

Московский Государственный Университет имени М.В. Ломоносова

На правах рукописи

Величковский Борис Борисович

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОЧЕЙ ПАМЯТИ

19.00.01 – Общая психология, психология личности, история психологии

Диссертация на соискание ученой степени доктора наук

Москва - 2016

## Оглавление

Введение .....	5
Глава 1. Рабочая память в системе когнитивных процессов.....	20
1.1. Понятие о рабочей памяти .....	20
1.2. Модели рабочей памяти .....	24
1.3. Рабочая память в системе процессов памяти .....	34
1.3.1. Первичная и вторичная память .....	34
1.3.2. Рабочая память и кратковременная память.....	35
1.3.3. Рабочая память и долговременная память .....	37
1.4. Рабочая память и познание .....	40
1.5. Рабочая память и регуляция поведения.....	44
1.6. Прикладное значение исследований рабочей памяти .....	49
2. Хранение и переработка информации в рабочей памяти.....	56
2.1. Общая характеристика хранения информации в рабочей памяти.....	56
2.2. Переработка информации в рабочей памяти .....	65
2.3. Взаимодействие систем хранения в рабочей памяти .....	73
2.4. Интерференция в рабочей памяти.....	79
2.5. Роль доменно-неспецифичных ресурсов в рабочей памяти .....	88
3. Особенности структурно-функциональной организации РП.....	92
3.1. Структура рабочей памяти .....	92
3.2. Взаимодействие хранения и переработки в РП .....	96
3.3. Роль внимания в рабочей памяти .....	105
3.4. Рабочая память в решении познавательных задач .....	112
3.5. Проблемы функциональной организации рабочей памяти .....	115
4. Структурные особенности хранения информации в РП.....	125
4.1. Исследование структуры рабочей памяти на материале сложных заданий на определение объема РП.....	125
4.1.1. Постановка проблемы .....	125
4.1.2. Сложные задания на определение объема рабочей памяти .....	128
4.1.3. Общая характеристика исследования.....	130
4.1.4. Эксперимент 1 .....	133
4.1.5. Эксперимент 2 .....	137
4.1.6. Эксперимент 3 .....	142
4.1.7. Обсуждение результатов .....	147

4.2. Исследование структуры рабочей памяти на материале заданий на обновление рабочей памяти.....	149
4.2.1. Постановка проблемы .....	149
4.2.2. Общая характеристика исследования.....	151
4.2.3. Эксперимент 1 .....	152
4.2.4. Эксперимент 2 .....	158
4.2.5. Обсуждение результатов .....	164
4.3. Исследование структурных особенностей хранения информации в рабочей памяти при повышенном риске нарушений долговременной памяти.....	167
4.3.1. Постановка проблемы .....	167
4.3.2. Методика .....	169
4.3.3. Результаты.....	171
4.3.4. Обсуждение результатов .....	174
4.4. Исследование позиционных эффектов в рабочей памяти .....	177
4.4.1. Постановка проблемы .....	177
4.4.2. Исследование 1 .....	178
4.4.3. Исследование 2 .....	181
4.4.4. Обсуждение результатов .....	184
5. Функциональные механизмы рабочей памяти при решении познавательных задач .....	188
5.1. Структура корреляционных зависимостей между показателями эффективности выполнения разных классов заданий на рабочую память .....	188
5.1.1. Постановка проблемы .....	188
5.1.2. Методика .....	190
5.1.3. Результаты.....	192
5.1.4. Обсуждение результатов .....	196
5.2. Исследование факторной структуры рабочей памяти .....	199
5.2.1. Постановка проблемы .....	199
5.2.3. Результаты.....	200
5.2.4. Обсуждение результатов .....	205
5.3. Влияние особенностей когнитивного контроля на реализацию функций рабочей памяти .....	209
5.3.1. Постановка проблемы .....	209
5.3.2. Методика .....	211
5.3.3. Результаты.....	214
5.3.4. Обсуждение результатов .....	219

5.4. Исследование влияния нагрузки на вербальную рабочую память на глазодвигательную активность при зрительном поиске .....	221
5.4.1. Постановка проблемы .....	221
5.4.2. Методика .....	225
5.4.3. Результаты .....	227
5.4.4. Обсуждение результатов .....	229
5.5. Исследование влияния нагрузки на рабочую память пользователя на эффективность навигации в меню мобильного устройства .....	234
5.5.1. Постановка проблемы .....	234
5.5.2. Методика .....	236
5.5.3. Результаты .....	238
5.5.4. Обсуждение результатов .....	241
Глава 6. Функциональная организация рабочей памяти при решении познавательных задач .....	245
6.1. Неоднородность рабочей памяти как особенность её организации .....	245
6.2. Обмен информацией между компонентами рабочей памяти .....	258
6.3. Особенности переработки информации в рабочей памяти и роль неспецифических ресурсов .....	270
6.4. Функциональные механизмы компонентов рабочей памяти .....	277
6.5. Когнитивные механизмы выполнения заданий на рабочую память .....	282
6.6. Роль рабочей памяти в осуществлении познавательной деятельности .....	286
Заключение .....	297
Литература .....	309

## **Введение**

Рабочая память (РП) представляет собой систему процессов для оперативного удержания и трансформации информации в целях решения актуально стоящих перед человеком задач. РП занимает центральное место в системе когнитивных процессов человека, обеспечивая поддержание релевантной решению задачи информации в активированном состоянии, поиск и извлечение необходимой информации в долговременной памяти, целесообразные трансформации удерживаемых когнитивных репрезентаций и сохранение промежуточных результатов этих трансформаций. Эффективное функционирование РП критически важно для успешной адаптации в сложных динамических средах. Данное исследование посвящено проблеме функциональной организации РП.

Актуальность исследования обусловлена центральной ролью понятия рабочей памяти (РП) в построении современных теорий познавательных процессов, а также его недостаточной разработанностью в отечественной и зарубежной психологии. Относительно недавно введенное в психологическую науку, понятие РП получило широкое распространение в качестве конструкта, объясняющего различные явления когнитивной сферы. Современные исследования уделяют РП большое внимание как системе временного хранения информации, отличной от долговременной памяти, а также как системе оперативной переработки информации. РП тесно связано с осуществлением функций сознания, исследования которого находятся сегодня на переднем крае психологической науки. В рамках таких концепций (Baddeley, 1992; Baars & Franklin, 2003; Soto & Silvanto, 2012) РП выступает в качестве «рабочего пространства», в котором разворачивается когнитивная активность. Многочисленные современные исследования подчеркивают тесную связь функциональной организации РП с осуществлением интеллектуально сложной деятельности (Baddeley, 2012; Hofman et al., 2012). В частности, индивидуальные характеристики РП коррелируют с показателями общего интеллекта (Engle, 2002; Ackerman et al., 2005; Dang et al., 2012; Chuderski, 2013). Отражая особую роль РП в осуществлении познавательной деятельности, в современной психологии наблюдается бурный рост исследований РП (Микадзе, Скворцова, 2008; Белова, Малых, 2013; Величковский, Козловский, 2012; Dang et al., 2012). В связи с необходимостью полного раскрытия роли РП в когнитивной сфере человека, актуальными являются вопросы о функциональной организации РП, составе её компонентов и их взаимодействии при решении

познавательных задач (Величковский, Козловский, 2012; Shah & Miyake, 1999; Baddeley, 2012; D'Esposito & Postle, 2015). Интенсивные теоретические дискуссии ведутся сегодня по проблеме структуры РП и месте РП в системе мнестических функций (Величковский, Никонова, Румянцев, 2015; Miyake & Shah, 1999; Barroileet & Camos, 2007; Chuderski et al., 2008; Cowan, 2008; Baddely, 2012; Dang et al., 2012; Giofre et al., 2013). В этой связи представляется обоснованным проведение новых исследований, посвященных проблеме функциональной организации РП.

Актуальность настоящего исследования обусловлена и большим прикладным значением изучения РП. Механизмы РП не только обнаруживают сходство с механизмами общего интеллекта, но и лежат в основе успешного выполнения различных видов практически важной деятельности – изучения иностранных языков, программирования, управления сложными техническими системами (Kyllonen & Christal, 1990; Gonzalez & Wimisberg, 2007). Особое значение РП играет в определении успешности обучения в школе (Дмитриева и др., 2007; Gathercole & Alloway, 2008). Нарушения РП сопровождают различные патологии – шизофрению (Goldman-Rakic, 1994), депрессию (Arnett et al., 1999), хроническое утомление (Deluca et al., 2004). Снижение функциональных возможностей РП характерно для непатологического когнитивного старения (Carretti et al., 2012). Нарушения функционирования РП также характерны для различных неблагоприятных состояний, таких как острое утомление (Persson et al., 2007) и психоэмоциональный стресс (Shoofs et al., 2009). Любые нарушения РП приводят к редукции возможностей человека по переработке информации, принятию неоптимальных решений и, в целом, к снижению адаптационного потенциала. Неслучайно сегодня широкое распространение получают разработки психологических интервенций, направленных на снижение нагрузки на РП человека или на повышение её функциональных возможностей, например, за счет целенаправленной тренировки РП (Пигарев, 2007; Klingberg et al., 2010). Прикладные исследования роли РП в осуществлении успешной познавательной деятельности, а также разработки в области повышения функциональных резервов РП должны опираться на эмпирически подкрепленные представления о структуре

РП и своеобразии её механизмов. Решение описанного комплекса актуальных проблем представляется важной текущей задачей психологической науки.

Целью исследования является выявление особенностей функциональной организации РП человека как системы оперативного хранения и переработки информации, поддерживающей решение актуальных для человека задач.

Гипотеза исследования: Оперативное хранение информации в РП обеспечивается компонентами хранения, функционирующими на основе механизмов кратковременного и долговременного хранения информации и различающимися объемом и особенностями доступа к удерживаемой информации. Переработка информации в РП обеспечивается специализированным компонентом переработки. Компоненты хранения и переработки функционируют на основе использования разделяемых когнитивных ресурсов. Взаимодействие компонентов РП обеспечивается системой процессов динамического распределения когнитивных ресурсов, оптимизирующих активацию компонентов РП в соответствии с требованиями решаемой познавательной задачи. В организации взаимодействия компонентов РП в ходе решения познавательных задач участвуют функции когнитивного контроля. Функциональная организация РП динамически изменяется под влиянием требований решаемой когнитивной задачи.

Для проверки гипотезы в исследовании решались следующие задачи:

1. Установить компонентный состав РП, а также определить чувствительность отдельных компонентов РП к воздействию факторов, влияющих на эффективность оперативного хранения и переработки информации.
2. Выявить особенности оперативного хранения информации в компонентах РП, реализуемых на основе механизмов кратковременного и долговременного хранения.
3. Выявить особенности переработки информации в РП на основе механизмов управления вниманием и применения трансформирующих операций к когнитивным репрезентациям.

4. Определить структуру корреляционных зависимостей между показателями эффективности выполнения различных заданий, требующих активации ресурсов РП с целью выявления компонентной организации РП.
5. Выявить особенности влияния функций когнитивного контроля на реализацию функций РП, в частности, определить функциональное значение функции произвольного подавления интерференции и функции переключения установок на реализацию оперативного хранения и переработки информации.
6. Определить роль когнитивных ресурсов в реализации функций РП.
7. Определить механизмы обмена информацией между компонентами РП
8. Установить возможность динамического перераспределения ресурсов РП в соответствии с функциональными возможностями РП и требованиями актуально решаемой задачи.
9. Раскрыть когнитивные механизмы выполнения разных классов тестовых задания, требующих использования ресурсов РП.
10. Выявить роль функциональной организации РП в осуществлении человеком интеллектуально-сложной деятельности.

Объектом исследования являются особенности выполнения заданий, требующих использования РП, при условии воздействия факторов, влияющих на эффективность хранения и переработки информации.

Предметом исследования являются компоненты РП, обеспечивающие оперативную переработку и хранение информации, обеспечивающие их функционирование когнитивные механизмы, а также особенности их взаимодействия при решении стоящих перед человеком задач.

Методологической основой исследования являются основные положения системного подхода в психологии (Забродин, 1983; Ломов, 1984, 1996; Швырков, 1988; Барабанщиков, 2003, 2007), принципы структурно-функционального анализа деятельности человека и микроструктурного анализа познавательных процессов (Анохин, 1970, 1979; В.П. Зинченко, 1975; В.П. Зинченко, Леонова, Стрелков, 1977; Леонова, 1984), положения когнитивно-информационного подхода (В.П. Зинченко, 1975, 1997; Зинченко, Гордеева, 1982; Зараковский, 1987; Ошанин, 1970; Найссер, 1981), концепция памяти как высшей психической функции (Выготский, 1982-

1984; Леонтьев, 1931, 1981; Лурия, 1974; Смирнов, 1966), принципы деятельностного подхода к изучению познавательных (Рубинштейн, 1973; Леонтьев, 1975, 1979, 1986; Гальперин, 1966; 1976; Запорожец, 1986) и мнестических процессов (Смирнов, 1966; П.И. Зинченко, 1961, 1966; Середа, 1983).

Теоретической основой исследования выступают информационные и деятельностно-ориентированные теории познавательных процессов (Асмолов, 2002; Веккер, 1981; Найссер, 1981; Broadbent, 1958; Posner, 1976), модели психологических механизмов памяти в контексте когнитивной деятельности (Блонский, 1935; Грановская, 1974; П.И. Зинченко, 1961; Ляудис, 1976; Клацки, 1978; Баддли и др., 2011), концепции оперативной памяти как базовой функциональной системы в структуре деятельности (Бочарова, 1981, 1984; Невельский, 1965; Забродин, Зинченко, Ломов, 1980), структурные модели РП (Baddeley, 1986), мультикомпонентные модели РП (Engle, 1999; Cowen, 1999; Oberauer, 2009), теории РП как исполнительного внимания (Engle, 2002; Barroillet & Camos, 2007; Cowen, 1999; Oberauer, 2005), модели связи особенностей РП и эффективности интеллектуальной деятельности (Engle et al., 1999; Kane et al., 2004; Ackerman et al., 2005; Dang et al., 2012), модели структурных ограничений внимания и когнитивных ресурсов (Broadbent, 1958, Pashler, 1998; Wickens, 1980; Канеман, 2006), модели исполнительного внимания и когнитивного контроля (Norman & Shallice, 1986; Miyake et al., 2000; Lorist et al. 2005), модели интерференции и её контроля в когнитивной деятельности (Friedman & Miyake, 2004; Nee & Jonides, 2008).

Для организации исследований с целью проверки выдвинутых гипотез в работе использовались экспериментальный, квазиэкспериментальный и корреляционный методы. При проведении экспериментальных исследований функциональной организации РП осуществлялось варьирование факторами, селективно влияющими на эффективность функционирования гипотетических компонентов РП. Полученные результаты интерпретировались согласно логике метода аддитивных факторов С. Стернберга. При квазиэкспериментальном исследовании функциональной организации РП была использована выборка испытуемых из популяций с генетически обусловленными особенностями

функционирования мнестических процессов. Корреляционные исследования проводились на основе выявления закономерных зависимостей между показателями эффективности выполнения различных классов заданий, требующих активации ресурсов РП, а также показателей эффективности функций исполнительного и когнитивного контроля.

Для оценки функций РП использовались три класса заданий, репрезентативных для измерения этого конструкта (Conway et al., 2005; Величковский, 2014). Использовались сложные задания на определения объема РП, являющиеся сегодня фактическим стандартом при оценке индивидуальных особенностей РП и их связей с другими показателями психического функционирования (Daneman & Carpenter, 1980; Engle et al., 1999; Conway et al., 2005). Использовался вариант заданий на определение объема РП («непрерывный» объем РП, Barrouillet et al., 2004; Barrouillet & Camos, 2007), отличающиеся упрощенной задачей когнитивной переработки. Также использовались задания на обновление РП (Botto et al., 2014; Ecker et al., 2014), в частности, задание на обновление «счетчиков» (Larson et al., 1988) и задание n-back (Owen et al., 2005; Schmiedeck et al., 2009), широко применяемые в поведенческих и нейрокогнитивных исследованиях функций РП и исполнительного контроля.

