

Б. Б. Величковский

СТРУКТУРА КОРРЕЛЯЦИОННЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ МЕЖДУ ПОКАЗАТЕЛЯМИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ РАЗНЫХ КЛАССОВ ЗАДАНИЙ НА РАБОЧУЮ ПАМЯТЬ

Проведен анализ корреляционных зависимостей между показателями эффективности выполнения разных классов заданий на рабочую память — на определение ее объема и на обновление. Обнаружено, что показатели эффективности выполнения заданий со схожими требованиями к функциям оперативного хранения и обработки информации коррелируют между собой. Выделена трехфакторная структура показателей эффективности выполнения заданий на рабочую память, согласующаяся с представлениями о существовании в ее структуре трех компонентов — фокуса внимания, региона прямого доступа и активированной памяти. Полученные результаты свидетельствуют о том, что функции обработки и хранения информации в рабочей памяти осуществляются независимо, а также о том, что для хранения используются механизмы как кратковременной, так и долговременной памяти.

Ключевые слова: рабочая память, объем рабочей памяти, обновление рабочей памяти, фокус внимания, кратковременная память, долговременная память, задание *n-back*.

Correlations between various classes of working memory tasks (working memory span tasks, updating tasks) were analyzed. Tasks that share processing and storage requirements correlated with each other. A three factor structure was extracted compatible with the existence of three components within working memory: focus of attention, region of direct access, and activated memory. The data shows that processing and storage are independent in working memory and that storage in working memory is based on two storage systems — one that uses short-term memory mechanisms and one that uses long-term memory mechanisms.

Key words: working memory, complex span tasks, updating, focus of attention, short-term memory, long-term memory, *n-back*.

Величковский Борис Борисович — канд. психол. наук, доцент кафедры методологии психологии ф-та психологии МГУ имени М.В. Ломоносова. *E-mail:* velitchk@mail.ru

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект №11-06-00343-а).

Под *рабочей памятью* (РП) понимается система процессов, обеспечивающая оперативное хранение и изменение информации при решении человеком мыслительных задач (Бэддели, 2011; Миллер и др., 1965). Активное исследование РП в психологии, когнитивной науке и нейронауке обусловлено большим значением этого конструкта для когнитивной теории в целом (Клингберг, 2010). Индивидуальные различия в объеме РП являются надежными предикторами академической успеваемости (Barrouillet, Camos, 2007), общего интеллекта (Unsworth et al., 2009) и успешности в осуществлении различных видов сложной деятельности, таких как управление техническими системами (Величковский, Козловский, 2012; Gutzwiller, Clegg, 2013). На передний план сегодня выходит изучение возможной структуры и механизмов РП (Miyake, Shah, 1999).

Для оценки функций РП используются задания разных классов. В течение длительного времени общеупотребительным методом был расчет показателей объема кратковременной памяти, равного количеству элементов информации (цифр, букв или слов), которые человек может воспроизвести безошибочно в правильном порядке непосредственно после их предъявления. Одним из таких показателей является, например, «цифровой охват» (*digit span*), рассчитываемый в тесте интеллекта Векслера, — максимальная длина безошибочно воспроизводимой последовательности цифр. Сегодня для оценки возможностей РП применяются так называемые «сложные» задания — (1) на определение объема РП (*complex working memory span tasks*) и (2) на обновление РП (*updating tasks*).

(1) Задания **на определение объема РП** в основном используются в исследованиях индивидуальных различий в РП. Эти задания сочетают необходимость кратковременного удержания информации с необходимостью выполнять дополнительную когнитивно сложную задачу. При этом объем РП определяется как максимальное количество элементов, которое человек может безошибочно воспроизвести в таких условиях. В силу того что устоявшийся русскоязычный термин для этого конструкта отсутствует, далее для обозначения объема РП, определяемого в условиях выполнения дополнительной когнитивной обработки, будет использоваться термин «объем РП». Показатели объема РП являются более надежными предикторами академической успеваемости и общего интеллекта, чем показатели объема кратковременной памяти (Conway et al., 2005).

