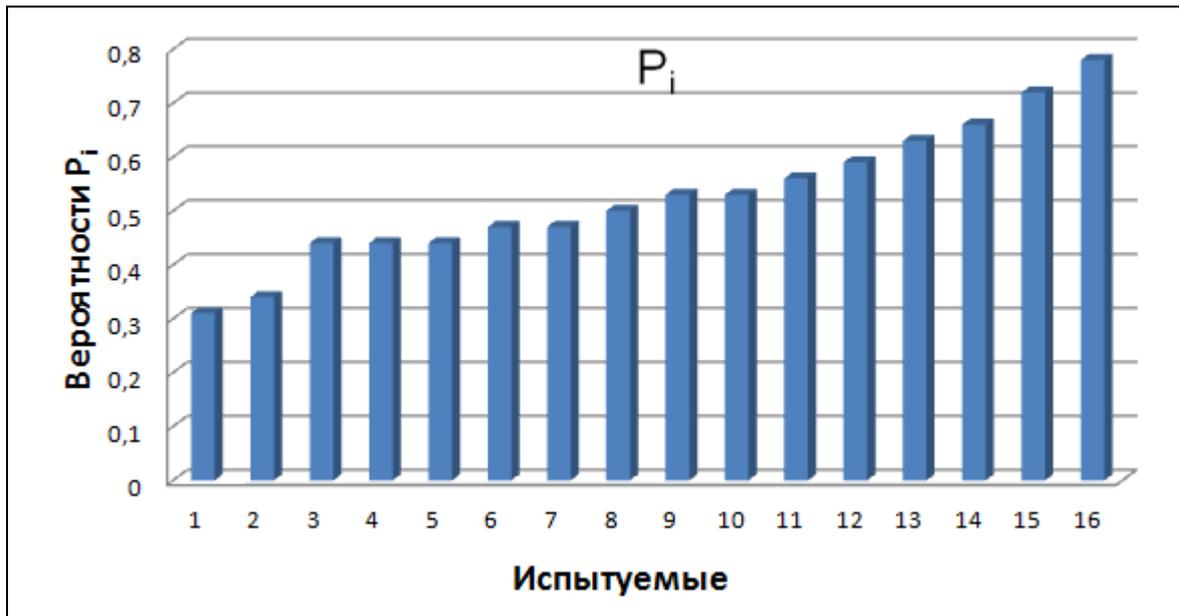


Рис. 13. Тест Simple Span Matrices. Вид начальных вероятностей правильного ответа P_i для испытуемых в порядке возрастания.

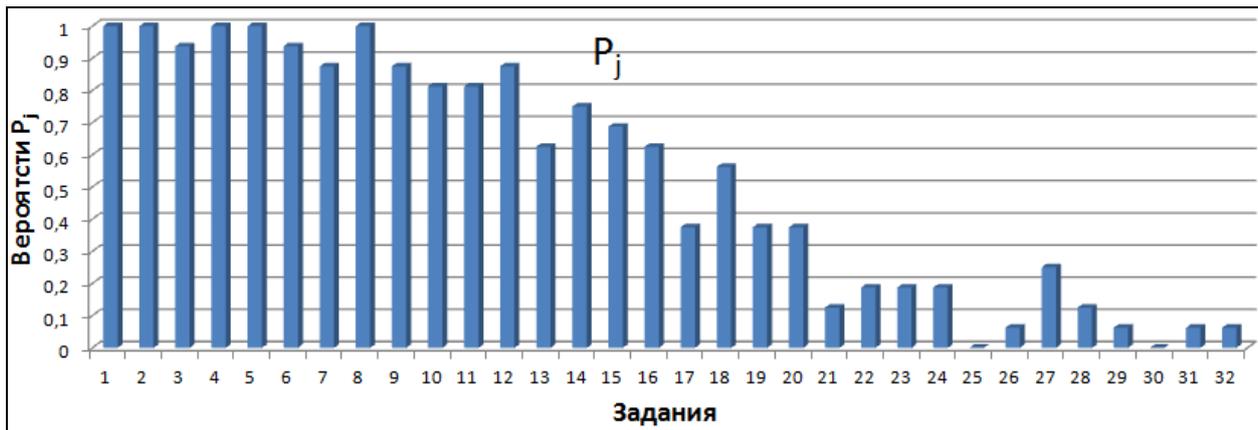


Рис. 14. Тест Simple Span Matrices. Вид начальных вероятностей правильного ответа P_j на j -е задание. С увеличением номера блока, в который входят задания P_j уменьшаются.