Оценка функций когнитивного контроля осуществлялась на основе эмпирической классификации видов когнитивного контроля (Величковский, 2009; Miyake et al., 2000; Morton et al., 2011; Rondeel et al., 2015), выделяющей релевантные для описания механизмов РП контрольные функции подавления интерференции и переключения установок. Для оценки эффективности контроля интерференции использовались тест на подавление сенсорной интерференции – фланговая задача Эриксонов (Eriksen & Eriksen, 1974; Davelaar & Stevens, 2009), тест на подавление пре-активированных моторных репрезентаций – задача Go-No Go (Hasher et al., 2007; Redick et al., 2011), а также тест произвольного контроля внимания – задача на антисаккаду (Hallett, 1978; Wright et al., 2014). Оценка эффективности произвольной смены задач (переключения установок) оценивалась с применением заданий со случайным (Meiran et al., 2000) и предсказуемым чередованием задач (Rogers & Monsell, 1995).

При исследовании влияния нагрузки на РП на глазодвигательную активность при выполнении зрительно-пространственных задач использовались методы высокоскоростной бесконтактной регистрации движений глаз (Барабанщиков, Жегалло, 2014), позволяющие не только раскрыть особенности перцептивных процессов, но и выявить содержание и процессуальные характеристики ориентированной на ментальные репрезентации когнитивной переработки (Ahlstrom & Friedman-Berg, 2006; Lehtonen et al., 2012). При анализе параметров глазодвигательной активности использовались методы статистической подгонки теоретических экспоненциально-гауссовских распределений к эмпирическим распределениям (Staub & Benatar, 2013).

При обработке данных использовались методы непараметрической и параметрической статистики и методы многомерного статистического анализа. В частности, использовались методы дескриптивной статистики, методы непараметрического и параметрического сравнения мер центральной тенденции, методы непараметрического и параметрического корреляционного анализа, метод однофакторного и многофакторного дисперсионного анализа. Для анализа структуры РП применялись методы факторного анализа и структурного моделирования (Митина, 2010; Vollen, 1989).

Научная новизна. В исследовании впервые проведен анализ функциональной организации РП как системы оперативного хранения и переработки информации, обеспечивающей решение познавательных задач. Проведена комплексная эмпирическая проверка основных положений трехуровневой (концентрической) модели РП (Engle, 2002; Cowan, 2008; Oberauer, 2002, 2005), предполагающей гетерархическую организацию компонентов хранения и переработки информации, различающихся по функциональной роли удерживаемых когнитивных репрезентаций. Описаны функциональные отношения компонентов РП при решении задач оперативного хранения и переработки информации.

Впервые на материале выполнения различных классов репрезентативных заданий на РП изучено влияние факторов, селективно влияющих на различные компоненты РП. Реализованы новые подходы к изучению механизмов кратковременного и долговременного хранения информации в РП, в частности,

впервые - с привлечением выборки лиц с генетически обусловленными дефицитами долговременного хранения. Впервые изучены позиционные эффекты в РП и показана роль факторов сложности когнитивной переработки в перемещении информации между компонентами хранения РП. Проведены новые исследования механизмов управления вниманием в РП, впервые получены результаты о независимости сложности когнитивной переработки в РП от особенностей оперативного хранения и сделаны выводы об относительной изолированности компонентов переработки и хранения информации в РП.

Впервые выявлена трехфакторная структура зависимостей между показателями эффективности выполнения заданий на РП, соответствующая функциональной организации РП. Получены новые результаты о влиянии функций когнитивного контроля на отдельные функции РП. Проведены оригинальные исследования влияния когнитивной нагрузки на эффективность переработки информации в РП. Получены новые данные о роли доменно-неспецифических когнитивных ресурсов в реализации функций РП. Новыми также являются результаты о гибком перераспределении ресурсов между компонентами РП в соответствии с требованиями решаемых задач.

В исследовании получили развитие современные представления о функциональной организации РП, экспериментально изучены факторы эффективности решения мнестических задач в РП, раскрыта функциональная специфика компонентов РП и выявлены механизмы взаимодействия компонентов РП при решении познавательных задач. Полученные результаты открывают перспективы новых эмпирических исследований в области изучения структуры и функции РП как гетерархической системы оперативного хранения и переработки информации, обеспечивающей сложную познавательную деятельность.

Теоретическая значимость исследования обусловлена центральной ролью понятия РП для характеристики особенностей переработки информации человеком и познавательной сферы человека в целом (Baddeley, 1986; 1992; Posner, 2004; Gathercole & Alloway, 2008). Согласно распространенным теоретическими представлениям (Микадзе, Скворцова, 2008; Спиридонов и др., 2011; Baddeley, 1986; Engle et al., 1999; Shah & Miyake, 1996; D'Esposito & Postle, 2015), РП

является инстанцией, осуществляющей функции оперативного хранения активированных умственных репрезентаций и их трансформации в соответствии с требованиями актуально решаемой задачи. Выполняя указанные функции, РП определяет успешность адаптивного поведения человека, основывающегося на построении моделей мира и прогнозирования результатов своего поведения в нем (Невельский, 1965; Батуев и др., 2007; Агрис и др., 2012; Величковский и Козловский, 2012; Gutzwiller & Clegg, 2012; Hofman et al., 2008, 2012). Понимаемая таким образом, РП является системой когнитивных процессов, замыкающей контур когнитивной переработки и обеспечивающей целесообразную интеграцию когнитивных функций (Щепцов и др., 2005; Клигберг, 2010; Федорова, Потанина, 2013; Baddeley, 1996; Engle et al., 1999; Ackerman et al., 2005; D'Esposito & Postle, 2015). В силу этого большую теоретическую значимость приобретают исследования различных аспектов организации и функционирования РП (Микадзе, Скворцова, 2008; Белова, Малых, 2013; Baddeley, 1996; Giofre et al., 2013; LaRocque, 2014).

Особое значение сегодня имеет изучение структуры и механизмов РП (Козловский, 2005; Синецын, 2008; Данилова, Лукьянчикова, 2008; Микадзе, Скворцова, 2008; Федорова, Потанина, 2013; Клигберг, 2010; Shah & Miyake, 1999; Verhaeghen et al., 2007; Ecker et al., 2015; D'Esposito & Postle, 2015). Это обусловлено тем, что эмпирическая проверка теорий РП затрудняется недостаточной разработанностью представлений о специфике функционирования РП. К вопросам, требующим проведения новых теоретических и эмпирических исследований, относятся вопросы о гомогенности/гетерогенности структуры РП (Белова, Малых, 2013; Величковский, Козловский, 2012; Shah & Miyake, 1999; Cowan, 2008), компонентах РП и их взаимодействии, а также о функциональных механизмах РП (Baddeley, 1992; Anderson et al., 1996; Kane & Tuholski., 1999; Barrouillet & Camos, 2007; Baume & Schlichting, 2014). Значительный интерес представляет постановка и решение теоретических задач в области изучения связи процессов РП и внимания (Агрис и др., 2012; Федорова, Потанина, 2013; Engle et al., 1999; Kane et al., 2007; Unsworth et al., 2009), роли функций контроля внимания в реализации оперативного хранения и переработки информации в РП (Lavie et al., 2004; Kane et al., 2007; Lozito & Mulligan, 2010), соотношения доменно-

специфических и доменно-неспецифических когнитивных ресурсов в обеспечении функционирования РП (Канеман, 2006; Клигберг, 2010; Fawcett & Taylor, 2012).

Значение для развития теории РП имеют исследования когнитивных механизмов выполнения различных классов заданий на РП, которые часто разрабатываются в отсутствие прочной теоретической основы (Conway et al., 2005; Schmiedeck et al., 2009; Ecker et al., 2014). Раскрытие этих механизмов позволит не только выявить функциональные ограничения РП, но и ответить на теоретически значимый вопрос о сходстве различных классов заданий на РП. Теоретическую значимость также имеет постановка и решение проблемы соотношения функций РП и когнитивного контроля как общей системы регуляции когнитивной сферой человека (Микадзе, Скворцова, 2008; Baddeley, 1996; Egner, 2009; Hofman et al. 2012; Lara & Wallis, 2014). Большое значение для дальнейшего развития теорий РП имеют исследования РП как системы, оптимизирующей свою функциональную организацию в процессе решения задач (Daneman & Merikle, 1996; Oberauer et al., 2009; Reverberi et al., 2009; Friese et al., 2010; Schmeichel & Demaree, 2010; Ramirez et al., 2012).

Для построения и развития теории РП могут быть важными полученные в рамках проведенных исследований результаты об особенности взаимодействия компонентов РП при решении когнитивных задач. Диссертационное исследование затрагивает теоретически значимый вопрос о взаимодействии процессов РП и системы управления произвольным вниманием, а также о роли доменно-неспецифических когнитивных ресурсов в реализации функций РП. Проведенные исследования раскрывают теоретически важные механизмы динамической балансировки активации компонентов РП с учетом требований решаемых задачи и контекста их решения. В целом, реализуемые эмпирические подходы направлены на решение ряда проблем, важных для уточнения и развития современных теоретических представлений о природе и когнитивных механизмах РП. Они обосновывают понимание РП как динамически оптимизируемой многокомпонентной системы когнитивной переработки и хранения умственных репрезентаций.

Практическая значимость исследования определяется большим значением РП в осуществлении различных видов интеллектуально-сложной деятельности и адаптации к условиям жизни в целом. Многочисленные современные исследования показывают связь индивидуальных характеристик РП с показателями общего интеллекта (Kyllonen & Christal, 1990; Engle et al., 1999; Ackerman et al., 2005; Oberauer et al., 2005; Dang et al., 2012; Giofre et al., 2013), вербального и пространственного интеллекта (Kane et al., 2004; Haavisto & Lehto, 2004) и специальных способностей (Daneman & Merikle, 1996; Bosco et al., 2004; Reverberi et al., 2009; Stevenson, 2013). Указанные зависимости реализуются на практике в существовании выраженных связей между эффективностью функционирования РП и эффективностью деятельности в различных прикладных областях: деятельности человека-оператора, программирования, изучения иностранных языков (Зотов, Ахмедова, 2011; Незавитина, 2007; Петрукович, Апчел, 2010; Lee & Seong, 2009; Lehtonen et al., 2012; Gonzalez & Wimisberg, 2007; Gutzwiller & Clegg, 2012). Описывается связь эффективности функционирования РП у школьников и эффективности обучения (Дмитриева и др., 2007; Swanson, 1993; Sweller et al., 1998; Rasmussen & Bisanz, 2005; Passolunghi et al., 2007), причем дефициты механизмов РП рассматриваются как один из основных факторов неспособности к обучению (Gathercole & Alloway, 2008). Дефициты РП наблюдаются также при нарушениях развития, в частности, при синдроме дефицита внимания и гиперактивности (Агрис и др., 2012; Klingberg et al., 2005; Jakobson et al., 2011). Дефициты РП сопровождают различные патологические и функциональные состояния (Arnett et al., 1999; Shackman et al., 2006; Coolidge et al., 2009; Persson et al., 2007; Deluca et al., 2004). РП оказывает выраженное влияние на возможность поведенческого контроля у нормальных взрослых людей и у лиц с зависимостями и поведенческими нарушениями (Frieze et al., 2008; Thush et al., 2008) и в целом влияет на способность реализовывать комплексные программы поведения в соответствии с лично значимыми целями (Миллер и др., 1965; Исмагуллина, 2013; Fishbach & Shah, 2006; Hofman et al., 2012).

Имеющиеся данные о влиянии процессов РП на успешность осуществления практически значимых видов деятельности, обучения и поведенческого контроля делают особо значимыми вопросы разработки прикладных психологических

интервенций, направленных на оптимизацию функционирования механизмов РП. Подобные разработки связаны либо с изменением среды с целью снижения нагрузки на РП (Gathercole & Alloway, 2008), либо с развитием функциональных возможностей РП путем её тренировки (Klingberg et al., 2005; Jaeggi et al., 2008; Dahlin et al., 2008). Необходимость повышения эффективности этих интервенций и разработки принципов их проектирования обуславливает практическое значение результатов настоящего исследования.

Положения, выносимые на защиту:

1. РП обладает гетерогенной структурой, включающей компоненты оперативного хранения и переработки информации с различными функциональными характеристиками, а также систему функциональных механизмов. Компоненты РП взаимодействуют на основе механизмов обмена информацией. Функциональная организация РП динамически изменяется в соответствии с требованиями решаемой задачи.

2. Хранение информации в РП обеспечивается системой компонентов хранения на основе механизмов кратковременного и долговременного хранения. Компонент хранения, использующий механизмы кратковременного хранения, предназначен для надежного удержания небольшого объема особенно значимой для решения актуальной задачи информации. Компонент хранения, использующий механизмы долговременного хранения, предназначен для удержания значительного объема информации, потенциально значимой для решения актуальной задачи. Переработка информации в РП осуществляется специализированным компонентом РП. Переработка информации в РП реализуется независимо от реализации функций хранения информации в РП.

3. Хранение и переработка информации в компонентах РП требует использования неспецифических когнитивных ресурсов. РП характеризуется динамическим перераспределением ресурсов между компонентами РП. При необходимости увеличить активацию отдельных компонентов РП когнитивные ресурсы отвлекаются от других компонентов РП. Динамическая регуляция функциональной организации РП обеспечивает максимальный уровень

функционирования отдельных компонентов РП в соответствии с требованиями актуальной задачи.

4. К функциональным механизмам РП относятся механизмы управления фокусом внимания, механизмы поиска информации, механизмы распределения функциональных ресурсов РП, а также механизмы контроля интерференции. Функциональные механизмы РП действуют согласованно с целью оптимизации функционирования РП в различных условиях. Реализация функциональных механизмов РП опирается на механизмы когнитивного контроля.

5. РП представляет собой согласованную систему компонентов и механизмов, динамически изменяющую особенности своей функциональной организации под влиянием особенностей решаемой познавательной задачи. Функциональная организация РП определяет выбор когнитивных механизмов решения разных классов заданий на РП. Особенности функциональной организации РП задают функциональные ограничения человека при решении разных видов познавательных задач путем ограничения целесообразных трансформаций релевантных для решения познавательной задачи умственных репрезентаций.

Достоверность полученных результатов обеспечивается следованием теоретико-методологическим принципам изучения мнестических процессов у человека, а также использованием эмпирических методов исследования, адекватных поставленным задачам, и репрезентативных выборок испытуемых. Для получения достоверных и надежных результатов в работе применялись методы количественного анализа с соблюдением статистических ограничений на возможности их применения.

Апробация исследования. Материалы исследования неоднократно сообщались и обсуждались на международных и российских конференциях и симпозиумах: конференции «Прикладная психология как ресурс социально-экономического развития современной России», Москва, 2005; 9-ом Европейском психологическом конгрессе, Гранада (Испания), 2005; 12-ом Европейском конгрессе по психологии труда и организационной психологии, Стамбул (Турция),

2005; 9-ой Европейской конференции по когнитивной науке, Афины (Греция), 2007; Первой Всероссийской научно-практической конференции «Психология психических состояний», Казань, 2008; 29-ой Международном психологическом конгрессе, Берлин (ФРГ), 2008; 3-ей Международной конференции о когнитивной науке, Москва, 2008; 5-ом Всероссийском форуме «Здоровье нации», Москва, 2009; симпозиуме «Методология психофизиологических исследований в России и Китае», Москва, 2009; 31-ой Ежегодной конференции по когнитивной науке, Амстердам (Нидерланды), 2009; 11-ом Европейском конгрессе по психологии, Осло (Норвегия), 2009; 14-ом Европейском конгрессе по психологии труда и организационной психологии, Сантьяго-де-Кампостелло (Испания), 2009; 27-ом Международном конгрессе по прикладной психологии, Мельбурн (Австралия), 2010; 4-ой Международной конференции по когнитивной науке, Томск, 2010; Всероссийской научной конференции «Экспериментальная психология в России: традиции и перспективы», Москва, 2010; 12-ом Европейском конгрессе по психологии, Стамбул (Турция), 2011; семинаре «Актуальные проблемы психологии труда и эргономики», Москва, 2011; Космическом форуме, посвященном 50-летию полета Ю.А. Гагарина, Москва, 2011; 16-ой Международной конференции по нейрокибернетике, Ростов-на-Дону, 2012; 6-ой Международной конференции по когнитивной науке, Калининград, 2014; Международной научно-практической конференции «Психология труда, инженерная психология и эргономика», Санкт-Петербург, 2014; конференции «Ломоносовские чтения», Москва, 2014; Международной научно-практической конференции «Основные тенденции развития психологии труда и организационной психологии», Москва, 2015. Работы в рамках данного исследования поддерживались грантами РГНФ и РФФИ.