В последние годы для оценки объема РП также применяются задания, по структуре эквивалентные упомянутым выше «сложным» заданиям, однако включающие очень легкую дополнительную задачу (Barrouillet, Camos, 2007). Получаемые в этом случае оценки не смешиваются с наличием специальных навыков и умений по решению трудных дополнительных задач. Создатели заданий этого типа называют их «непрерывными заданиями на определение объема РП» (*continuous span tasks* — Lepine et al., 2005). Далее

для обозначения объема РП, определяемого в подобных заданиях, мы будем пользоваться термином «непрерывный объем РП». При достаточно высокой скорости предъявления стимуляции в дополнительном задании оценки непрерывного объема РП коррелируют как с оценками объема РП, так и с общим интеллектом, а также являются надежными предикторами академической успеваемости (Barrouillet, Camos, 2007).

подавляющее большинство работ, использующих задания на определение объема РП, выполнено на англоязычных выборках. Опыт их применения на русскоязычных выборках отсутствует. Нами было проведено пилотажное исследование ($N=15$) валидности различных заданий на определение объема РП (3 задания — на объем счета, объем операций и объем чтения) и непрерывного объема РП (2 задания — на объем оценки четности и объем чтения букв). Было обнаружено, что все показатели, за исключением объема чтения букв, высоко значимо коррелировали между собой ($\rho=0.6-0.9$, $p<0.001-0.04$). Корреляция среднего арифметического показателей объема с показателем общего интеллекта, полученным с помощью Прогрессивных матриц Равена, составила $\rho=+0.7$ ($p<0.01$), что сопоставимо с литературными данными (Unsworth et al., 2009).

(2) Задания **на обновление РП** преимущественно используются в экспериментальных исследованиях когнитивных и нейрофизиологических механизмов РП. Эти задания заключаются в удержании в РП набора элементов и изменении некоторых из них. Примером является задание *n-back*, в котором необходимо реагировать на совпадение актуально предъявляемого стимула со стимулом, предъявленным за n проб до текущей пробы. Уже в случае $n=3$ (*3-back*) это задание является крайне трудным даже для молодых, когнитивно здоровых испытуемых. Трудности при выполнении этого задания — яркий пример ограничений функциональных возможностей РП человека.

Оба класса заданий номинально оценивают эффективность РП, однако существенно различаются по содержанию. В связи с этим встает вопрос: в какой мере получаемые с их помощью показатели согласованы между собой? Имеющиеся работы не дают однозначного ответа на этот вопрос. Например, Ф. Шмидек и колл. (Schmiedek et al., 2009) методом анализа латентных переменных обнаружили корреляцию, равную 0.96, между факторами, образованными вариантами заданий на объем РП и вариантами задания *n-back*. Этот результат позволяет предположить, что оба класса заданий измеряют одну индивидуальную характеристику. Другие исследования указывают на эмпирические различия между ними. Например, задание *n-back*, в отличие от заданий на определение объема РП, коррелирует с общим интеллектом только при очень высоком уровне нагрузки (*3-back*), а разделяемая *n-back* и общим интеллектом дисперсия практически не пересекается с дисперсией, разделяемой общим интеллектом с показателями объема РП (Kane et al., 2007).

Авторы ряда актуальных моделей предполагают, что РП неоднородна (Cowan, 1999; Oberauer, 2002), и предлагают выделять в ее составе 3 компонента — фокус внимания, регион прямого доступа и активированную память. В фокусе внимания удерживается элемент информации, являющийся предметом когнитивной обработки. Регион прямого доступа — это специализированная система хранения небольшого объема (3—4 элемента), в которой информация содержится в состоянии высокой доступности и устойчива к действию угасания и интерференции. Информация может быть загружена в фокус внимания только из региона прямого доступа. Активированная память — это подмножество элементов долговременной памяти, активация которых превышает пороговую, в силу чего эти элементы имеют более высокую вероятность быть загруженными в регион прямого доступа и в фокус внимания.

В нашей работе был проведен анализ зависимостей между показателями эффективности выполнения различных классов заданий на РП с целью изучения того, в какой мере их выполнение обеспечивается единым механизмом оперативного хранения и обработки информации.

Методика

Испытуемые. Исследование проведено на выборке студентов московских вузов (N=39) в возрасте от 18 до 30 лет, средний возраст 22 года (SD=2.2), 62% женщин.