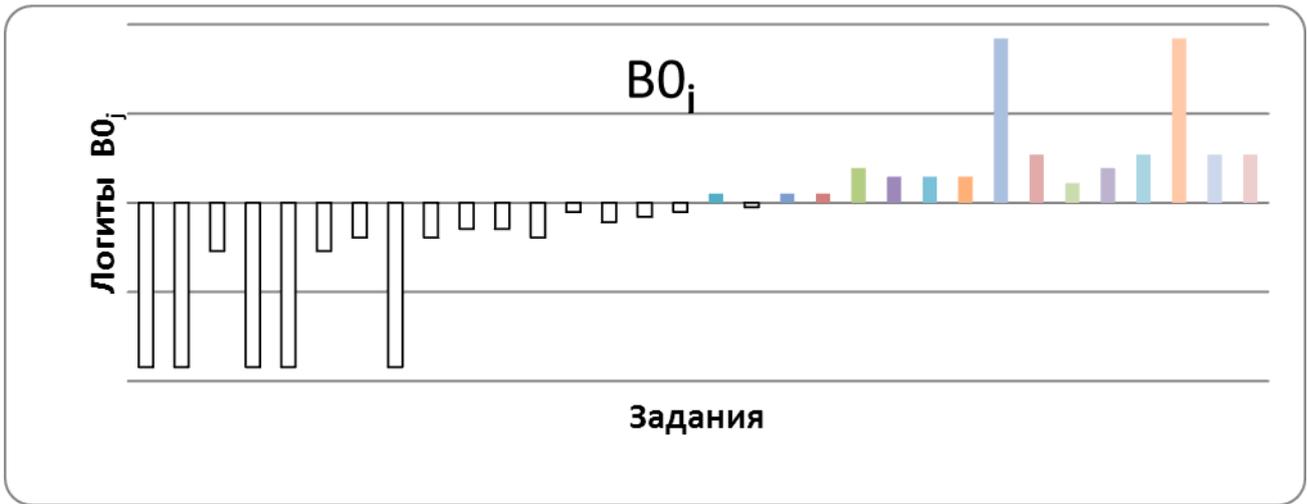


Рис. 15. Тест Simple Span Matrices. Начальные логиты трудностей заданий теста.