Основное содержание диссертации отражено в 27 публикациях в журналах, рекомендованных ВАК РФ (общий объем -17,8 п.л., авторский вклад – 13,1 п.л.), в 1 авторской монографии «Рабочая память человека: Структура и механизмы» (объем - 15 п.л.), в 1 учебнике (общий объем – 37 п.л., авторский вклад – 1,1 п.л.), в 14 статьях в других изданиях (общий объем – 7 п.л., авторский вклад – 6,3 п.л.), а также в 20 публикациях в сборниках материалов всероссийских и международных конференций.

Структура диссертации состоит из введения, 6 глав, заключения и списка использованной литературы. В главах 1-3 дается теоретический обзор проблем современных исследований РП и её функциональной организации. В главе 4 описываются оригинальные эмпирические исследования компонентного состава структуры РП и механизмов обмена информацией между компонентами РП. В главе 5 описываются оригинальные эмпирические исследования факторной структуры РП, функциональных механизмов РП, их взаимодействия и роли неспецифических когнитивных ресурсов в функционировании РП при решении познавательных задач. В главе 6 в свете полученных эмпирических результатов рассматриваются проблемы функциональной организации РП. Основной текст исследования представлен на 340 страницах. В тексте исследования содержится 32 рисунка и 22 таблицы. Список литературы содержит 477 источника, из них 330 – на английском языке.

## **Глава 1. Рабочая память в системе когнитивных процессов**

### **1.1. Понятие о рабочей памяти**

Выделение в системе мнестических процессов отдельного вида памяти, позволяющего удерживать в актуализованной форме релевантные осуществляемой деятельности умственные объекты, имеет в психологии богатую историю (Б.М. Величковский, 2006; Т.П. Зинченко, 2002; Клацки, 1978; Корж, 1984; Neath & Suprenant, 2008). Хрестоматийными стали, например, концепции первичной памяти У. Джеймса (James, 1890) и кратковременной памяти Р. Аткинсона и Р. Шиффрина (Atkinson & Shiffrin, 1968). В последние десятилетия исследования этого особого вида памяти получили новое содержание. Новаторским стало введение А. Бэддели понятия «рабочая память» в психологическую науку (Baddeley & Hitch, 1974; Baddeley, 1986). В контексте этого понятия произошло плодотворное объединение понятий о хранении релевантной текущим задачам информации и её переработке. В таком понимании РП представляет собой когнитивную структуру, играющую заметную роль в осуществлении опосредованной переработкой когнитивных репрезентаций целенаправленной деятельности. Современные когнитивные теории приписывают РП центральное место в системе познавательных процессов человека, что отражается в значительном увеличении количества исследований РП в последние годы (Журавлев, Коржа, 2009; Miyake & Shah, 1999; Engle, 2002; Conway et al., 2005; Postle, 2006; Barrouillet & Camos, 2007; Cowan, 2008; Baddeley, 2012; D'Esposito & Postle, 2015; Клингберг, 2010; Величковский и Козловский, 2012; Федорова и Потанина, 2013).

Основой эмпирического изучения функций и механизмов РП является модель А. Бэддели, в рамках которой РП была определена как система оперативного хранения и переработки информации в целях обеспечения решения человеком текущих задач (Baddeley, 1986). Под руководством А. Бэддели была реализована комплексная программа изучения структуры РП, которая позволила выделить некоторые модально-специфичные компоненты хранения информации в РП, а также отдельный компонент, обеспечивающий управление ресурсами РП. Эта иерархическая модель на долгое время определила облик исследований РП. Отдельные её элементы нашли хорошее подтверждение в поведенческих экспериментах, а также в нейрокогнитивных исследованиях (Miyake & Shah, 1999; Baddeley, 2003; Giofre, 2013; Paulesu et al., 1993; Gatehercole, 1994; Owen et al., 2005). Тем не менее, эта модель не является исчерпывающей, и на сегодняшний день в области изучения РП человека остается значительное количество пробелов.

Относительно новым направлением в исследованиях РП является изучение индивидуальных различий в её функциональных возможностях. Подобные исследования были сначала сконцентрированы на задаче установления межиндивидуальной вариативности в объеме РП, однако вскоре вышли за пределы этой достаточно узкой проблемы (Белова и Малых, 2013; Daneman & Carpenter, 1980; Engle, 2002; Barrett et al., 2004). Фундаментальными фактами, полученными в этой области, являются обнаруженная связь объема РП и процессов произвольного внимания, а также объема РП и показателей общего интеллекта (Engle, 2002; Colom et al., 2003; Ackerman et al., 2005). Именно последний результат является сегодня убедительным свидетельством центрального места, которое РП как система оперативного хранения и переработки информации занимает в системе познавательных процессов. Объединение результатов различных исследовательских парадигм в контексте изучения РП человека позволяет постепенно обрисовывать контуры теории, описывающей её структуру и функции.

Возможная роль РП в обеспечении познавательной деятельности человека обуславливает возможность прикладного применения этого понятия. Целый ряд практически значимых переменных обнаруживает зависимость от особенностей реализации РП. Например, объем РП коррелирует с различными показателями эффективности осуществления сложной деятельности, такими как изучение иностранных языков или управление сложными техническими системами (Цепцов и др., 2005; Эздекова и Алхазова, 2013; Башлыков, 2015; Engle, 2002; Gutzwiller & Clegg, 2013). Индивидуальные особенности РП также определяют эффективность обучения у школьников, причем недостаточная сформированность функций хранения и переработки информации в РП рассматривается как фактор, влияющий на формирование целого комплекса неадекватных форм поведения, препятствующих успешному обучению (Gathercole & Alloway, 2008). В рамках нейропсихологических исследований показано, что сохранность функций управляющего компонента РП является надежным предиктором восстановления психических функций после травм головного мозга (Baddeley, 1996).

Несмотря на известный прогресс в области исследований РП, многие аспекты функциональной организации РП остаются сегодня неизученными. Одним из центральных открытых вопросов является вопрос о структуре рабочей памяти. Хотя эта проблематика интенсивно исследовалась в контексте теоретической модели А. Бэддели, новые результаты позволяют предположить, что в РП человека могут быть выделены дополнительные структуры и компоненты, имеющие большое значение для реализации функций РП (McErlee & Doshier, 1989; Cowan, 1999; Baddeley, 2012; Dang et al., 2012;

Giofre et al., 2013; Morrison et al., 2014). В частности, в рамках настоящей работы ставится вопрос о возможности выделения в составе РП функционально различных компонентов, основывающихся на механизмах долговременного и кратковременного хранения информации. Также исследуется вопрос о функциях фокуса внимания как отдельного компонента РП, обеспечивающего хранение репрезентаций, являющихся предметом когнитивной переработки. Представляется, что вследствие связи между характеристиками компонентов РП и реализацией её функций эмпирические исследования функциональных особенностей компонентов РП приобретают высокую теоретическую и практическую значимость.

Выделение в составе РП компонентов, различающихся по своим функциям и природе, ставит задачу изучения процессов их взаимодействия. Например, выделение компонентов РП, связанных с хранением информации на основе использования механизмов долговременной и кратковременной памяти, требует выявления условий, при которых используется тот или иной компонент, а также условий, при которых информация может перемещаться между компонентами. Такие процессы обмена информацией должны быть обусловлены актуальными потребностями в хранении информации, релевантной для решения текущих задач. Малоизученными остаются вопросы взаимодействия компонентов РП, обеспечивающих оперативное хранение информации и её переработку. Изучение этого аспекта взаимодействия компонентов РП следует начинать с рассмотрения вопроса о том, в какой мере переработка и хранение информации в РП интерферируют друг с другом. Независимость или взаимная интерференция компонентов, связанных с хранением и переработкой информации в РП, позволят сделать выводы об особенностях её структурно-функциональной организации. Изучение взаимодействия компонентов РП крайне актуально также в контексте изучения различных классов заданий на РП и механизмов их выполнения.

Важной проблемой при изучении функций и механизмов РП является проблема контроля за информацией, представленной в РП. Иррелевантная для решения актуальной задачи информация может получать доступ к ресурсам хранения в РП, интерферируя с релевантной информацией (Jonides & Nee, 2006; Oberauer & Lewandowsky, 2008; Carretti et al., 2012). Такая интерференция возникает, в частности, при различных патологических состояниях, при которых эмоционально значимая иррелевантная информация удерживается в РП в ущерб информации, необходимой для решения текущей задачи (Eysenck et al., 2005; Schackman et al., 2006; Brose et al., 2012;). В этой связи большое значение приобретает изучение процессов контроля за доступом информации к ресурсам

хранения в РП, в частности, процессов произвольного подавления интерференции в составе системы процессов когнитивного контроля. Проблемы развития контроля РП тесно перплетаются с проблемами становления произвольных форм памяти и её культурно-исторической обусловленности (Выготский, 1960, 1984; Блонский, 1935; Леонтьев, 1931; Ляудис, 1976; Середа, 1983).

Другим комплексом вопросов, представляющих интерес для современных исследований РП и затронутых в настоящей работе, являются вопросы об организации процессов управления хранением и переработкой информации в РП. Предметом первоочередного изучения должны стать механизмы, связывающие компоненты РП с компонентами, обеспечивающими произвольный контроль процессов внимания. Хотя эмпирически связь произвольного внимания и характеристик РП уже была показана ранее (Garavan, 1998; Kane et al., 2001; Engle, 2002; Dalton et al., 2009; ), на сегодняшний день отсутствуют исследования, описывающие роль процессов контроля внимания в реализации отдельных функций РП.

В частности, в данной работе будет показано дифференцированное влияние процессов произвольного контроля внимания на функции хранения и переработки информации в РП. Важным аспектом изучения зависимости между механизмами РП и функциями произвольного внимания является возможная зависимость функциональных особенностей РП от наличия неспецифических когнитивных ресурсов, обеспечивающих возможность сознательного контроля за познавательной деятельностью. Демонстрация роли неспецифических когнитивных ресурсов (Канеман, 2006) в реализации функций РП позволяет связать её функционирование с активностью когнитивных и мотивационно-личностных систем, обеспечивающих регуляцию сложных видов поведения. Раскрытие этой связи необходимо для любой теории, ставящей задачу обоснования места РП в системе управления произвольным поведением человека.

При изучении функций и механизмов РП не следует упускать из виду, что исследования РП во многом мотивированы возможным прикладным значением этого понятия. Сегодня существуют многочисленные свидетельства связи индивидуальных различий в характеристиках РП и познавательных функций, например, текучего интеллекта. Несмотря на выраженность этой эмпирической связи и её безусловную практическую значимость лежащие в её основе механизмы остаются не прояснёнными. Хотя в рамках настоящей работы не будет предпринята попытка раскрыть детерминанты этой фундаментальной зависимости, следует надеяться, что описываемые исследования

структуры и механизмов РП и полученные на их основе выводы о функциональной организации РП помогут наметить новые подходы к решению этой проблемы. Представляется, что накопление данных о структуре и функциях РП и их теоретическое осмысление повышает вероятность нахождения практического применения результатам исследований РП, которое сегодня является крайне актуальным. Многочисленные эмпирические зависимости между показателями эффективности осуществления сложной деятельности и особенностями организации РП могут быть применены для повышения качества познавательных и исполнительских компонентов деятельности только в случае адекватных теоретических представлений о природе этих зависимостей.

## **1.2. Модели рабочей памяти**

РП представляет собой систему когнитивных структур и процессов для оперативного хранения и манипуляции информацией. Понятие РП расширяет понятие кратковременной памяти (КВП), так как делает акцент не только на кратковременном удержании информации, но и на её переработке (Бочарова, 1979; Baddeley, 1986, 2003). Сегодня предполагается, что РП лежит в основе мышления и высокоуровневых когнитивных функций в целом. Индивидуальные различия в объёме РП коррелируют с показателями академической успеваемости, интеллекта и успешности осуществления различных видов сложной деятельности. Это обуславливает пристальный интерес исследователей к конструкту РП, и приводит к интенсивному изучению функций и проявлений РП и лежащих в её основе механизмов.

Определяющей характеристикой РП является согласованная работа процессов хранения и переработки информации. Процессы хранения позволяют процессам переработки получать доступ к необходимым данным. Результаты процессов переработки, в свою очередь, сохраняются за счет работы процессов хранения. Поэтому они могут стать объектом нового цикла обработки, или быть отложены в долговременной памяти (ДВП) для дальнейшего использования. Таким образом, РП играет центральную роль в анализе и синтезе информации с целью обеспечения адаптации человек к его окружению. Вследствие этого характерные для РП функциональные ограничения определяют возможности человека по приему и переработке информации, ограничивая диапазон как познавательных, так и практических действий. Кроме того, вследствие этого дефициты и нарушения в функционировании РП могут влиять на успешность приспособления человека к жизненным обстоятельствам, определяя, наряду с множеством других факторов, позитивный или негативный исход процессов адаптации.

Понятие «рабочая память» было впервые использовано в работе Дж. Миллера, Е. Галантера и К. Прибрама (Миллер, Галантер, Прибрам, 1965) для обозначения системы памяти, предназначенной для хранения планов. Под планами понимаются иерархические структуры целей, на основе которых осуществляется управление поведением. Целенаправленное поведение предполагает композицию планов, а также мониторинг того, насколько реализуемое поведение соответствует плану. Составление планов из отдельных элементов, а также удержание плана во время выполнения деятельности осуществляется с помощью РП. РП при этом характеризуется как «быстрая память», т.е. как система хранения, обеспечивающая непосредственный доступ к хранящимся в ней репрезентациям. Такой непосредственный доступ, не связанный с необходимостью извлечения информации из ДВП, является предпосылкой оптимального с точки зрения временной координации управления поведением на основе планов. Как видно из этой характеристики РП, она определяется авторами функционально, без указания на конкретные психологические и, тем более, нейрофизиологические структуры и процессы.

Модель РП, разработанная А. Бэддели и Г. Хитчем (Baddely & Hitch, 1974), которая впоследствии преимущественно развивалась А. Бэддели (Baddeley, 1986), содержит три блока. Эти блоки – управляющая система («центральный исполнитель») и две подчиненные ей системы («рабские системы») для хранения вербальной и зрительно-пространственной информации. Системы хранения обеспечивают кратковременное удержание небольшого объема информации соответствующей модальности. Например, вербальная «рабская» система может использоваться для удержания аудиально или зрительно предъявленных слов. Центральный исполнитель (исполнительный компонент РП) является гипотетической системой процессов, обеспечивающих оптимальную работу систем хранения и управление процессами внимания. Он также организует перемещение информации внутри рабских систем и между рабочей и долговременной памятью. Для обоснования правомерности выделения указанных компонентов рабочей памяти А. Бэддели широко использовал метод двойной задачи (dual task). Метод заключается в выполнении испытуемыми двух заданий. Одно задание – основное – требует использования различных компонентов рабочей памяти. Другое задание – интерферирующее – требует использования одного конкретного компонента рабочей памяти. За счет использования этого компонента, интерферирующее задание создает помехи при выполнении основного задания. Например, иррелевантная артикуляция является интерферирующей задачей, селективно нагружающей вербальную систему хранения. Нажатие определенной последовательности клавиш на клавиатуре является

интерферирующей задачей, селективно нагружающей зрительно-пространственную систему хранения. Задача генерации случайных чисел (т.е. задача называния цифр таким образом, чтобы последовательность цифр была случайной) является интерферирующей задачей, селективно нагружающей центральный исполнитель. С использованием методики двойной задачи можно показать, например, что игра в шахматы требует ресурсов центрального исполнителя и зрительно-пространственной системы хранения, но практически не использует механизмы вербальной системы хранения.