Задания. В эксперименте использовались:

— 2 задания на определение объема РП — оценка объема счета (Case et al., 1982) и оценка объема операций (Turner, Engle, 1989);

— 2 задания на определение непрерывного объема РП — оценка объема чтения букв и объема оценки четности (Lepine et al., 2005);

— 2 задания на обновление РП — обновление счетчиков (Miyake et al., 2000) и *n-back* (Owen et al., 2005).

Все задания были реализованы в виде программ в среде программирования психологических экспериментов E-Prime 2.0.

Объем счета. Испытуемому предъявлялись последовательности изображений, содержащих случайно расположенные фигуры (круги и квадраты). Испытуемый должен был подсчитать количество кругов на каждом экране и запомнить его. После предъявления всех изображений испытуемый должен был воспроизвести количество кругов на каждом изображении в порядке их предъявления, используя специальный бланк. Количество изображений изменялось от 2 до 6 по схеме 2-3-4-5-6-6-5-4-3-2.

Объем операций. Испытуемому предъявлялись последовательности пар уравнение—согласная буква. Испытуемый должен был определить,

является ли уравнение истинным или ложным (соответствует ли его левая часть его правой части), и запомнить букву. После предъявления последовательности пар испытуемый должен был воспроизвести буквы в порядке их предъявления, используя специальный бланк. Количество пар изменялось от 2 до 6 по схеме 2-3-4-5-6-6-5-4-3-2.

Объем чтения букв. Испытуемому предъявлялись последовательности цифр. После предъявления каждой цифры предъявлялась последовательность из 5 согласных букв, которые испытуемый должен был назвать вслух. После предъявления всех цифр испытуемый должен был воспроизвести их в порядке предъявления, используя специальный бланк. Длительность предъявления одной цифры составляла 1500 мс, одной буквы — 750 мс. Количество цифр в последовательностях изменялось от 2 до 6 по схеме 2-3-4-5-6-6-5-4-3-2.

Объем оценки четности. Испытуемому предъявлялись последовательности согласных букв. После предъявления каждой буквы предъявлялась последовательность из 5 цифр. Для каждой цифры испытуемый должен был определить, является ли она четной или нечетной, нажав клавишу на клавиатуре компьютера. После предъявления всех букв испытуемый должен был воспроизвести их в порядке предъявления, используя специальный бланк. Длительность предъявления одной буквы составляла 1500 мс, одной цифры — 750 мс. Количество цифр в последовательностях изменялось от 2 до 6 по схеме 2-3-4-5-6-6-5-4-3-2. Регистрация результатов оценки четности цифр осуществлялась средствами программы E-Prime.

Счетчики. Испытуемому предъявлялась случайная последовательность фигур (круг, квадрат, треугольник). Испытуемый должен был подсчитывать количество предъявлений каждой фигуры и реагировать нажатием на клавишу каждый раз, когда какая-то фигура предъявлялась в третий раз. При этом подсчет предъявлений для этой фигуры должен был начинаться заново. Если испытуемый делал ошибку, то подсчет предъявлений начинался заново для всех фигур. Длительность предъявления одной фигуры ограничивалась ответом испытуемого. Пауза между предъявлением фигур составляла 500 мс. Всего предъявлялось 4 случайные последовательности по 36 фигур в каждой.

N-back. Испытуемому предъявлялась случайная последовательность согласных букв. Испытуемый должен был реагировать нажатием на клавишу каждый раз, когда предъявляемая в текущей пробе буква совпадала с буквой, предъявленной две пробы назад. Длительность предъявления одной буквы ограничивалась ответом испытуемого. Пауза между предъявлением букв составляла 500 мс. Всего предъявлялось 4 последовательности по 48 букв в каждой.

Процедура. Задания выполнялись в перечисленном выше порядке. Каждое задание предварялось выполнением тренировочного задания.

Результаты

1. Для заданий на объем РП была подсчитана точность воспроизведения предъявленных элементов. В соответствии с существующими рекомендациями (Conway et al., 2005) точность воспроизведения рассчитывалась как среднее арифметическое относительных частот верных воспроизведений элементов, подсчитанных для каждой последовательности по отдельности. Верным воспроизведением считалось правильное воспроизведение элемента в правильной позиции. Также были рассчитаны показатели точности выполнения дополнительных заданий. Для заданий на обновление РП были рассчитаны показатели скорости (время реакции в миллисекундах) и точности выполнения (относительная частота правильных ответов). Показатели дескриптивной статистики для всех показателей приведены в табл. 1.