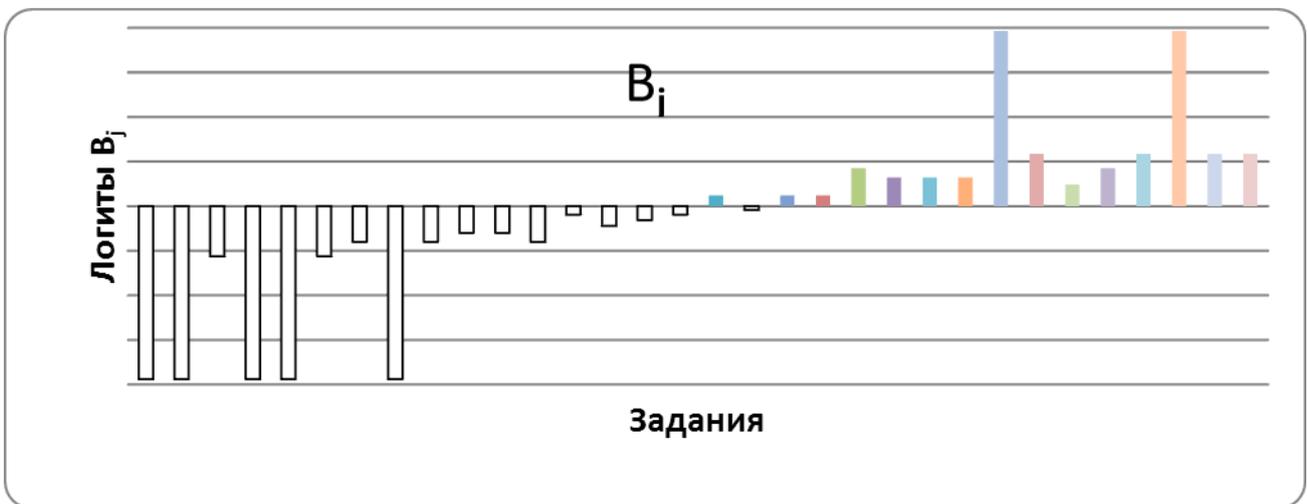


Рис. 16. Тест Simple Span Matrices. Рассчитанные логиты трудностей заданий теста

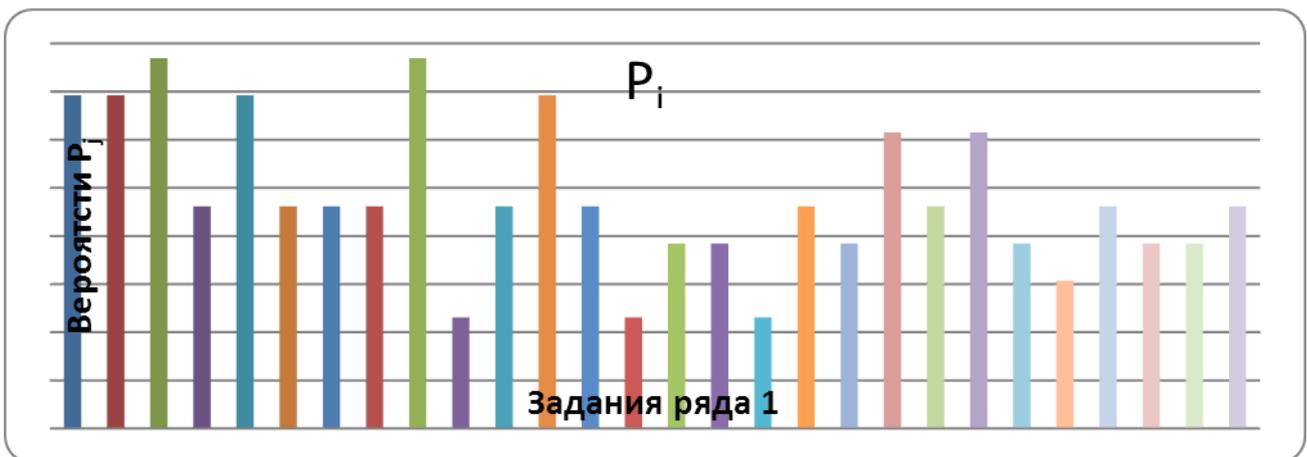


Рис. 17. Тест Visual MUT. Было определено два ряда. Отображается вид начальных вероятностей правильного ответа P_j для первого ряда. С увеличением номера блока, в который входят задания, значения P_j уменьшаются.

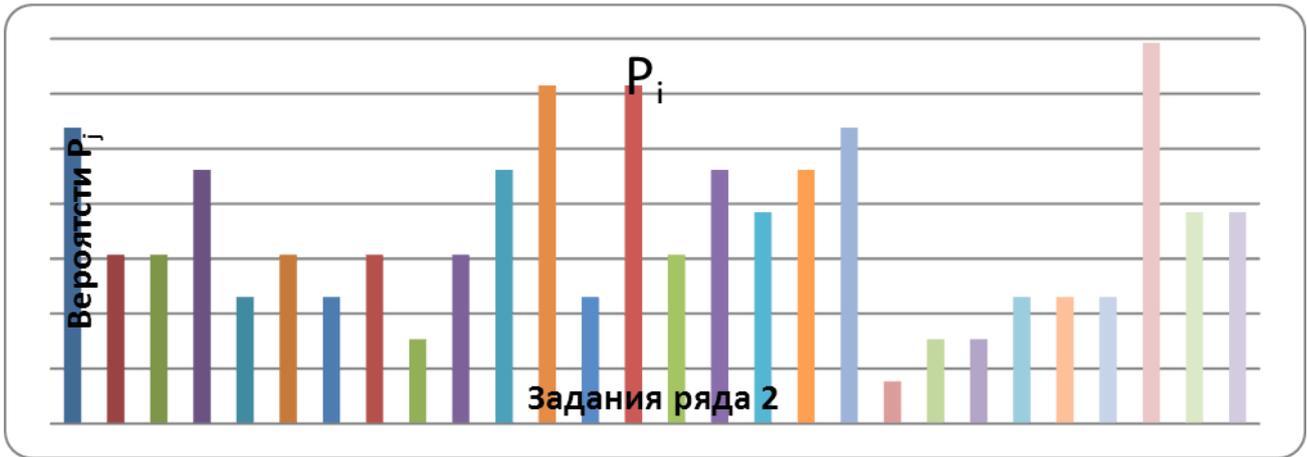


Рис. 18. Тест Visual MUT. Было определено два ряда. Отображается вид начальных вероятностей правильного ответа P_j для второго ряда. Значения P_j имеют более хаотичный характер.