Вербальная система кратковременного хранения в модели А. Бэддели получила наименование фонологической петли. Она состоит из двух подсистем: фонологического хранилища и системы артикуляторного проговаривания. Фонологическое хранилище представляет собой систему кратковременного хранения акустических следов. Эти следы распадаются с достаточно высокой скоростью (примерно в течение 2 секунд) в том случае, если они не ре-активируются за счет процессов проговаривания. Существование фонологического хранилища, использующего акустическое кодирование, подтверждается эффектом фонетического сходства – при непосредственном упорядоченном воспроизведении фонетически близкие звуки воспроизводятся хуже, чем фонетически далекие звуки. Существование системы артикуляторного проговаривания, связанной с субвокальной артикуляцией, проявляется в эффекте длины слова – длинные слова воспроизводятся хуже, чем короткие слова. При этом подавление артикуляции приводит к исчезновению эффекта длины слова. Связь эффективности кратковременного вербального хранения с субвокальной артикуляцией проявляется в эффектах связи скорости речи и объема вербальной кратковременной памяти (Baddeley, Thomson & Buchanan, 1975). Основной функцией системы артикуляторного проговаривания, таким образом, является ре-активация вербальной информации, содержащейся в фонологическом хранилище. Система артикуляторного проговаривания также служит «интерфейсом ввода данных» в фонологическое хранилище для зрительно предъявленной информации.

Зрительно-пространственная система хранения представляет собой буфер для кратковременного удержания зрительной и пространственной информации. Объем хранения в зрительной части этой системы ограничен примерно 4 объектами. В основе различения пространственного и зрительного компонентов лежат поведенческие и нейрофизиологические данные. В зрительно-пространственной системе имеется собственный механизм ре-активации информации, аналогичный механизму субвокального проговаривания. Эта функция осуществляется за счет перемещения внимания, обеспечиваемого центральным исполнителем.

Центральный исполнитель – это система контроля внимания, обеспечивающая распределение его ресурсов между подчиненными системами хранения. Функциями центрального исполнителя являются фокусировка внимания, а также распределение внимания и его переключение. Еще одной функцией центрального исполнителя является интеграция информации разной модальности из систем кратковременного хранения и ДВП в эпизодическом буфере. Моделью центрального исполнителя может считаться система управляющего внимания (supervisory attentional system, SAS, Norman & Shallice, 1986).

Концепция рабочей памяти Р. Энгле (Engle, 2002; Engle & Kane, 2004; Engle, Kane & Tuholski, 1999) концентрируется, в отличие от модели А.Бэддели, не на системах модально-специфичного хранения, а на доменно-неспецифичных контрольных процессах, обеспечивающих функции РП. Эта концепция, относящаяся к т.н. «активационным моделям РП», возникла в контексте дифференциально-психологических исследований индивидуальных различий в объеме РП – количества удерживаемых в ней дискретных элементов информации. Эти исследования показывают, что объем КВП, так и объем РП подлежат выраженной межиндивидуальной изменчивости. При этом показатели объема РП обнаруживают выраженные корреляции с показателями эффективности выполнения различных видов интеллектуально сложной деятельности. Вопрос о природе этой зависимости привел к возникновению представлений о центральной роли процессов исполнительного внимания в реализации функций РП.

Согласно концепции Р. Энгле, функция РП заключается в том, чтобы поддерживать необходимые для решения актуальной задачи когнитивные репрезентации в активированном состоянии. Нахождение репрезентаций в активированном состоянии обеспечивает их доступность для когнитивных процессов. Поддержание надпорогового уровня активации релевантных задаче репрезентаций осуществляется в условиях конкуренции со стороны иррелевантных внешних дистракторов и репрезентаций, активированных в силу каких-либо посторонних причин. Таким образом, реализация функций РП должна обеспечиваться механизмами контроля внимания, которые позволяют когнитивной системе использовать необходимые репрезентации в условиях интерференции. Поэтому индивидуальные различия в объеме РП могут быть обусловлены не фиксированными различиями в объеме хранения, а различиями в способности удерживать внимание на релевантных задаче когнитивных элементах. Таким образом, РП - это не столько система процессов памяти, сколько система процессов «внимания для памяти».

Ряд эмпирических свидетельств поддерживают такое понимание конструкта РП. Методом контрастных групп (т.е. групп, составленных из испытуемых с очень высокими и очень низкими показателями объёма РП) показано, что лица с низким объёмом РП в большей степени подвержены действию проактивной интерференции при удержании информации в рабочей памяти. При этом необходимость выполнять дополнительную задачу приводит к увеличению негативного эффекта проактивной интерференции и для испытуемых с высоким объёмом РП. Таким образом, за высоким объёмом РП стоит действие неавтоматизированных процессов когнитивного контроля, обеспечивающих подавление проактивной интерференции. Показатели объёма РП также коррелируют с показателями эффективности выполнения заданий на внимание. Например, объём рабочей памяти коррелирует с эффективностью выполнения задачи на антисаккаду и задачи Струпа. Ярким свидетельством связи объёма РП и эффективности процессов контроля внимания является негативная корреляция между объёмом РП и вероятностью обнаружения субъективно значимого стимула в иррелевантном канале при использовании методики дихотического слушания. Лица с высоким объёмом РП гораздо реже обнаруживают, что в иррелевантном канале предъявляется их собственное имя. Это свидетельствует о более развитом подавлении иррелевантных сенсорных дистракторов у этой группы испытуемых.

Приведенные результаты показывают важную роль процессов контроля внимания в реализации функций РП. Исследования методом структурного моделирования (Kane et al., 2007) позволяют выделить два фактора, стоящих за решением различных задач, требующих кратковременного удержания материала – фактор, связанный с выполнением заданий на КВП, и фактор, связанный с выполнением заданий на РП. После статистического контроля их общей дисперсии, только последний фактор коррелирует с показателем общего интеллекта. Так как проведенный статистический контроль, предположительно, сохраняет только дисперсию, связанную с индивидуальными различиями в способности контролировать внимание, именно эта способность должна стоять за связью между объёмом РП и общим интеллектом, а косвенно – за связью между объёмом РП и эффективностью выполнения интеллектуально сложной деятельности.

С моделью Р. Энгле тесно связана другая «активационная» модель РП – модель вложенных процессов Н. Коуэна (1999). В этой модели рабочая память образована «вложенными друг в друга» компонентами – фокусом внимания, активированной памятью и ДВП. В модели используется функциональное определение РП, под которой понимается совокупность всей информации, используемой для решения текущей задачи.

Эта информация содержится в трех источниках, упомянутых выше. В фокусе внимания содержатся активированные репрезентации, которые осознаются человеком. Активированная память – это подмножество активированных репрезентаций ДВП, которые влияют на текущую обработку, но не осознаются. Необходимая, но не активированная информация может быть получена из ДВП путём её извлечения с помощью процессов активного поиска.

Важным элементом модели вложенных процессов является центральный исполнитель, управляющий фокусом внимания. Центральный исполнитель реализует произвольное перемещение фокуса внимания от одной репрезентации к другой. Такое перемещение приводит к активации целевой репрезентации. В модели предполагается, что активация репрезентаций не постоянна, но угасает с течением времени. Исключение составляют активированные репрезентации, находящиеся в фокусе внимания – их активация остается максимальной в течение всего времени их пребывания там. Таким образом, фокус внимания обладает способностью произвольно активировать репрезентации, а также поддерживать эту активацию на надпороговом уровне в течение сколь угодно долгого времени. Поэтому для активированной памяти и фокуса внимания характерны различные виды ограничений – активированная память ограничена по времени (активация угасает в течение 10-20 секунд), а фокус внимания ограничен по объёму (содержит около 4 независимых элемента информации).

Развивая модель Н. Коузена, К. Оберауэр (2002) предлагает различать в фокусе внимания собственно фокус внимания и регион прямого доступа (т.н. «концентрическая модель РП»). Фокус внимания содержит активированную репрезентацию, которая осознается и является объектом текущей когнитивной переработки. Регион прямого доступа содержит небольшое количество (около 4) репрезентаций, находящихся в состоянии высокой доступности и защищенных от негативного действия угасания и интерференции. Репрезентации могут попасть в фокус внимания, только если предварительно они находились в регионе прямого доступа. В дополнение к фокусу внимания и региону прямого доступа, модель К. Оберауэра также содержит активированную память – подмножество активированных репрезентаций ДВП, к которым применимы типичные для этой формы хранения информации ограничения эффективности хранения – угасание активации с течением времени, а также распад под влиянием интерферирующих воздействий.

Существование фокуса внимания, охватывающего только один элемент, подкрепляется рядом эмпирических результатов. В простых, но ярких экспериментах Гаравана (Garavan, 1998) испытуемые подсчитывали «в уме» количество предъявляемых геометрических фигур – квадратов и треугольников – что требует постоянного обновления значений двух «ментальных счетчиков». Переход от пробы к пробе требовал нажатия клавиши испытуемым, что позволяло оценить время выполнения одной операции обновления. Было обнаружено, что при смене «счетчика» (т.е. в том случае, когда предъявляемая фигура отличалась от предыдущей) время ответа увеличивалось примерно на 500 мс. Эта задержка может быть связана с необходимостью загрузки соответствующего предъявляемой фигуре счетчика в фокус внимания из региона прямого доступа. То, что в этих экспериментах использовались только два вида фигур и, соответственно, только два «ментальных счетчика», позволяет утверждать, что фокус внимания – в смысле определения, данного К. Оберауэром – вмещает только один элемент информации, так как два элемента информации находятся в пределах типичных объемов фокуса внимания (Luck & Vogel, 1997; Cowan, 2001).

В экспериментах К. Оберауэра существование трех функционально различных отделов рабочей памяти было продемонстрировано с использованием более сложных экспериментальных задач (Oberauer, 2002). Испытуемым предъявлялось два набора цифр. После запоминания наборов один из них объявлялся «активным», и использовался затем для выполнения арифметических операций «в уме» – задачи, требующей ресурсов РП. Другой набор объявлялся «пассивным» и должен был удерживаться испытуемым в памяти в течение всего времени выполнения арифметических вычислений с целью последующего воспроизведения. Количество цифр в каждом наборе равнялось либо одному, либо трем. Скорость выполнения арифметических операций зависела от количества элементов в активном наборе, но не зависела от количества элементов в пассивном наборе. Было обнаружен эффект переключения – смена элемента, с которым осуществляются вычисления, приводила к увеличению времени реакции. При этом сам эффект переключения становился больше с увеличением количества цифр в активном наборе. Аналогичное взаимодействие эффекта переключения и количества цифр в пассивном наборе не наблюдалось.

О чем говорят эти результаты? Согласно предложенной К. Оберауэром модели, элементы из пассивного набора хотя и должны оставаться активированными (относясь, таким образом, к содержимому РП), но не должны использоваться при реализации вычислений. Поэтому они могут храниться в активированной памяти, но не в регионе

прямого доступа. Элементы из активного набора, которые используются при осуществлении вычислений, должны храниться в регионе прямого доступа, так как именно эта форма хранения обеспечивает быстрый доступ к информации, необходимой в контексте решения текущей задачи. Тот элемент активного набора, с которым в данный момент выполняются арифметические действия, должен быть сначала загружен (или "выбран") в фокус внимания. Операция выбора элемента требует затрат времени, что приводит к возникновению эффекта переключения. То, что величина эффекта переключения зависит от размера активного набора, но не зависит от размера пассивного набора, показывает, что информация выбирается в фокус внимания из всех альтернатив, содержащихся в регионе прямого доступа, но не в активированной памяти. Дополнительные эксперименты К. Оберауэра продемонстрировали также, что первоначально вся актуально предъявляемая информация, подлежащая кратковременному удержанию (т.е. как активный, так и пассивный набор), кодируется в регионе прямого доступа, однако в течение небольшого промежутка времени (около 2 секунд) может быть частично "выгружена" в активированную память.

Подходы к организации РП, развиваемые в активационных моделях, в известной степени затрагивают вопросы организации и функции сознания. В.М. Аллахвердов и коллеги (Аллахвердов, 2003, 2005; Аллахвердов и др., 2008; Агафонов, 2006; 2011) развивают оригинальные представления о сознании как механизме порождения и проверки гипотез о мире. Этот механизм актуализирует («отбирает») только те представления, которые согласуются с наиболее простой непротиворечивой гипотезой. Феномены забывания в этом случае объясняются принятием сознанием решения о невозпроизведении материала, несогласующегося со складывающейся картиной мира (Агафонов, 2006). Очевидно, что подобная концепция на уровне конкретных когнитивных механизмов может быть согласована с дихотомическим делением РП на неосознаваемую активированную часть ДВП («когнитивное бессознательное», Аллахвердов и др., 2008) и осознаваемый фокус внимания.

Другой активно разрабатываемой сегодня моделью РП является модель основанного на времени разделения ресурсов П. Барруиллэ (Barrouillet & Camos, 2007). Основные положения этой модели следующие. Во-первых, переработка и хранение информации требуют использования ресурсов внимания. Предполагается, что ресурсы внимания являются единственными и ограниченными, поэтому реализация функций РП должна обеспечиваться механизмом разделения ресурсов. Во-вторых, при отвлечении внимания от репрезентаций, хранящихся в РП, их активация угасает с течением времени. В-третьих,

обработка, требующая внимания, осложняет удержание информации в РП из-за невозможности её ре-активации. В-четвертых, разделение ресурсов внимания осуществляется по времени и заключается в быстром и частом переключении внимания между функциями переработки и хранения.

Указанные положения могут быть проверены экспериментально. В частности, в совокупности они позволяют утверждать, что выполнение любого, сколь угодно простого задания, требующего непрерывной фокусировки внимания, существенно осложнит одновременное хранение информации в РП. Чтобы показать справедливость этого утверждения, Barrouillet et al. (2004) просили испытуемых выполнять задание на определение объёма РП (см. ниже), в котором предъявление согласных букв, предназначенных для последующего воспроизведения, чередовалось с необходимостью называть цифры, предъявляемые либо с высокой, либо с низкой скоростью. Манипуляция скоростью предъявления цифр осуществлялась либо путем изменения количества цифр при фиксированной длительности интервала их предъявления, либо путем изменения длительности интервала предъявления при фиксированном количестве букв. В обоих случаях было обнаружено, что при увеличении скорости предъявления букв количество верно воспроизведенных согласных снижалось. Таким образом, объём РП зависел от отношения между длительностью эпизодов переработки и общего времени, в течение которого выполнялась переработка и хранение информации. Оказалось верным даже более строгое утверждение - количество верно воспроизведенных элементов снижалось практически линейно с увеличением этого отношения.

Эти результаты говорят о справедливости положений теории основанного на времени разделения ресурсов. Во-первых, фактор времени играет центральную роль в определении эффективности оперативного хранения информации. Роль фактора времени очень специфична - эффективность хранения определяется не общим временем, в течение которого должна удерживаться информация, а долей времени, которая должна быть уделена решению задач переработки информации. Во-вторых, линейное обратное соотношение между временем, отводимым на переработку, и эффективностью оперативного хранения подтверждает представления о необходимости разделения единого ресурса между функциями переработки и хранения.

П. Баруиллэ с коллегами (Lepine, Bernardin & Barrouillet, 2005) провели и прямое сравнение влияния переработки разной сложности на эффективность оперативного хранения информации. В частности, они сравнили эффективность оперативного хранения

последовательности цифр на фоне необходимости осуществлять семантическую верификацию предложений и на фоне необходимости называть последовательности букв. Конечно, переработка второго типа значительно проще переработки первого типа. Тем не менее, при достаточно высокой скорости предъявления букв, количество верно воспроизведенных цифр оказывается примерно одинаковым в обоих случаях. Таким образом, не "внутренняя сложность" операций переработки, а их частота является фактором, влияющим на эффективность хранения в РП. Даже если сами операции достаточно просты, постоянное привлечение ресурсов внимания для их реализации делает невозможным использование этих же ресурсов для ре-активации удерживаемых в РП репрезентаций.