Таблица 1
Дескриптивная статистика показателей эффективности выполнения разных типов заданий на рабочую память

Показатель	Среднее	Ст. отклонение	Минимум	Максимум
ОС	0.90	0.09	0.57	1.0
ОО	0.79	0.11	0.49	1.0
ОЧБ	0.84	0.11	0.42	1.0
ООЧ	0.88	0.12	0.54	1.0
СЧ	0.94	0.03	0.79	0.99
СЧ-ВР	1065	411	569	2283
НБ	0.94	0.05	0.76	1.0
НБ-ВР	1343	536	596	2598
ОС-Т	0.98	0.03	0.85	1.0
ОО-Т	0.91	0.13	0.38	1.0
ООЧ-Т	0.88	0.07	0.63	1.0
ООЧ-ВР	561	46	471	669

Примечание. ОС — объем счета, ОО — объем операций, ОЧБ — объем чтения букв, ООЧ — объем оценки четности, СЧ — точность в задании обновления счетчиков, СЧ-ВР — время реакции в задании обновления счетчиков, НБ — точность в задании *n-back*, НБ-ВР — время реакции в задании *n-back*, ОС-Т — точность подсчета целей (задание определения объема счета), ОО-Т — точность верификации уравнений (задание определения объема операций), ООЧ-Т — точность оценки четности, ООЧ-ВР — время реакции при оценке четности.

Был проведен корреляционный анализ показателей, характеризующих эффективность хранения информации в РП. Показатели

эффективности выполнения дополнительных заданий в заданиях на объем РП не анализировались, что соответствует принятой практике (Conway et al., 2005). Результаты корреляционного анализа приведены в табл. 2.

Таблица 2

Значения коэффициентов корреляции Пирсона для показателей эффективности выполнения заданий на рабочую память
(* — $p < 0.01$, * — $p < 0.05$, ? — $p < 0.1$)

Показатель	ОС	ОО	ОЧБ	ООЧ	СЧ	СЧ-ВР	НБ
ОО	0.38*						
ОЧБ	0.26 [?]	0.48**					
ООЧ	0.34*	0.50**	0.35*				
СЧ	0.15	0.20	0.29 [?]	0.46**			
СЧ-ВР	-0.03	0.04	0.37*	-0.05	0.15		
НБ	0.18	0.15	0.22	0.43**	0.58**	0.03	
НБ-ВР	0.14	0.31*	0.29 [?]	0.05	0.20	0.68**	0.26 [?]

Примечание. ОС — объем счета, ОО — объем операций, ОЧБ — объем чтения букв, ООЧ — объем оценки четности, СЧ — точность в задании обновления счетчиков, СЧ-ВР — время реакции в задании обновления счетчиков, НБ — точность в задании *n-back*, НБ-ВР — время реакции в задании *n-back*.

Обнаружены корреляции между показателями объема РП, непрерывного объема РП и точностью выполнения заданий на обновление РП. Показатели объема коррелируют друг с другом, а также с показателями непрерывного объема. Показатели непрерывного объема выражено коррелируют между собой, как и показатели точности выполнения заданий на обновление. Показатели времени реакции в заданиях на обновление коррелируют друг с другом, но не с показателями точности выполнения этих заданий. Они также коррелируют с объемом чтения букв. Таким образом, обнаружены закономерные связи между заданиями разных классов: задания одного класса тесно связаны между собой; задания разных классов, но с похожими требованиями к функциям обработки и хранения информации также связаны между собой; показатели эффективности текущей когнитивной обработки тесно связаны между собой.

2. С целью исследования структуры корреляционных взаимосвязей между показателями эффективности выполнения заданий был проведен факторный анализ. Использовался метод главных компонент с Варимакс-вращением. Были выделены три фактора с собственными значениями более 1, суммарно объ-

ясняющие более 70% дисперсии. В фактор 1 вошли показатели объема и непрерывного объема РП, причем последние — с несколько меньшими нагрузками. В фактор 2 вошли показатели точности выполнения заданий на обновление, а также один из показателей непрерывного объема — объем обновления четности. Нагрузка другого показателя непрерывного объема, объема чтения букв, по этому фактору была достаточно низкой (0.173). В фактор 3 вошли показатели времени реакции в заданиях на обновление РП, а также показатель объема чтения букв. Состав факторов представлен в табл. 3.