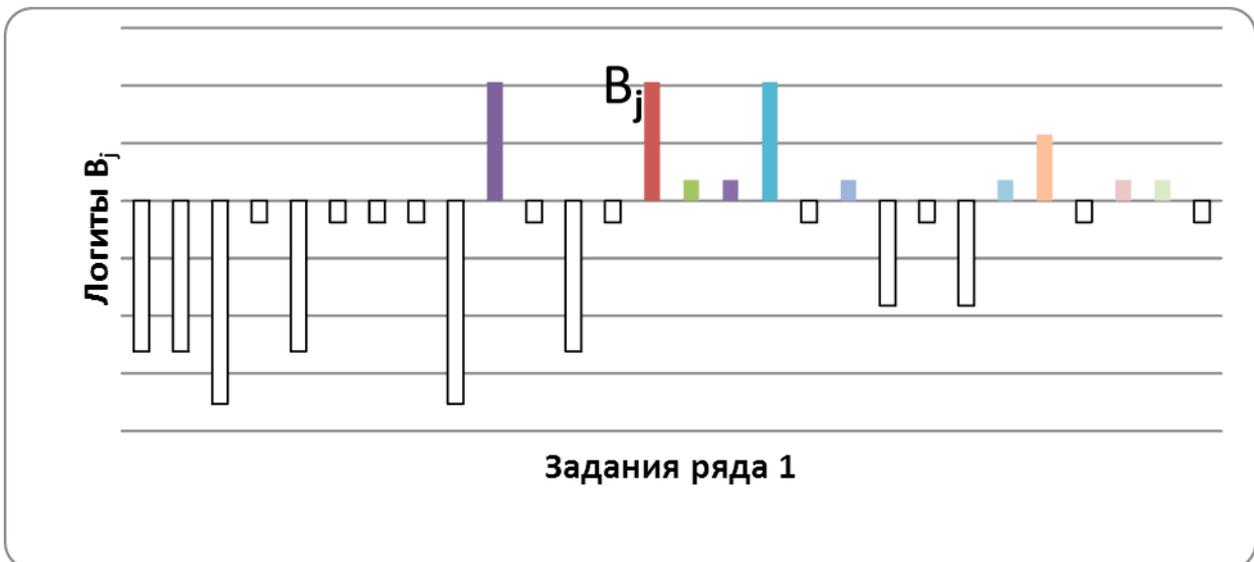


Рис. 19. Тест Visual MUT. Рассчитанные логиты трудностей заданий теста для ряда 1.

10. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В целом проведенная работа позволяет заключить, что описанные выше тесты могут служить адекватными измерителями рабочей памяти для отечественных психологов. Эти тесты, как показали многочисленные предыдущие исследования, обладают высокой надежностью, временной компактностью и при этом внешней валидностью. При использовании адекватного математико-статистического аппарата, которым является модель Раша, они становятся точным инструментом как в экспериментальных исследованиях, так и в практической работе психологов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Войтов В.К. Расчет значений сложностей заданий для адаптивного теста интеллекта. Экспериментальная психология, 2013, том 6, №2, с. 120-128.
2. Дружинин В.Н. Когнитивные способности: структура, диагностика, развитие. М.: ПЕР СЭ; СПб.: ИМАТОН–М, 2001.
3. Нейман Ю.М., Хлебников В.А. Введение в теорию моделирования и параметризации педагогических тестов. М. 2000.
4. Ушаков Д.В. Психология одаренности и проблема субъекта // Проблема субъекта в психологической науке. Ред. Брушлинский А.В., Воловикова М.И., Дружинин В.Н. Москва, ИП РАН, 2000. С. 212-226.
5. Ушаков Д.В. Когнитивная система и развитие // Когнитивные исследования: Проблема развития. М.: Изд-во «Институт психологии РАН». 2009. С. 6-12.
6. Чельшкова М.Б. Теория и практика конструирования педагогических тестов. Учебное пособие. М. "Логос", 2002.
7. Atkinson R.C., Shiffrin R.M. Human memory: a proposed system and its control processes // K.W Spence; J.T Spence, eds. The psychology of learning and motivation: Advances in Research and Theory. Academic Press. 1968. P. 89–195
8. Baddeley A. Exploring the central executive // The Quarterly Journal of Experimental Psychology. 1996. 49. P. 5–28.
9. Baddeley A. Working memory: looking back and looking forward // Nature reviews neuroscience. 2003. 4(10). P. 829-839
10. Baddeley A. Working memory: theories, models, and controversies // Annual review of psychology. 2012. 63. P. 1-29
11. Baddeley A., Hitch G. Working memory // The Psychology of Learning and Motivation: Advances in Research and Theory (ed. Bower, G. A.) NY. Academic Press. 1974. P. 47–89
12. Cowan N. Working memory capacity. Hove, UK: Psychol. Press. 2005
13. Daneman M, Carpenter P.A. Individual differences in working memory and reading // Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior. 1980. 19. P. 450–66
14. Kyllonen P., Christal R. Reasoning ability is (little more than) working memory // Intelligence. 1990, 14, P. 389–433.
15. Miller G. A., Galanter E., Pribram K. H. Plans and the structure of behavior. New York.: Holt, Rinehart & Winston, 1960.
16. Pasqual–Leone J. Organismic processes for neo–Piagetian theories: a dialectical causal account of cognitive development // International Journal of Psychology, 1987, 22, P. 25–64.

Работа поступила 27.09.2015