Модель долговременной РП (long-term working memory, Ericsson & Kintsch, 1995) предназначена для объяснения особенностей памяти экспертов в специализированных предметных областях. Наблюдения за экспертами показывают, что возможности оперативного хранения информации, имеющей отношение к области их экспертизы, у них резко увеличены. В частности, у экспертов многократно увеличивается объем РП (более 80 не связанных друг с другом элементов). Такого увеличения объема РП в специализированных предметных областях можно достигнуть и в ходе специальной тренировки запоминания испытуемыми фактов из конкретной предметной области. При изменении предметной области преимущество, связанное с экспертизой или тренировкой, исчезает, и объем РП снижается до типичных значений. Основное предположение модели заключается в том, что промежуточные продукты когнитивной переработки сохраняются в «структурах доступа» ДВП и доступны оттуда по «ключам», хранящимся в КВП. Структурами доступа являются хорошо заученные схемы организации данных, которые могут быть насыщены новой информацией. Структуры доступа позволяют извлекать информацию в систематическом порядке в рамках одного цикла извлечения. Таким образом, в этой модели структура ЛП включает в себя постоянную ДВП и непостоянную КВП, обеспечивающую доступ к большим объемам информации в ДВП через ключи доступа. Забывание информации определено действием обычных механизмов забывания в КВП, а также действием проактивной интерференции.

Сегодня активно создаются нейрофизиологические модели РП. Работы в этом направлении позволили получить ряд фундаментальных результатов. В исследованиях, проведенных методом регистрации активности отдельных нейронов, получены данные об участии нейронов лобных отделов коры в выполнении задач на РП (Goldman-Rakic, 1995). В задачах с отсроченным использованием стимула эти нейроны активны в течение

периода удержания – интервала между моментом времени, в который предъявляется стимул, и моментом времени, в который требуется осуществить реакцию на него. Активность этих нейронов до момента реакции была связана с правильными ответами, а отсутствие активности приводило к отсутствию ответа. Таким образом, в этих исследованиях были получены убедительные свидетельства участия нейронов лобных отделов коры в реализации функций РП. Сфера применения этих результатов, однако, существенно ограничена тем, что они получены не на человеке, а на обезьянах.

На сегодняшний день хорошо изучены психофизиологические и нейропсихологические основы памяти вообще и рабочей памяти, в частности (Лурия, 1960; 1974; Голубева, 1980; Горев, 2007; Данилова, Лукьяникова, 2008; Журавлев, Коржа, 2009; Козловский, 2005; Костандов и др., 2008; Лебедев, 1985; Микадзе, Скворцова, 2008; Сеницин, 2008; Фарбер, Сеницын, 2009). Нейрофизиологические исследования РП на человеке успешно осуществляются с помощью методов нейровизуализации (Баддли и др, 2011; Бетелева, Сеницин, 2008; Сеницин, 2008). В этой области получены два основных результата. С одной стороны, методом позитронно-эмиссионной томографии (Paulesu, Frith & Frackowiak, 1993) показано, что выполнение заданий на вербальную РП связано с активацией двух областей в левом полушарии. Выполнение заданий на зрительно-пространственную РП приводит к активации ареалов в правом полушарии. При этом показано, что можно дифференцировать РП на местоположения и на целостные объекты (Smith & Jonides, 1997). С другой стороны, методом функциональной магнитно-резонансной томографии показано (Owen et al., 2005), что при выполнении задания n-back, предъявляющего повышенные требования к исполнительному компоненту РП, преимущественно активированы лобные доли коры. Таким образом, современные нейрофизиологические исследования позволяют выделить характерные для модели А. Баддли компоненты РП, существование которых ранее предполагалось только на основании поведенческих исследований.

### **1.3. Рабочая память в системе процессов памяти**

#### **1.3.1. Первичная и вторичная память**

В теориях памяти РП может быть по-разному соотнесена с другим мнестическими процессами. Характерным является выделение РП в качестве самостоятельной подсистемы памяти. Исторически первой реализации представлений о существовании самостоятельных подсистем памяти является различение первичной и вторичной памяти, принадлежащее У. Джеймсу (James, 1890). Первичная память содержит образы

переживаемого настоящего, её содержание непосредственно осознается. Информация, которая должна быть припомнена и осознается как относящаяся к прошлому, содержится во вторичной памяти. Согласно У. Джеймсу, образы вторичной памяти содержат знание о событиях, причем они сопровождаются осознанием того, что эти события воспринимались (или припоминались) ранее. Вторичная память – это собственно память (memoir proper), в отличие от первичной памяти, которая практически неотличима от сознания.

Выделение первичной памяти и проведение различия между первичной и вторичной памятью, предпринятое У. Джеймсом – это первая попытка теоретического выделения двух качественно различных систем памяти. Одна предназначена для временного удержания информации в целях обеспечения текущей активности. Другая предназначена для долговременного хранения информации в целях обеспечения активности в будущем. Таким образом, долговременная память в понимании У. Джеймса – это «хранилище» впечатлений, активное осознание и использование которых обеспечивается механизмами первичной памяти. Такое различие активной (первичной) и пассивной (вторичной) памяти прослеживается во всей эволюции теорий памяти человека.

Различение первичной и вторичной памяти имеет параллели в современных теориях памяти. В частности, в составе РП первичной памяти наиболее близко соответствует фокус внимания (Cowan, 1999). Однако РП может содержать и компоненты, аналогичные вторичной памяти — например, активированную память. Дисперсия показателей сложного объёма РП содержит два независимых источника, связанных с первичной (активное удержание) и вторичной (контролируемое извлечение) памятью (Unsworth & Engle, 2007). Выгрузка информации из ограниченной по объёму КВП в неограниченную ДВП (вторичную память) сопровождается выполнением различных видов заданий на РП (Величковский, 2013; Fawcett & Taylor, 2012). Поэтому РП не может быть отождествлена с первичной памятью.

### **1.3.2. Рабочая память и кратковременная память**

Понятие рабочей памяти тесным образом связано с понятием КВП. КВП и РП не являются идентичными конструктами, но их функции и, возможно, вовлеченные когнитивные структуры в значительной мере пересекаются. Ниже будет дан краткий обзор сходств и различий этих систем памяти.

Понятие КВП было использовано уже в ранних когнитивных моделях психики (Бродбент, 1958; Клацки, 1974; Репкина, 1965), но получило широкое распространение в связи с т.н. «модальной моделью» памяти Р. Аткинсона и Р. Шиффрина (Atkinson &

Shiffrin, 1968; см. также модели зрительной КВП в работе Грановской, 1974). Эти авторы определяют КВП как множество структур и процессов, позволяющих временно удерживать ограниченное количество информации в состоянии высокой доступности. Понятие КВП значительно шире понятия первичной памяти, так как элементы КВП могут оказывать влияние на поведение, но не должны при этом обязательно осознаваться. В модальной модели также проводится четкое различие между КВП и ДВП. В отличие от КВП, ДВП используется для хранения информации в течение значительного времени, но чтобы хранящаяся в ДВП информация стала доступной, её необходимо извлекать. КВП и ДВП связаны процессами обмена информации (из КВП в ДВП – «кодирование», «запоминание»; из ДВП в КВП – «извлечение»). КВП характеризуется двумя особенностями. Во-первых, информация в КВП распадается с течением времени, в основе этого эффекта может лежать как механизм угасания активации, так и другие механизмы. Во-вторых, для КВП – в отличие от ДВП - характерны ограничения объёма: в ней может удерживаться только небольшое количество единиц информации. Количество информации ограничено 3-4 единицами (Luck & Vogel, 1997; Cowen, 2008).

РП – это многокомпонентная система временного хранения и переработки информации. Таким образом, РП может пониматься как система нескольких модально-специфичных кратковременных хранилищ, дополненных механизмом обработки информации. Именно совмещение функций хранения и обработки является определяющей характеристикой РП. Модально-специфичные блоки КВП входят в состав РП как отдельные компоненты хранения. Поэтому РП «наследует» характерные особенности КВП – роль времени как фактора потери информации и ограниченность объёма.

Коуэн (Cowen, 2008) выделил следующие отличия КВП и РП:

1. КВП понимается как единая система хранения информации всех видов, в то время как РП представляет собой систему с четко разделенными компонентами.
2. Показатели КВП не коррелируют с интеллектуальными способностями, в то время как показатели РП являются высоконадежными предикторами интеллектуальных способностей.
3. КВП представляет собой только систему кратковременного хранения информации, в то время как РП объединяет функции хранения и переработки информации. РП включает в себя процессы контроля внимания, которые используются для обеспечения функций как хранения, так и переработки информации.
4. КВП использует вербальное проговаривание (или зрительный аналог этого процесса) для повышения эффективности запоминания, в то время как РП обеспечивает

кратковременное удержание информации даже при невозможности осуществления проговаривания.

Сегодня различие понятий КВП и РП частично носит терминологический характер. Модально-специфичные системы КВП могут пониматься как блоки в составе РП. РП также включает системы обработки информации, системы контроля внимания, а также доменно-неспецифичные, кросс-модальные системы кратковременного хранения (фокус внимания, эпизодический буфер). Однако понятия КВП и РП существенно различаются в том, что РП включает в себя механизмы для реализации функций когнитивной переработки и контроля внимания. Вероятно, именно поэтому показатели РП обнаруживают более высокие корреляции с показателями интеллектуальных способностей, чем показатели КВП.

### **1.3.3. Рабочая память и долговременная память**

Различные теоретические концепции по-разному представляют взаимоотношения РП и ДВП. РП может пониматься как система, отличная от ДВП, как система, представляющая собой подмножество ДВП, а также как система, тождественная ДВП. Наиболее распространены взгляды на РП как на систему, функционально и структурно отличную от ДВП (Баддли и др., 2011; Клацки, 1978; Корж, 1984).

При понимании РП как системы, отличной от ДВП (Аткинсон, 1980; Baddeley, 1986; Schacter & Tulving, 1994), на первый план выходит вопрос об их функциональном отличии, а также о том, как организовано взаимодействие между ними. Функциональные особенности РП обусловлены её ролью как временного хранилища, призванного обеспечивать процессы оперативного управления текущей деятельностью необходимой информацией. ДВП, наоборот, осуществляет накопление информации об опыте прошлого взаимодействия со средой. Взаимодействие РП и ДВП может осуществляться по-разному, но типичным являются представления о том, что информация должна быть извлечена из ДВП, чтобы быть помещенной в РП. Извлечение информации из ДВП в РП обеспечивается работой центрального исполнителя, реализующего ресурсно-затратный, управляемый поиск информации в ДВП. При недостаточности ресурсов центрального исполнителя, в результате такого поиска из ДВП может быть извлечена информация, не соответствующая первоначально заданным критериям. Поиск также может закончиться без извлечения какой-либо информации из ДВП. Хранящаяся в ДВП информация может быть «загружена» в РП и автоматически (т.е. без участия произвольно контролируемых процессов поиска), в результате распространения активации со стороны репрезентаций, активированных в ходе текущей когнитивной переработки.

Для теоретических представлений, основывающихся на модели А.Бэддели, центральным структурным элементом РП, обеспечивающим взаимодействие РП и ДВП, является т.н. эпизодический буфер. Эпизодический буфер – это система оперативного хранения «эпизодов», состоящих из связанных в единый комплекс модально-специфичных единиц информации. Добавление эпизодического буфера в трехкомпонентную модель РП (две «рабские» системы хранения и центральный исполнитель) было вызвано её неспособностью дать объяснение ряду эмпирических эффектов: успешному непосредственному воспроизведению связанных отрывков текста, комбинации зрительного и вербального кодирования при непосредственном воспроизведении несвязанных слов, преимущественному влиянию факторов эффективности долговременного хранения на субъективную яркость композитных квазисенсорных образов, а также индивидуальным различиям в эффективности хранения информации на фоне когнитивной обработки (Baddeley, 2002). Все указанные эффекты связаны с необходимостью интегрировать информацию из ДВП и модально-специфичных систем в форме, допускающей активное удержание интегрированной информации и манипуляцию ею. Эпизодический буфер обеспечивает такую функциональность, посредством осознания предоставляя доступ к связанным мультимодальным эпизодическим репрезентациям. Эпизодический буфер является интерфейсом между эпизодической и семантической памятью, с одной стороны, и РП и сознанием, с другой стороны. Модально специфичные системы, в свою очередь, содержат специализированные интерфейсы для связи с модально-специфичными системами семантической памяти.

Прямое взаимовлияние РП и ДВП проявляется в эффектах укрупнения (*chunking*) – образование составных элементов из отдельных подлежащих сохранению элементов для их последующего удержания и воспроизведения. Такое укрупнение возможно только на основе устойчивых связей между отдельными элементами, удерживаемых в семантической памяти (Бочарова, 1969; 1976; Невельский, 1965; Т.П. Зинченко, 2002; Попова, Курочкина, 2015). Вообще, выделение смысловых и временно-пространственных связей с целью организации запоминаемого материал является основой успешного воспроизведения на различных временных интервалах (Смирнов, 1966; Ляудис, 1976). Специализированным видом укрупнения является использование структур доступа, описываемое в модели «долговременной РП» (Ericsson & Kintsch, 1995). В этом случае РП содержит ссылки («указатели») на стабильно хранящиеся в ДВП схемы организации информации, насыщенные подлежащими хранению элементами. Таким образом, РП может непосредственно взаимодействовать как с эпизодической, так и с семантической

памятью для образования гибридной системы хранения, обеспечивающей существенное увеличение её объема (Невельский, 1965; Репкина, 1965; Ericssen & Kintsch, 1995).

В концепциях, рассматривающих РП как часть ДВП (Cowen, 1999; Oberauer, 2002), предполагается другой тип их взаимодействия. Отсутствие структурных различий между РП и ДВП делает избыточными процессы «загрузки» информации из ДВП в РП. Информация становится частью РП в результате сознательно контролируемого перемещения фокуса внимания (Cowen, 1999), повышающего уровень активации репрезентаций. Репрезентации ДВП могут стать частью РП также в результате действия процессов распространения активации, о которых упоминалось выше. Для подобных «активационных» концепций, таким образом, характерно наличие плавного перехода между РП и ДВП, обеспечиваемого контролируруемыми и автоматическими процессами контроля уровня активации.

Самостоятельный подход к проблеме взаимодействия РП и ДВП реализуется в теориях памяти, которые допускают отсутствие необходимости разделения памяти на разные системы (Craik & Lockhart, 1972, Nairne, 1990; см. также Середя, Снопик, 1970). В таких теориях – например, основанных на концепции «единого следа» (Wickelgren, 1974) – РП отсутствует как самостоятельная структурная единица, а все феномены, используемые для эмпирического подтверждения существования РП, трактуются как выражение общих для системы памяти закономерностей хранения информации. Например, в модели SIMPLE (Brown, Neath & Chater, 2007) запоминаемые стимулы представляются как точки в многомерном психологическом пространстве. Вероятность воспроизведения элемента  $i$  при предъявлении ключа  $j$  пропорциональна отношению "сходства"  $i$  и  $j$  к суммарному "сходству" всех альтернативных стимулов  $k$  к  $j$ . "Сходство" определяется как монотонно убывающая функция от расстояния между двумя стимулами в психологическом пространстве. Таким образом, воспроизведение подчиняется принципу "относительной различимости" - лучше воспроизводятся те стимулы, которые в данном множестве стимулов больше отличаются от всех остальных по одному или нескольким психологическим измерениям. С помощью этой модели удается воспроизводить типичные позиционные эффекты (эффект первичности и эффект недавности), не прибегая к понятиям ДВП и КВП. Позиционные эффекты возникают из-за того, что первые и последние элементы лучше различимы относительно измерения времени, так как у них меньше "соседей" на временной оси, чем у элементов в середине предъявленной для запоминания последовательности. Таким образом, проблема взаимодействия РП и ДВП может быть сведена к действию универсальных, единообразных мнестических механизмов.