Таблица 3

Факторные нагрузки показателей объема рабочей памяти и эффективности обновления рабочей памяти для трех факторов, выделенных в ходе факторного анализа

Показатель	Фактор 1 (36%)	Фактор 2 (19%)	Фактор 3 (14%)
ОС	0.719	0.062	-0.047
ОО	0.839	0.085	0.147
ОЧБ	0.595	0.173	0.447
ООЧ	0.589	0.599	-0.130
СЧ	0.100	0.849	0.150
СЧ-ВР	-0.038	0.008	0.922
НБ	0.078	0.874	0.088
НБ-ВР	0.150	0.143	0.849

Примечание. ОС — объем счета, ОО — объем операций, ОЧБ — объем чтения букв, ООЧ — объем оценки четности, СЧ — точность в задании обновления счетчиков, СЧ-ВР — время реакции в задании обновления счетчиков, НБ — точность в задании *n-back*, НБ-ВР — время реакции в задании *n-back*. Курсивом выделены нагрузки со значением более 0.3.

Полученной факторной структуре может быть дана интерпретация на основе представлений о наличии в составе РП трех компонентов с разными функциями — фокуса внимания, региона прямого доступа и активированной памяти. Фактор 1 связан с эффективностью выполнения разных вариантов заданий на объем РП. Для этих заданий характерно удержание информации на фоне выполнения нетривиальной когнитивной обработки. При этом количество удерживаемой информации превышает типичные показатели объема РП. Следовательно, фактор 1 может быть ассоциирован с компонентом, ответственным за оперативное хранение большого количества информации, — активированной памятью.

Фактор 2 содержит показатели точности выполнения заданий на обновление РП, а также один из показателей непрерывного объема. Можно предположить, что эффективность кратковременного хранения в заданиях на обновление характеризуется показателями точности их выполнения, в то время как показатели скорости выполнения этих заданий характеризуют эффективность обработки предъявляемых стимулов. Это связано с тем, что точность выполнения заданий этого класса зависит исключительно от надежности хранения обновляемой информации в РП. Время реакции, напротив, не связано исключительно с функциями хранения. Так как при выполнении заданий на обновление необходимо удерживать 2—3 элемента информации, фактор 2 может быть ассоциирован с компонентом, обеспечивающим оперативное хранение небольшого количества информации, — регионом прямого доступа.

С этим выводом согласуется и вхождение показателя объема оценки четности в фактор 2. Требования к количеству удерживаемой информации для заданий на непрерывный объем ниже аналогичных требований для заданий на объем РП, так как при выполнении простой нагрузочной задачи требуется удерживать меньше промежуточных результатов. Недостаточно высокая нагрузка по фактору 2 на объем чтения букв может быть связана с тем, что использованная в данном задании дополнительная задача была слишком простой для выполнения. В силу этого испытуемые получали возможность использовать различные стратегии повышения эффективности запоминания, что могло маскировать сходство между этим заданием и другими заданиями на объем РП.

Фактор 3 содержит показатели скорости выполнения заданий на обновление РП, а также показатель объема чтения букв. Можно предположить, что время реакции в первую очередь связано с процессами обработки информации. Так как обработка отдельного элемента предполагает его нахождение в фокусе внимания, то фактор 3 можно ассоциировать именно с этим компонентом РП. Вхождение показателя объема чтения букв в фактор 3 не противоречит такой интерпретации, так как скорость выполнения очень простого дополнительного задания определяет, в какой мере испытуемые могут использовать специальные стратегии повышения эффективности запоминания. Поэтому показатель объема чтения букв может быть нагружен как по фактору 3, так и по фактору 1: при достаточно высокой скорости чтения значительная часть информации может быть успешно перенесена в активированную память, а затем извлечена из нее для воспроизведения.

3. Также был проведен анализ зависимости между эффективностью выполнения заданий на объем РП при разном количестве

удерживаемой информации и эффективностью выполнения заданий на обновление РП. Для этого были рассчитаны коэффициенты корреляции между точностью воспроизведения информации при выполнении заданий на объем операций и объем оценки четности, с одной стороны, и точностью выполнения заданий *n-back* и «счетчики» — с другой. Целью этого анализа было определение качественных особенностей зависимости между выполнением заданий на объем РП и задания *n-back*. Последнее является репрезентативным заданием на обновление РП, поэтому понимание сходства и различий между ним и заданиями, относящимися к другим классам, позволяет лучше понять структуры и механизмы, вовлеченные в реализацию функций РП. Результаты, приведенные в табл. 4, показывают, что точность выполнения задания *n-back* коррелирует только с точностью выполнения задания на объем операций при очень высокой нагрузке на РП (5 и 6 элементов).