Трактовка памяти как единой системы, не допускающей разделение на различные подсистемы, является достаточно радикальной (Т.П. Зиченко, 2002; Клацки, 1974; Корж, 1984, Середа, Снопик, 1970). Подходы, основывающиеся на выделении различных систем памяти, таких как РП и ДВП, опираются на многочисленные, яркие экспериментальные эффекты, такие как “эффекты края”. В этом случае взаимодействие РП и ДВП будет обеспечиваться процессами перемещения информации между различными системами памяти. Один тип таких процессов – это уже упомянутые выше процессы извлечения информации из ДВП. Другой тип процессов перемещения информации – это процессы перемещения информации из РП в ДВП. Такое перемещение необходимо для устойчивого сохранения информации в течение долгосрочной (Аткинсон, 1980), а также краткосрочной перспективы (Oberauer, 2002). Родственным процессом может быть и процесс «выгрузки» потерявшей актуальность или интерферирующей информации из РП. Такая «выгрузка» осуществляется с привлечением ресурсов управления вниманием (Fawcett & Taylor, 2012).

#### **1.4. Рабочая память и познание**

РП используется при выполнении когнитивной переработки, которая требует трансформации временно активированных репрезентаций («данных»), причем в результате этих трансформаций могут возникать новые репрезентации. Под эту широкую характеристику подходят очень многие мыслительные задачи. В силу этого показатели РП обнаруживают корреляции с целым рядом когнитивных показателей, относящихся к разным уровням организации познавательной сферы. К ним относятся, в частности, даже такие низкоуровневые переменные, как общая скорость обработки и сенсорная дискриминация. Корреляции скорости обработки с показателями РП вызваны, вероятно, её корреляцией с эффективностью процессов повторения, влияющих на эффективность удержания информации в РП (Fry & Hale, 2000). Корреляции показателей РП со способностью к сенсорной дискриминации вызваны ролью РП как временного хранилища для сопоставляемых сенсорных образов (Troche et al., 2014).

Показатели РП коррелируют с различными видами пространственных способностей. Так, показатели эффективности зрительно-пространственного компонента РП и центрального исполнителя коррелируют с тремя стабильно выделяемыми факторами пространственной визуализации: пространственной визуализацией, определением пространственных отношений и перцептивной скоростью (Miyake et al., 2001). Кроме того, РП используется при ориентировки в пространстве в условиях, приближенных к

реальным (Bosco et al., 2004). РП также опосредует зависимость между стрессом и эффективностью решения пространственных задач уже в детском возрасте (Ramirez et al., 2012).

Показатели РП коррелируют не только с пространственными, но и с вербальными способностями (Федорова, Потанина, 2013; Цепцов и др., 2005; Эздекова, Алхазова, 2013). Было обнаружено, что объем РП коррелирует с эффективностью выполнения теста на понимание коротких текстов VSAT (Verbal Scholastic Assessment Test, Daneman & Carpenter, 1980). Корреляции специализированного показателя объема РП («объема чтения», см. раздел 1.5) с эффективностью понимания варьировали в пределах от 0,4 до 0,9. Этот результат впоследствии многократно подтверждался. В частности, мета-анализ на основе 77 исследований (Daneman & Merikle, 1996) показал, что в среднем корреляция между объемом чтения и тестом VSAT составляет 0,4. Объем РП коррелирует и с другими показателями вербальных способностей – способностью интерпретировать предложения со сложной синтаксической структурой и способностью делать выводы о значении новых слов на основании контекста их использования (Cantor et al., 1991).

РП связана с эффективностью арифметических вычислений у взрослых и детей. В частности, РП связана с владением счетом – навыка, лежащего в основе решения простых и сложных арифметических задач (Adams & Hitch, 1997; Logie et al., 1994). Дети с трудностями обучения математике обнаруживают проблемы в функционировании РП (Swanson, 1993). Индивидуальные особенности РП, наряду с навыками счета, является предпосылкой обучения математике в начальной школе (Passolunghi et al., 2007). При этом роль отдельных компонентов РП при выполнении арифметических операций на разных возрастных этапах различается. У дошкольников предиктором успешности решения задач является зрительно-пространственная РП, а уже в 1 классе – вербальная РП (Rasmussen & Bisanz, 2005).

РП используется и при выполнении задач, требующих привлечения высокоуровневых когнитивных функций. Механизмы РП используются при осуществлении различного рода умозаключений (Kyllonen & Christal, 1990). Показана, например, роль РП в дедуктивных умозаключениях – пациенты со специфическим нарушением РП, вызванными нарушениями в левой латеральной префронтальной области, обнаруживают сложности в осуществлении логических умозаключений из явных и неявных посылок (Reverberi et al., 2009). Индивидуальные особенности РП также связаны с эффективностью индуктивных умозаключений (Buehner et al., 2005). У детей

зрительно-пространственная РП связана со способностью выполнять задания на пространственные аналогии (Stevenson, 2013). Зависимость хода реализации умозаключений от особенностей РП может быть опосредовано участием ментальных моделей. Это может быть связано с тем, что при конструкции и анализе ментальных моделей используются ресурсы РП (Johnson-Laird, 1983).

РП играет важную роль в процессах решения простых мыслительных задач. В ходе решения задач РП может использоваться для хранения промежуточных результатов решения задач, иерархии целевых состояний, которые необходимо достигнуть в ходе решения задачи, и ограничений, накладываемых на допустимые решения. Исследования показывают наличие зависимости между функциональными возможностями РП и эффективностью аналитического решения задач (Fleck, 2008; Wiley & Jarosz, 2012). Особая роль при этом отводится исполнительному компоненту РП. Она заключается в фокусировании внимания на выбранном способе решения и, как следствие, в обеспечении более быстрого продвижения в проблемном пространстве. Исполнительный компонент РП также обеспечивает поиск и загрузку информации, хранящейся в ДВП и могущей быть пригодной для решения задачи. Эти функции РП могут оказаться контрпродуктивными при решении креативных («инсайтных») задач, так как затрудняют движение в ширину при изучении проблемного пространства. В соответствие с этим, исследования показывают неоднозначную зависимость между характеристиками РП и показателями эффективности решения задач, требующих инсайта (Chuderski, 2014). Зависимость эффективности решения задач от объема РП модулируется уровнем стресса, причем лица с увеличенным объемом РП показывают более выраженное снижение эффективности решения задач под действием стрессогенных факторов (Beilock & Carr, 2005).

Помимо решения задач, индивидуальные различия в РП связаны и с процессами принятия решения. Эта зависимость обусловлена, в первую очередь, ролью процессов исполнительного контроля, реализуемых центральным исполнителем, в подавлении тенденции к импульсивному выбору ответа, а также возможностью использовать ресурсы хранения РП для накопления информации, необходимой для принятия оптимального решения. Испытуемые с большим объемом РП чаще применяют оптимальные стратегии при определении вероятности случайных событий. Нагрузка на РП приводит к повышению вероятности принятия рискованных решений в экспериментальных условиях (Jameson et al., 2004). Также обнаруживается, что объем РП объясняет значимую долю дисперсии в решении задач на этические дилеммы (Martin et al., 2014).

С индивидуальными особенностями РП могут быть связаны различия в используемых людьми когнитивных стилях - особенностях приема и переработки информации (Холодная, 2004). Так, одним из когнитивных стилей является полезависимость/поленезависимость. Полезависимые люди используют целостный тип переработки, и воспринимают подлежащую переработке информацию совместно с окружающей её фоновой информацией. Поленезависимые люди используют аналитический подход к обработке и успешно отделяют ключевую информацию от контекстуальной информации. Когнитивный стиль полезависимости/поленезависимости связан с объемом РП. У поленезависимых людей объем РП увеличен. В основе этой закономерности лежит улучшенное подавление иррелевантной информации при увеличенном объеме РП, связанное с повышенной эффективностью исполнительного компонента РП (Jia et al., 2014).

Как следует из приведенных выше литературных данных, понятие РП занимает важное место в теории познавательных процессов, так как оно играет интегративную роль – РП является инстанцией, объединяющей возможности процессов переработки и хранения информации для реализации высокоуровневых познавательных задач. Объединяющая роль РП проявляется и в её связях с интеллектом – наиболее интегрированной функцией человеческого познания. Исследования (Engle et al., 1999; Colom et al., 2003; Ackerman et al., 2005) показывают, что РП не только связана с наличием отдельных интеллектуальных способностей, но и обнаруживает очень высокие корреляции с фактором текучего интеллекта, *gF* (Cattell, 1963). Доля дисперсии текучего интеллекта, объясняемой с помощью показателей выполнения заданий на РП, варьирует от 35% (Engle et al., 1999) до 72% (Oberauer et al., 2005). При этом следует отметить, что с текучим интеллектом коррелируют преимущественно показатели выполнения сложных заданий на определение объема РП (см. раздел 4.1.2), в то время как показатели выполнения заданий на определение функциональных возможностей КВП с текучим интеллектом не коррелируют (Engle et al., 1999). Подобные результаты говорят о том, что РП является конструктом, тесно связанным с механизмами решения новых задач, требующих не репродуктивного, а продуктивного мышления. Однако ряд исследований показывает, что в РП могут быть выделены подсистемы, по-разному связанные с разными видами интеллекта. Так, зрительно-пространственная РП преимущественно связана с текучим интеллектом, *gF*, а вербальная РП – с кристаллизованным интеллектом, *gC* (Haavisto & Lehto, 2004; Dang et al., 2012). Таким образом, РП может оказаться неоднородным конструктом, так что доменно-специфичные модули РП могут оказывать

различное влияние на интеллектуальную деятельность. Несмотря на неоднозначность свидетельств об однородности зависимости между доменно-специфическими компонентами РП и интеллектом, существование выраженных связей между РП и интеллектом не подлежит сомнению.

### **1.5. Рабочая память и регуляция поведения**

Важной особенностью психики человека является её способность к саморегуляции – т.е. к изменению внешних и внутренних реакций таким образом, чтобы они способствовали достижению человеком стоящих перед ним целей с учетом требований ситуации и всего контекста жизнедеятельности (Ананьев, 1977; Конопкин, 1989; Сергиенко, 2009; Сергиенко и др., 2010). Успешная адаптация к условиям существования предполагает эффективное функционирование механизмов саморегуляции, которое может зависеть от процессов памяти вообще (память как «универсальный интегратор психики», Л.М. Веккер, 1981) и от уровня развития индивидуальной РП, в частности. В литературе выделен ряд механизмов влияния индивидуальных особенностей РП на эффективность осуществления саморегуляции (Hofman et al., 2012): активная репрезентация, управляющее внимание (executive attention), защита цели, подавление руминаций, подавление нежелательных эмоций и побуждений. Отдельные направления современных исследований особенностей управления человеком собственным поведением подтверждают, что РП влияет на возможности саморегуляции (Репкина, 1965; Зотов, Ахмедова, 2011, Friese et al., 2010; Hofman et al., 2012), в частности, в условиях экстремальной деятельности (Руденко, 2015).

Нарушения саморегуляции могут возникать из-за недостаточно полноценной репрезентации целей деятельности в РП (Fishbach & Shah, 2006; Friese et al., 2010). Также показано, что поведение удовлетворяет индивидуальным стандартам, только если человек располагает достаточными функциональными возможностями РП (Barret et al., 2004; Evans, 2008). Недостаток функциональных возможностей РП приводит к преобладанию в поведении автоматических реакций (Hofman et al., 2008; Friese et al., 2008; Thush et al., 2008). Использование РП опосредует связь между отношением к определенным поведенческим реакциям и их действительной реализацией – так, функциональные возможности РП влияют на зависимость между отношением к наркотикам и их употреблением (Grenard et al., 2008). Индивидуальные особенности РП позволяют дать прогноз величины набора веса в долговременной перспективе в зависимости от субъективных предпочтений в отношении употребления пищи и уровня поведенческого

контроля (Nederkorn et al., 2010). Изменения функциональных возможностей РП наблюдаются также при алкогольной зависимости (Батуев и др., 2007). Эти данные доказывают, что контроль за поведением человека может быть опосредован особенностями его РП. В основе этого опосредования могут лежать различные механизмы.

Влияние РП не ограничивается только внешними реакциями, но распространяется и на процессы мышления. Например, объем РП обратно коррелирует с интенсивностью «отвлечений мысли» при выполнении сложной деятельности в повседневной жизни (Kane et al., 2007). Объем РП также прямо коррелирует с эффективностью подавления нежелательных мыслей (Brewin & Smart, 2005). Наиболее ярким свидетельством влияния РП на внутренние реакции является её роль в регуляции эмоционального состояния (Gross, 1998). Так, большой объем РП связан со спонтанной регуляцией эмоций, приводя к мобилизации усилий и активации позитивных эмоций при получении негативной обратной связи об успешности выполнения задания (Schmeichel & Demaree, 2010). Такой механизм лежит в основе успешного преодоления внезапно возникающих сложных ситуаций. Индивидуальные особенности РП коррелируют с устойчивыми диспозициями, приводящими к переживанию аффекта той или иной валентности. Например, объем РП негативно коррелирует с контра-гедонистической ориентацией, т.е. ориентацией на переживание эмоций негативной валентности (Riedeger et al., 2011). Хотя такая ориентация может иметь адаптивное значение, повышая уровень усилий по достижению поставленных целей, в целом она приводит к увеличению когнитивной нагрузки и очевидно негативным последствиям для осуществления стремления к поддержанию нейтрального эмоционального баланса. Таким образом, снижение функциональных возможностей РП может сказываться и на возможностях человека по оптимизации переживания и проявлений эмоций.

Роль РП в регуляции поведения проявляется и в её зависимости от уровня когнитивной нагрузки. При увеличении когнитивной нагрузки, например, за счет необходимости выполнения дополнительных задач, эффективность регуляции поведения снижается (Hofman et al., 2008). Такое увеличение когнитивной нагрузки сопровождается увеличением нагрузки на РП в той мере, в которой дополнительные когнитивные задачи требуют привлечения ресурсов доменно-специфичного хранения, а также связанных с сознательным контролем поведения ресурсов исполнительного контроля. Нагрузка на РП возникает и в ситуациях с повышенной ментальной нагрузкой, например, при наличии социальных стрессоров. В этих условиях наблюдается снижение эффективности

деятельности, опосредованное индивидуальными особенностями РП (Finkel et al., 2006). При этом модулирующий эффект индивидуальных особенностей РП может быть разным. С одной стороны, снижение эффективности деятельности особенно выражено у лиц с низким объемом РП. С другой стороны, снижение эффективности деятельности может затрагивать лиц с высоким объемом РП. В этом случае в основе наблюдаемого эффекта может лежать то, что лица с высоким объемом РП используют более сложные стратегии решения задач. Такие стратегии нарушаются при нехватке ресурсов РП, возникающей в осложненных наличием психосоциальных стрессоров ситуациях (Veilock & Carr, 2005).

Одним из процессов, имеющих центральное значение для осуществления целенаправленной деятельности, является процесс планирования. РП играет значительную роль в осуществлении планирования и целеобразования, так как ресурсы РП могут использоваться для построения и сохранения элементов планов будущего поведения (Знаков, 1979, Миллер и др., 1965; Исмагуллина, 2013). Влияние ограничений РП на эффективность планирования изучается сегодня в основном в лабораторных условиях с использованием различных комплексных заданий, предназначенных для оценки функций лобных долей. В частности, с использованием таких заданий показано нарушение функций планирования у больных болезнью Паркинсона (Altgassen et al., 2007). В основе имеющихся у этих больных когнитивных нарушений, предположительно, лежат нарушения РП. Действительно, сниженная эффективность планирования при выполнении задания Лондонские башни в этой группе испытуемых оказалось связанной с дефицитами в эпизодическом буфере – компоненте РП, ответственном за интеграцию сенсорной информации и информации из ДВП. На материале задания Лондонские башни также показано, что повышение эффективности планирования в возрасте от 5 до 6 лет также связано с развитием функций РП (Новикова и Строганова, 2006).

Влияние ограничений и возможностей РП проявляется вплоть до уровня личности. Действие ограничений РП на личностном уровне может быть обусловлено работой различных интегративных механизмов. Индивидуальные различия в РП коррелируют с проявлениями личностных нарушений (Coolidge et al., 2009). Например, Stevens et al. (2004) обнаружили изменения в выполнении задания на РП у лиц с пограничными расстройствами личности. Зависимость между расстройствами личности и особенностями РП может быть связана с нарушениями исполнительного контроля поведения (Coolidge et al., 2009). Это обусловлено тем, что механизмы РП являются составной частью механизмов исполнительного контроля. РП влияет на реализацию личности в поведении через предоставление механизма активации и деактивации целей. При этом цели, которые

не были реализованы, в скрытой форме влияют на функционирование РП, поглощая её ресурсы (Masicampo & Baumeister, 2011).