Таблица 4

Значения коэффициента корреляции Пирсона между показателями объема рабочей памяти и точностью выполнения заданий на обновление рабочей памяти при разном уровне нагрузки на рабочую память (* — $p < 0.05$)

Показатель	Объем операций					Объем оценки четности				
	2	3	4	5	6	2	3	4	5	6
НБ	-0.01	0.07	0.27	0.33*	0.36*	0.15	0.14	0.05	-0.15	-0.15
СЧ	0.01	0.08	0.18	0.07	0.15	-0.09	0.08	-0.05	-0.01	0.02

Примечание. СЧ — точность в задании обновления счетчиков, НБ — точность в задании *n-back*.

Обсуждение

Рассмотренные корреляционные зависимости между показателями эффективности выполнения разных классов заданий показывают, что РП не является полностью однородной. С одной стороны, задания разных классов коррелируют между собой, хотя они требуют кратковременного хранения разных видов информации, а также выполнения разных видов обработки. Показатели объема РП коррелируют с показателями непрерывного объема РП, а показатели непрерывного объема — с различными показателями эффективности выполнения заданий на обновление РП. Показатели объема операций, а также объема оценки четности коррелируют и с показателями эффективности выполнения задания *n-back*. Таким образом, возможно существование общего фактора, стоящего за выполнением разных классов заданий на РП. С другой стороны, в

ходе факторного анализа были получены 3 независимых фактора, что опровергает предположение об одномерности конструкта РП. Полученная нами трехфакторная структура лучше согласуется с представлениями о существовании трех функционально различных компонентов РП — фокуса внимания, региона прямого доступа и активированной памяти. В зависимости от требований конкретного задания к функциям оперативного хранения и обработки информации эти компоненты будут задействованы в разной степени.

РП по определению предполагает хранение и обработку информации в целях обеспечения решения текущей задачи. В какой мере и как взаимодействуют процессы обработки и хранения? Полученная факторная структура говорит о значительной независимости процессов хранения и обработки при выполнении заданий. Один из выделенных факторов (фактор 1), объясняющий максимальную долю дисперсии, включает все показатели объема РП и, очевидно, связан именно с функцией хранения. Два других фактора (факторы 2 и 3) содержат показатели, имеющие отношение не столько к хранению, сколько к изменению информации. В частности, фактор 3 содержит только скоростные показатели и показатель объема четности, который рассчитывается на фоне выполнения высокоавтоматизированной дополнительной задачи.

О возможной независимости функций обработки и хранения информации в РП говорят и другие исследования. Например, методом структурного моделирования могут быть выделены независимые факторы хранения и обработки (Unsworth et al., 2009). В проведенных нами экспериментальных исследованиях влияния сложности обработки на выполнение заданий на РП также показана независимость функций обработки и хранения информации (Величковский, 2013). В частности, увеличение сложности категоризации стимулов, предъявляемых в задании *n-back*, не влияет на эффективность его выполнения. Аналогичный результат получен и для задания на объем операций: манипуляция сложностью верификации уравнений не взаимодействует с количеством удерживаемой в РП информации.

Функционирование РП часто связывают с использованием неспецифических ресурсов обработки (Бэддели, 2011). Согласно представлениям Д. Канемана (2006), эти ресурсы составляют резервуар, из которого они могут распределяться для решения различных когнитивных задач. Представляется, что полученные данные об относительной независимости обработки и активного удержания информации в активированном состоянии не противоречат идее центрального резервуара ресурсов. Ресурсы могут разделяться между функциями хранения и обработки либо на постоянной

основе, либо динамически. Например, модель Д. Канемана предполагает модуль распределения ресурсов внимания, который может обеспечивать такое разделение ресурсов. Результаты исследований эффективности выполнения заданий на непрерывный объем РП (Barrouillet, Camos, 2007) также свидетельствуют о постоянном перенаправлении ресурсов внимания с задачи обработки предъявляемой стимуляции на задачу реактивации информации, удерживаемой в РП.

Функцией РП является оперативное удержание информации, манипуляция которой необходима для решения текущей задачи. Сегодня накапливаются свидетельства, что для этого используются различные системы памяти. Наши исследования влияния силы проактивной интерференции на эффективность выполнения заданий на объем РП говорят об использовании с этой целью механизмов как кратковременного, так и долговременного хранения (Величковский, 2013, 2014). Другие исследования показывают наличие двух источников изменчивости показателей объема РП. Это — удержание информации в первичной памяти и ее активный поиск во вторичной памяти (Unsworth, Engle, 2007). Нейрофизиологические исследования также говорят об участии структур головного мозга, ассоциируемых с долговременной памятью, в выполнении заданий на РП (Козловский и др., 2012).

Полученные в данной работе результаты подтверждают гипотезу об использовании разнородных систем хранения при выполнении заданий на РП. Были выделены два независимых фактора, связанных с точностью воспроизведения информации (факторы 1 и 2). При этом в фактор 1 входят исключительно показатели эффективности выполнения сложных заданий на объем РП и на непрерывный объем РП, требующих удержания значительного количества информации (до 6 элементов). Представляется, что хранение такого количества материала невозможно без привлечения долговременной памяти. Фактор 2 содержит показатели эффективности выполнения заданий на обновление, в которых нагрузка на память значительно ниже. Выделение этого фактора может быть ассоциировано с действием механизмов кратковременной памяти.

При анализе корреляций между показателями эффективности выполнения заданий особый интерес может представлять корреляция показателей объема РП и эффективности выполнения задания *n-back*. Подобные задания являются репрезентативными для двух основных классов заданий на РП, но они не всегда коррелируют. В нашем исследовании было обнаружено, что показатели объема РП не коррелируют с точностью выполнения задания *n-back*. Из всех показателей непрерывного объема с эффективностью выполнения задания *n-back* коррелирует только показатель

объема четности. Корреляция *n-back* и объема оценки четности говорит о сходстве некоторых механизмов, используемых при выполнении этих заданий (например, использование ими региона прямого доступа).

Задание *n-back* при номинально очень низкой нагрузке на память оказывается достаточно сложным для выполнения (Owen et al., 2005). Точность выполнения задания *n-back* и точность воспроизведения информации в задании на определение объема операций коррелируют только при высоком уровне нагрузки на РП (5 и 6 элементов). Таким образом, задание *n-back* с номинальной нагрузкой в 2 элемента по трудности эквивалентно заданию на объем РП с гораздо большей нагрузкой. При этом корреляций показателей объема РП и непрерывного объема с эффективностью выполнения задания «счетчики» не наблюдается. Оба задания на обновление требуют удержания и изменения небольшого объема информации, однако задание *n-back* отличает необходимость активного удаления информации из РП, например, в виде вытеснения потерявшего актуальность элемента в активированную память. Такие процессы трансфера информации между компонентами РП могут использоваться и при выполнении заданий на объем РП. В этих заданиях сложность дополнительной задачи требует привлечения ресурсов активированной памяти для сохранения удерживаемой информации. Перемещение информации между компонентами РП может быть активным процессом, использующим центральные ресурсы (Fawcett, Taylor, 2012).

Заключение

Рабочая память представляет собой систему оперативного хранения и обработки информации, необходимую для осуществления сложной деятельности. Проведенный анализ зависимостей между показателями эффективности выполнения двух классов заданий — на объем рабочей памяти и на ее обновление — показывает, что рабочая память не является однородной. Во-первых, в ней разделены функции хранения и обработки информации. Реализация этих функций может быть обеспечена одним резервуаром когнитивных ресурсов. Во-вторых, функции хранения в рабочей памяти могут обеспечиваться с помощью двух различных систем — системы кратковременного хранения небольшого объема, а также системы хранения большого объема, предположительно использующей механизмы долговременной памяти. Для перемещения информации между системами хранения могут использоваться активные процессы. Рабочая память представляет собой систему структур и механизмов, использование которых может динамически меняться в зависимости от требований актуально решаемой задачи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Бэддели А. Работает ли все еще рабочая память? // Когнитивная психология: история и современность. Хрестоматия / Под ред. М.В. Фаликман, В.Ф. Спиридонова. М.: Ломоносовъ, 2011. С. 312—321.