Показано влияние стресса на объем РП. В исследовании Shoofs et al. (2009) было обнаружено, что острый стресс снижает эффективность выполнения сложных заданий на определенном объеме РП (см. главу 4). Величина снижения эффективности выполнения заданий обратно зависит от уровня выделяемого кортизола, что подтверждает гипотезу о влиянии стресса на эффективность выполнения указанных заданий. При этом величина прямого цифрового объема не зависела от применения стрессового воздействия, что говорит о влиянии стресса на центральный исполнитель, но не на компоненты РП, связанные исключительно с хранением информации.

Многочисленные данные свидетельствуют о связи объема РП с уровнем тревожности. Личностная тревожность в сочетании с острым стрессом определяет объем РП (Sorg & Whiney, 1995). Личностная тревожность нарушает работу центрального исполнителя и как самостоятельный фактор (Eysenck et al., 2005). Помимо центрального исполнителя, личностная тревожность снижает эффективность зрительно-пространственной РП (Shackman et al., 2006). Объем РП опосредует связь между личностной тревожностью и академической успеваемостью, что говорит о снижении объема РП под влиянием тревожности (Owens et al., 2008). С другой стороны, негативное влияние личностной тревожности на эффективность различных видов деятельности редуцируется при высоком объеме РП, что также говорит об опосредованности влияния тревожности на деятельность механизмами РП (Johnson & Gronlund, 2009). Аналогичный эффект обнаруживается при изучении влияния личностной тревожности на контроль внимания (Wright et al., 2014). В целом, эти результаты свидетельствуют о том, что тревожность оказывает влияние на механизмы, вовлеченные в реализацию функций РП.

Функционирование РП обеспечивается сложно координированными процессами переработки информации. Неудивительно, что различные заболевания приводят к её нарушениям. Хорошо известны, например, нарушения рабочей памяти при депрессии. Депрессия связана со снижением эффективности выполнения заданий на обновление РП (в частности, задания n-back, Rose & Ebmeier, 2006) и со снижением объема РП (Arnett et al., 1999). Исследования показывают, что снижение эффективности РП связано с нарушением функции произвольного подавления irrelevantных репрезентаций. Возможный механизм, лежащий в основе этой связи, заключается в том, что произвольное подавление необходимо как для контроля доступа информации в РП, так и для «удаления»

потерявшей актуальность информации из РП (Gohier et al., 2009). При нарушениях подавления иррелевантная информация может оказаться активированной, что приводит к возникновению нехватки ресурсов для удержания в активном состоянии релевантной информации. В особой мере невозможность полноценного произвольного подавления относится к субъективно значимой эмоционально-окрашенной информации. Нарушения подавления также могут приводить к тому, что ранее активированная негативная информация сохраняет высокий уровень активации в РП, оказывая постоянное влияние на все процессы сознательной переработки информации.

Приведенные данные показывают, что РП играет важную роль в организации целенаправленной деятельности человека. Эта роль обусловлена тем, что РП предоставляет механизмы для оперативного удержания информации, необходимой для управления деятельностью даже в условиях наличия интерферирующих воздействий. В частности, РП используется для удержания цели (или даже иерархии целей) деятельности (Миллер и др., 1965, Знаков, 1979). Роль РП велика и в выработке планов деятельности, т.е. в реализации функций планирования (Новикова, Строганова, 2006). РП также может являться субстратом метакогнитивной регуляции деятельности, описанной в Карпов, Скитяева (2005) и Карпов (2012). Вследствие такого использования РП её индивидуальные особенности коррелируют со способностью человека управлять своими действиями и мыслями. Таким образом, влияние РП проявляется на самых высоких уровнях индивидуальной организации – вплоть до уровня личности. Возможности РП влияют на способность человека добиваться поставленных целей в условиях возможных затруднений, осуществляя гибкое переключение между ними при возникновении такой необходимости. При этом эффективность функционирования РП зависит от уровня истощения центральных ресурсов переработки, что говорит об участии фундаментальных когнитивных механизмов в реализации функций РП.

Эффективность функционирования РП зависит и от личностных особенностей человека, влияющих на стратегии распределения когнитивных ресурсов, таких как личностная тревожность. Снижение эффективности функционирования РП наблюдается при различных психических нарушениях, подтверждая важную роль РП в способности человека реализовывать сложные формы поведения. В целом представляется, что функция РП в психической деятельности является интегративной и заключается в том, что на основе использования механизмов РП когнитивные репрезентации получают возможность влиять на осуществление высших форм человеческого поведения, объединяя сферу

когнитивных процессов и эмоционально-личностную сферу (Ананьев, 1997; Карпов, 2004; Корнилова, 2016; Сергиенко, 2009; Сергиенко и др., 2010).

В этой связи полезно отметить возможную роль РП в управлении деятельностью человека. В деятельностном подходе (Рубинштейн, 1957, 1973; Ломов, 1984) подчеркивается роль субъектности в инициации и определении направленности деятельности, направленной на преобразование мира (Рубинштейн, 1957, 1973). Опосредование связи сознания и реальности в деятельности опирается на «образ мира» (Леонтьев, 1983), интеграция которого может осуществляться на основе процессов РП. В этом смысле РП может играть роль опосредующего элемента между нижележащими уровнями деятельности, связанными с психическими автоматизмами, и вышележащими уровнями деятельности, связанными с мотивированным целеполаганием и сознательным отражением реальности. Тесная связь РП и сознания, предполагаемая в современных нейрофилософских концепциях сознания (Гидлевский, 2015; Baddeley, 1992; Bargh, 2005), подкрепляет такую точку зрения. В деятельности, субъект опирается на механизмы РП для организации планомерных действий по достижению целей в условиях сложного, динамического окружения в соответствии со своими целями. В этом может отражаться системность психики как целостного образования, направленного на адаптацию к иерархии вложенных контекстов – физического, биологического, социального и культурно-исторического (Анохин, 1979; Ломов, 1975, 1996; Барабанщиков, 2007; Карпов, 2005).

### **1.6. Прикладное значение исследований рабочей памяти**

Влияние индивидуальных особенностей и механизмов РП на реализацию целенаправленного поведения, отмеченное выше, приводит к тому, что РП играет важную роль в осуществлении различных видов сложной деятельности. Зависимость между индивидуальными различиями человека в возможностях РП и индивидуальными различиями в способности к осуществлению различных видов интеллектуально сложной деятельности отмечают многие авторы (Величковский и Козловский, 2012; Barrouillet & Camos, 2007; Engle, 2002; Unsworth et al., 2009; Gutzwiller & Clegg, 2012 и др.). В частности, исследования показывают существование корреляционных связей между показателями объема РП и академической успеваемостью, общим интеллектом, изучением языков, а также эффективностью взаимодействия человека-оператора со сложными техническими системами (Адамова, 2007; Башлыков, 2015; Зотов, Ахмедова, 2011; Незавитина, 2007; Петркуович, Апчел, 2010; Спиридонов и др., 2011; Conway et al.,

2005; Engle, 2002). В силу этого исследования РП приобретают большое практическое значение. Упомянутые примеры роли РП в реализации сложной практической деятельности будут рассмотрены более подробно ниже.

Зависимость между индивидуальными особенностями РП и академической успеваемостью была показана М. Данеман и П. Карпентер (Daneman & Carpenter, 1980). В проведенном ими исследовании изучалось задание на определение объема РП, в котором кратковременное хранение информации сочеталось с её переработкой – т.н. задание на определение «объема чтения» (русскоязычная адаптация представлена, например, в Спиридонов и др., 2011). В этом задании семантическая обработка последовательности предложений сопровождается необходимостью удерживать последнее слово каждого предложения для последующего отчета. Было обнаружено, что показатель объема чтения (максимальное количество верно воспроизведенных слов) коррелирует с эффективностью выполнения теста на понимание коротких текстов VSAT (Verbal Scholastic Assessment Test).

Наличие такой корреляции может быть объяснено тем, что в некотором смысле содержание задания на определение объема чтения дублирует содержание деятельности по пониманию текста, так как включает элементы чтения, удержания в памяти отрывков текста и их семантическую обработку. В этом случае обнаруженные корреляции являются тривиальными, так как в их основе лежит не просто общий, а тождественный механизм. С целью демонстрации нетривиальности обнаруженной корреляции между объемом чтения и эффективностью понимания текста М. Данеман и Б. Хэннон (Daneman & Hannon, 2009) провели оригинальное исследование. В этом исследовании они сопоставили предсказательную силу объема чтения как предиктора эффективности понимания в стандартных условиях тестирования и в условиях, когда тестируемые должны были давать ответы на вопросы по содержанию текста без его предварительного прочтения. Оказалось, что в и этих условиях объем чтения является хорошим предиктором количества правильных ответов. Этот результат говорит о том, что выполнение задания на определение объема чтения основывается не только на способности к чтению и запоминанию текстов, но и на способности к анализу текстовой информации и осуществлению умозаключений, что, в свою очередь, требует использования общих механизмов удержания и переработки вербальной информации. В этом исследовании также было показано, что объем РП особенно сильно коррелирует с эффективностью отдельных процессов понимания текста, связанных с извлечением, переработкой и интеграцией новой информации, которая содержится в тексте.

Связь показателей эффективности функционирования РП и академической успеваемости показана и группой П. Барруиллэ (Barrouillet & Camos, 2007). У 11-летних школьников было обнаружено, что показатели объема чтения и показатели объема операций (в этом задании кратковременное удержание информации сочетается с выполнением в уме арифметических действий) коррелируют с результатами школьных тестов по математике и правописанию. Значения соответствующих коэффициентов корреляции варьировали в пределах от 0,3 до 0,4. При использовании вариантов заданий на определение объёма РП, в которых нагрузочная задача была предельно простой (см. раздел 4.1.2), а скорость предъявления стимуляции была навязана испытуемому, корреляции с показателями успеваемости становились еще выше, достигая величины 0,4-0,5. Таким образом, в основе связи с показателями успеваемости в первую очередь лежит способность к оперативному удержанию информации на фоне помех.

Яркие свидетельства зависимости успешности обучения от индивидуальных особенностей РП были получены в многолетней серии исследований С. Газеркоул (Gathercole & Alloway, 2008). Автор рассматривает дефициты в системе рабочей памяти как одну из причин школьной неуспеваемости. Это связано с тем, что обучение в школе требует оперативного удержания и обработки значительных объемов информации. Измеряемые с помощью специальных тестов дефициты РП сопровождают различные нарушения развития, такие как синдром дефицита внимания и гиперактивности, дислексию, задержку речевого развития и др. Индивидуальные особенности РП коррелируют с успешностью овладения чтением, математическими навыками, объемом словарного запаса, средней оценкой за все время обучения, а также с успешностью следующей за обучением профессиональной деятельности. Как показывает детальный количественный анализ, проведенный на материале национального тестирования школьной успеваемости у 7-летних детей в Великобритании, в системе компонентов РП показатели успеваемости преимущественно коррелируют с показателями эффективности работы центрального исполнителя и зрительно-пространственного блокнота. Исследования С. Газеркоул позволили ей выделить поведенческие признаки школьников, трудности обучения у которых могут быть связаны с дефицитами в РП: замедленный прогресс обучения, трудности в следовании пошаговым инструкциям, трудности в осуществлении видов деятельности, требующих активного удержания и переработки информации (например, письмо), трудности концентрации внимания и высокая отвлекаемость.

Идентификация дефицитов в РП как возможной причины трудностей обучения позволяет осуществлять целенаправленную разработку разного рода интервенций. Они могут быть направлены либо на перестройку обучающей среды с целью поддержки ослабленной РП неуспевающих учеников, либо на тренировку РП. Тренировка функций РП может принимать разные формы. В последние годы распространение получают методы имплицитной тренировки РП, в которых не содержится обучения специальным стратегиям выполнения заданий на РП, но которые основываются на принципе повышения эффективности функционирования РП за счет многократного выполнения заданий, требующих использования функций РП (Величковский, 2009; Пигарев, 2007; Klingberg et al., 2010).

Примером изучения эффектов тренировки РП является применение программы тренировки, разработанной для детей с СДВГ (Klingberg et al., 2005). В этой программе использовались компьютеризированные средства предъявления заданий на РП, заключавшиеся в удержании зрительно-пространственной информации с предоставлением обратной связи. Сложность заданий определялась количеством удерживаемого материала и изменялась адаптивно, в зависимости от точности ответа в предыдущей пробе. С использованием этого метода тренировки была обнаружена возможность переноса тренировочного эффекта на другие, новые задания (Klingberg et al., 2010). Так, после прохождения тренировки улучшалось выполнение других заданий на РП, таких как сложные задания на определение объема РП, задания на кратковременное удержание вербальной информации, а также задания на выполнение пошаговых инструкций, моделирующих ситуации, возникающие в учебной деятельности. Эффекты тренировки оказались устойчивыми в течение 6 месяцев после её окончания. Кроме того, был обнаружен перенос эффекта тренировки на задания, связанные с использованием функций РП лишь косвенно – задачу Струпа и тесты интеллекта. Тренировка РП приводит также к снижению проявлений невнимания у детей с СДВГ и к улучшению когнитивных показателей у больных, перенесших инсульт.

Другое направление в создании методов тренировки РП состоит в использовании заданий на обновлении РП (см. раздел 4.2.1). Например, в работе (Dahlin et al., 2008) тренировочное задание заключалось в воспроизведении пяти последних элементов из предъявляемой последовательности элементов. Как показывают это и другие исследования, тренировочный эффект переносится только на задания, в которых также используется обновление РП, например, на различные варианты задания n-back. Более общий результат был получен Jaeggi et al. (2008), в исследовании которых использовалось

одновременное выполнение задания n-back с адаптивной схемой изменения нагрузки. В результате тренировки, которая длилась несколько недель, было обнаружено значимое увеличение показателей цифрового объема и интеллекта. Таким образом, возможность переноса эффекта тренировки РП на выполнение других заданий связана с адаптивной схемой тренировки, а также с её высокой продолжительностью (Величковский, 2009; Klingberg et al., 2010).

Тренировка функции РП сопровождается характерными изменениями нейрофизиологического субстрата (Klingberg et al., 2010). Во-первых, изменяется активность префронтальных и теменных отделов коры, связанных с реализацией функций удержания информации различной модальности, а также с работой исполнительного компонента РП. Во-вторых, наблюдается изменение активности хвостатого ядра, связанного с отбором релевантной информации. Таким образом, тренировка РП приводит к структурным и функциональным изменениям мозговых систем, обеспечивающих её реализацию. Такие изменения могут лежать в основе переноса тренировочного эффекта на эффективность выполнения других когнитивных задач.

Ресурсы РП используются при выполнении такого вида сложной деятельности как операторская деятельность, т.е. деятельности человека по контролю за техническими системами. РП предоставляет механизмы для сохранения значений управляемых переменных, мониторинга их изменения и принятия решений на основе этих значений. РП является компонентом различных моделей когнитивной деятельности человека-оператора (Петрукович, Апчел, 2010; Fujita et al., 1995; Lee & Seong, 2009). Повышенная нагрузка на РП приводит к совершению ошибок деятельности, например, ошибки завершения, при которой человек не выполняет завершающие деятельность действия после достижения её основной цели (post-completion error, Byrne & Bovair, 1997). Использование ресурсов РП является фактором, повышающим умственную нагрузку на человека-оператора, фиксируемую с помощью субъективных и объективных показателей (Петрукович, Апчел, 2010; Sassaroli et al., 2008). Показано, что нагрузка на РП приводит к снижению уровня безопасности при управлении автомобилем, причем лица с высоким объемом РП в меньшей степени подвержены этому негативному эффекту (Ross et al., 2014). Увеличение нагрузки на РП также приводит к изменению параметров движений глаз при управлении автомобилем, что приводит к сниженному предвосхищению возникновения опасных ситуаций (Lehtonen et al., 2012). В целом, эти данные показывают, что РП используется при решении различных операторских задач, и что увеличение нагрузки на РП приводит к когнитивным и поведенческим изменениям, влияющим на качество деятельности

оператора. Влияние РП на эффективность деятельности оператора (и профессиональной деятельности в целом, Руденко, 2015) позволяют ориентироваться на функциональные возможности РП в ходе профессионального отбора и профессиональной ориентации (Тизенберг, Тизенберг, 2013).