Величковский Б.Б. Использование механизмов кратковременного и долговременного хранения информации при выполнении заданий на рабочую память // Вестн. Костромского гос. ун-та им. Н.А. Некрасова. Сер. Педагогика, психология социальная работа, ювенология, социокинетика. 2013. Т. 19. № 3. С. 29—32.

Величковский Б.Б. Позиционные эффекты в рабочей памяти // Экспериментальная психология. 2014. № 2. С. 26—36.

Величковский Б.Б., Козловский С.А. Рабочая память человека: Фундаментальные исследования и практические приложения // Интеграл. 2012. Т. 68. № 6. С. 14—16.

Канеман Д. Внимание и усилие. М: Смысл, 2006.

Клингберг Т. Перегруженный мозг. Информационный поток и пределы рабочей памяти. М.: Ломоносовъ, 2010.

Козловский С.А., Величковский Б.Б., Вартанов А.В. и др. Роль областей цингулярной коры в функционировании памяти человека // Экспериментальная психология. 2012. Т. 5. № 1. С. 12—22.

Миллер Дж., Галантер Ю., Прибрам К. Планы и структуры поведения. М.: Прогресс, 1965.

Barrouillet P., Camos V. The time-based resource-sharing model of working memory // The cognitive neuroscience of working memory / Ed. by N. Osaka, R. Logie, M. D'Esposito. Oxford: Oxford Univ. Press, 2007. P. 59—80.

Case R., Kurland M., Goldberg J. Operational efficiency and the growth of short-term memory span // Journal of Experimental Child Psychology. 1982. Vol. 33. P. 386—404.

Conway A., Kane M., Bunting M. et al. Working memory span tasks: A methodological review and user's guide // Psychonomic Bulletin and Review. 2005. Vol. 12. N 5. P. 769—786.

Cowan N. An embedded-processes model of working memory // Models of working memory. Mechanisms of active maintenance and executive control / Ed. by A. Miyake, P. Shah. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1999. P. 62—101.

Fawcett J., Taylor T. The control of working memory resources in intentional forgetting: Evidence from incidental probe word recognition // Acta Psychologica. 2012. Vol. 139. P. 84—90.

Gutzwiller R., Clegg B. The role of working memory in levels of situation awareness // Journal of Cognitive Engineering and Decision Making. 2013. Vol. 7. P. 141—154.

Kane M., Conway A., Miura T., Colflesh G. Working memory, attention control, and the n-back task: A question of construct validity // Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition. 2007. Vol. 33. P. 615—622.

Lepine R., Bernardin S., Barrouillet P. Attention switching and working memory spans // Europ. Journal of Cognitive Psychology. 2005. Vol. 17. N 3. P. 329—345.

Miyake A., Shah P. Models of working memory: An introduction // Models of working memory; Mechanisms of active maintenance and executive control / Ed. by A. Miyake, P. Shah. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1999. P. 1—27.

Miyake A., Friedman N.P., Emerson M.J. et al. The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex “frontal lobe” tasks: A latent variable analysis // *Cognitive Psychology*. 2000. Vol. 41. P. 49—100.

Oberauer K. Access to information in working memory: Exploring the focus of attention // *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*. 2002. Vol. 28. P. 411—421.

Owen A., McMillan K., Laird A., Bullmore E. N-back working memory paradigm: A meta-analysis of normative functional neuroimaging studies // *Human Brain Mapping*. 2005. Vol. 25. P. 46—59.

Schmiedeck F., Hildebrandt A., Lovden M. et al. Complex span versus updating tasks of working memory: the gap is not that deep // *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*. 2009. Vol. 35. P. 1089—1096.

Turner M., Engle R. Is working memory capacity task dependent? // *Journal of Memory & Language*. 1989. Vol. 28. P. 127—154.

Unsworth N., Engle R. The nature of individual differences in working memory capacity: Active maintenance in primary memory and controlled search from secondary memory // *Psychological Review*. 2007. Vol. 114. P. 104—132.

Unsworth N., Redick T., Heitz R. et al. Complex working memory span tasks and higher-order cognition: A latent-variable analysis of the relationship between processing and storage // *Memory*. 2009. Vol. 17. N 6. P. 635—654.

Поступила в редакцию
12.05.14