Сложные ментальные модели, описывающие работу технических систем, имплицитно складывающиеся у операторов в ходе специализированной подготовки и последующего практического взаимодействия с управляемыми системами («концептуальные модели»), лежат в основе феномена «осознания ситуации» (situation awareness, Endsley, 1995). Осознание ситуации связано с уровнем сознательного отражения оператором поведения и состояния управляемой системы. На самых низких уровнях осознания оператор отражает лишь системные сообщения, не понимая их «смысла» – того, что они говорят о состоянии системы. На самых высоких уровнях осознания у оператора на основе сообщений системы, множества косвенных признаков и имеющейся у него концептуальной модели возникает динамическая ментальная модель текущего состояния системы. На основе этой динамической ментальной модели оператор способен не только оценить источники возможных нарушений в работе системы, но и прогнозировать динамику поведения системы в течение среднесрочной перспективы. Неудивительно, что достижение достаточно высокого уровня осознания ситуации требует привлечения ресурсов РП. Зависимость уровня осознания ситуации от объема РП показана в целом ряде исследований (Gonzalez & Wimisberg, 2007; Gutzwiller & Clegg, 2012). С увеличением профессионального опыта эта зависимость ослабевает, так как операторы с большим стажем могут опираться на готовые схемы анализа ситуаций и принятия решений, хранящиеся непосредственно в ДВП.

Целый ряд исследований показывает также, что использование механизмов РП не только характеризует деятельность оператора, но и связано с эффективным взаимодействием с интерфейсами человек-компьютер. В частности, возможности РП человека влияют на эффективность использования им мобильных компьютеров. Так, при использовании мобильных телефонов ограничения РП оказываются основным фактором, влияющим на эффективность навигации в меню (Parush & Yuvile-Gavish, 2004). Эффективность использования мобильных устройств зависит и от количества информации, отображаемой на экране, и эта зависимость опосредуется объемом РП (Sanchez & Branaghan, 2011). Эффективность использования мобильных устройств снижается с возрастом, что – при контроле опыта взаимодействия с компьютерами – отражает возрастное снижение объема РП (Ziefle & Bay, 2004). В целом, эти результаты

говорят о том, что взаимодействие человека с компьютерными интерфейсами – и стоящими за ними информационными структурами – опосредовано механизмами РП. Это является еще одним примером того, что изучение функциональной организации РП и ее структуры может иметь не только теоретическое, но и большое практическое значение.

## **2. Хранение и переработка информации в рабочей памяти**

### **2.1. Общая характеристика хранения информации в рабочей памяти**

Способность сохранять опыт прежних взаимодействий со средой является важным условием успешной адаптации к ней (Блонский, 1935; Леонтьев, 1931; Смирнов, 1966). Хотя животные также обладают этой способностью, у человека она находит свое максимальное выражение, приобретая специфические формы. Только человеку доступны различные формы произвольного и непроизвольного сохранения опыта, оказывающие огромное влияние на его способность преодолевать препятствия, возникающие на пути достижения целей (Выготский, 1960, 1982; Леонтьев, 1931; Смирнов, 1966; Середина, 1983). Накопление опыта необходимо, прежде всего, для того, чтобы сохранять успешные способы действия по достижению целей. Для этого необходимо не только фиксировать те последовательности элементарных действий, которые привели к достижению цели и, в силу этого, получили положительное подкрепление, но и выделять те характерные, повторяющиеся сочетания условий среды, при которых выполнение той или иной последовательности действий приводит к получению положительного результата. Выделение таких сочетаний условий среды требует, в первую очередь, их идентификации в потоке образов восприятия на основе процессов синтеза ощущений и анализа формирующегося в восприятии образа ситуации. Кроме того, необходимо производить сравнение выделенных сочетаний условий среды с образцами сочетания условий, воспринятых ранее. Для этого они должны сохраняться с помощью структур и процессов, обеспечивающих удержание продуктов психической деятельности в течение достаточно длительных промежутков времени, а также эффективный поиск сохраненных образцов, подходящих для сравнения с актуальной ситуацией.

Сохранение опыта взаимодействия со средой требуется и для активной ориентировки в ситуации (Запорожец, 1986; П.И. Зинченко, 1961). В этом случае речь уже идет о долговременном удержании последовательности действий, ранее оказавшихся адекватными требованиям среды. Тем не менее, при анализе воспринимаемых ситуаций возникает необходимость удерживать продукты восприятия, воображения, а также припоминания в течение времени, достаточного для их когнитивной переработки в объеме, необходимом для выделения существенных аспектов ситуации и нахождения оптимальных с точки зрения мотивов и потребностей индивида способов действия в ней. Формирование новых способов действий в отдельных ситуациях требует наличия в психике структур и процессов, обеспечивающих возможность накопления и

трансформации продуктов психической деятельности. Эти структуры и процессы должны функционировать с достаточной скоростью и быть достаточно гибкими, чтобы иметь возможность обеспечивать адекватные реакции на быстрые изменения среды. В частности, формирование новых программ действий с целью адекватного реагирования на быстро меняющуюся ситуацию требует не только возможности накопления продуктов психической деятельности, но и избавления от них в случаях, если они не соответствуют более требованиям среды. Онтогенез произвольной и произвольной памяти демонстрирует яркие примеры такой адаптивности, в частности, в аспекте её социальной обусловленности (Ляудис, 1976).

Накопление опыта взаимодействия со средой и продуктов актуальной психической деятельности, опосредующие успешное поведение в сложной, меняющейся среде, можно понимать как накопление информации. Информационный подход к изучению психики имеет достаточно богатую историю. Он заключается в рассмотрении человека как системы приема, переработки и передачи информации (Линдсей, Норман, 1974; Мещеряков, Зинченко, 2006, Broadbent, 1958). Переработка информации – в понимании теоретиков информационного подхода – заключается в выполнении отдельных этапов, на которых с информацией выполняются определенные действия, например, её перекодирование из одной формы в другую. Этапы переработки могут выполняться как последовательно, так и параллельно, образуя «сеть» связанных друг с другом функциональных блоков, реализующих различные этапы. Информация «течет» от «входных» блоков к «выходным» функциональным блокам и изменяется при попадании в отдельные блоки. С помощью подобных моделей ранее предпринимались попытки описывать простые функции человеческого познания.

Информационный подход представляет собой резко упрощенный взгляд на психику человека и является сегодня в значительной мере устаревшим. Тем не менее, концептуализация накопления прошлого и актуального опыта как накопления информации в специализированных функциональных блоках ставит ряд важных проблем, ответы на которые сохраняют актуальность независимо от теоретического статуса самого информационного подхода. В частности, представления о накоплении информации ставят проблему предельного объема информации, которая может быть сохранена, проблему длительности хранения информации, проблему частичной утери информации в ходе её сохранения и проблему помехоустойчивости сохраняемой информации. Интерес также представляют различные решения вопроса о том, в какой форме информация сохраняется, т.е. проблемы кодирования информации. Возможность давать качественные, а иногда и

количественные ответы на эти вопросы позволяет детально описывать гипотетические механизмы накопления прошлого и актуального опыта, а также сравнивать различные теории, объясняющие эту важную для адаптации способность. Следует также отметить, что информационный подход к проблеме накопления опыта позволяет проводить различные аналогии со средствами и способами накопления и трансформации информации, сложившимися в деятельности людей в ходе культурно-исторического развития.

В системе структур и процессов, обеспечивающих накопление опыта, РП выполняет функцию сохранения продуктов актуальной психической деятельности и их трансформации для обеспечения достижения текущих целей. Как система хранения и переработки информации, РП характеризуется рядом специфических особенностей. Важной особенностью РП, в частности, является ограниченность объема информации, которая может быть удержана и изменена в ней. РП также характеризуется особой спецификой кодирования содержащейся в ней информации и использованием особых «контрольных» процессов переработки информации.

Исследования ограничений объема хранящейся в РП информации имеют большую историю. Еще 1887 году английский школьный учитель Дж. Джекобс стал оценивать интеллектуальные способности своих учеников с помощью простого теста на память (Jacobs, 1887). Тест заключался в непосредственном воспроизведении последовательности цифр или букв. Максимальная длина последовательности, которую школьники могли воспроизвести безошибочно, позволяла сделать вывод об их умственных способностях в целом. Как оказалось, в среднем школьники могли воспроизвести около 9 цифр, но только около 7 букв. Кроме того, с увеличением возраста способность запоминать информацию увеличивалась – в 8 лет количество верно припомненных цифр составляло только 7 цифр, а в 19 лет – 9 цифр.

В основе исследований ограничения объема РП лежат многочисленные исследования объема КВП. В широко цитируемой работе Дж. Миллера (Миллер, 1964) пределам хранения в КВП было дано количественное выражение в виде «магического числа»  $7 \pm 2$  единицы. В этой работе Дж. Миллер показывал, что объем РП ограничен постольку, поскольку не зависит от количества информации, содержащейся в запоминаемых символах. Так, при запоминании двоичных чисел, десятичных чисел и односложных слов количество информации на символ меняется в 10 раз, а объем КВП в символ меняется всего лишь в 1,8 раз (9 символов для двоичных чисел, 8 - для десятичных

чисел, 5 – для односложных слов). Отсюда можно сделать вывод, что объем кратковременного хранения связан с длиной последовательности символов, предъявляемых для запоминания, и в гораздо меньшей степени зависит от количества содержащейся в этой последовательности информации. На основе этого наблюдения возникает представление об элементах, единицах или «кусках» (англ. chunks) информации – отдельных, не связанных друг с другом символах с определенной информационной нагрузкой, которые являются предметом кратковременного запоминания.

Независимость объема кратковременного хранения от количества информации позволило Дж. Миллеру сделать предположение о том, что ограничения объема хранения вызваны структурными ограничениями. Система кратковременного хранения понималась как состоящая из небольшого количества отдельных регистров. Каждый регистр может удерживать один элемент информации. Если необходимо запомнить новый элемент информации, а все регистры уже заняты, то с необходимостью новый элемент информации «вытесняет» один из элементов, загруженных в систему кратковременного хранения ранее. При такой структурной организации КВП важную роль начинают играть процессы кодирования – для обеспечения удержания больших объемов информации требуется использовать элементы («куски») с высокой информационной нагрузкой. Примером такого подхода является процесс «укрупнения» - ассоциативного объединения нескольких единиц информации в один элемент, который в КВП будет занимать только один регистр.

Указанные Дж. Миллером пределы объема кратковременного хранения являются дискуссионными. Результаты многочисленных исследований пределов объема КВП были систематизированы Н. Коуэном (Cowan, 2001). В этой работе приведены четыре класса свидетельств существования фиксированного объема хранения информации на коротких интервалах времени. Демонстрация существования фиксированного объема хранения зависит от того, в какой мере использованные эмпирические процедуры позволяют контролировать эффекты побочных переменных, действие которых может привести к искусственному увеличению оценок объема хранения.

Оценки объема кратковременного хранения могут быть получены, во-первых, с помощью метода информационной перегрузки испытуемого. При этом предъявляется значительное количество стимульного материала, для которого испытуемый будет не в состоянии использовать сознательные мнемические стратегии, позволяющие увеличить количество сохраненного материала. Этот метод реализуется, в частности, в методике

частичного отчета Р. Сперлинга, а также в методике, при которой необходимо воспроизводить списки элементов, от которых на этапе предъявления отвлекалось внимание (Cowan, 1999). Во всех этих случаях полученные объемы хранения составляли 3-4 элемента, причем объем хранения не зависел от устанавливаемого в пилотажных экспериментах объема КВП.

Вторым методом установления пределов объема кратковременного хранения по Н. Коуэну является лишение испытуемых возможности использовать повторение – проговаривание подлежащих запоминанию элементов в целях повышения прочности их мнемического следа. С этой целью может использоваться методика подавления артикуляции, затрудняющая применение внутренней и внешней речи с целью повторения. Альтернативным способом является предъявление для запоминания устойчивых выражений, которые, хотя и воспринимаются как единица информации, но слишком длинны для того, чтобы их можно было бы повторять. С помощью обоих методов получены оценки объема кратковременного хранения в пределах от 3 до 5 элементов (Waugh & Norman, 1965, Jones et al., 1995).

Третьим методом установления пределов объема кратковременного хранения является поиск изменений функциональной зависимости эффективности решения мнемических задач от количества подлежащих кратковременному удержанию элементов. Такие изменения наблюдаются для точности непосредственного воспроизведения, скорости реагирования при подсчете стимулов, негативного эффекта проактивной интерференции и эффективности решения задачи слежения за движущимися объектами. В частности, при непосредственном воспроизведении точность воспроизведения при удержании списков длиной до 3-4 элементов является плоской функцией от длины списка (при этом воспроизведение является практически безошибочным). Другим примером использования этого метода является демонстрация того, что при манипуляции уровнем проактивной интерференции её эффект проявляется только при кратковременном удержании списков длиной более 4 элементов (Halford et al., 1988; Trick & Pylyshin, 1994).

Четвертый метод определения объема кратковременного хранения заключается в наблюдении за косвенными эффектами возможных ограничений этого объема. Одним из таких эффектов является эффект образования кластеров при извлечении информации из ДВП. При воспроизведении информации из ДВП она припоминается кластерами, обычно размером от 2 до 4 элементов, причем после воспроизведения одного кластера в ответах испытуемых наступает пауза. Подобные результаты получают и при воспроизведении

элементов, относящихся к различным семантическим категориям. При этом обычно воспроизводится около 5 категорий, причем только категории с не более чем 4 элементами воспроизводятся безошибочно. В основе эффектов кластеризации при воспроизведении информации из ДВП может лежать такой механизм извлечения, при котором в результате осуществления успешного поиска в ДВП обнаруженная информация заполняет систему кратковременного хранения небольшого (4-5 элементов) объема (Mandler, 1967; Ericsson & Kintsch, 1995).

Другими примерами косвенных эффектов ограничений объема кратковременного хранения являются эффект неопределенности позиции при воспроизведении, эффекты, возникающие при имплицитном научении, эффекты влияния ограничений объема кратковременного хранения на выполнение зрительного поиска и др. Эффект неопределенности позиции заключается в том, что при последовательном воспроизведении элемент всегда воспроизводится в пределах трех позиций по отношению к своей исходной позиции. Этот эффект может быть связан с существованием четырехэлементного предела объема кратковременного хранения, который накладывает соответствующие ограничения на то, позиции каких элементы могут быть ложно ассоциированы друг с другом (Nairne, 1991).

Эффекты объема кратковременного хранения, возникающие в ходе имплицитного научения, заключаются в невозможности использования информации более чем из 3-4 предыдущих проб для повышения эффективности ответа в текущей пробе, даже если такое использование возможно согласно имплицитным правилам, которым подчиняется выполнение задачи. Этот эффект показывает, что имплицитная интеграция информации и обнаружение закономерностей невозможно, если количество подлежащей переработке информации превышает 3-4 единицы. Влияние ограничений объема кратковременного хранения на выполнение зрительного поиска состоит в том, что при достаточно быстром предъявлении зрительных массивов для поиска в них целевого элемента используется ограниченное количество «каналов сравнения», т.е. структурных элементов, позволяющих произвести сравнение одного из предъявляемых стимулов с соответствующим целевому стимулу эталоном. Методами математического моделирования показано, что оптимальное соответствие экспериментальным данным достигается тогда, когда количество каналов сравнения полагается равным 4 (Brady et al., 2011).

Характерным примером ограничений объема кратковременного хранения и возможного варьирования количества оперативно удерживаемой информации является

исследование объектного принципа хранения информации в зрительной РП (Luck & Vogel, 1997). В серии экспериментов авторы показали, что эффективность кратковременного удержания множества цветных фигур максимальна при размере множества от 1 до 3 и снижается при размере множества, равного 4 и более элементам. Этот эффект не зависел от манипуляции факторами, влияющими на перцептивную обработку и на процессы принятия решения, т.е. может быть связан именно с ограничениями способности к хранению информации. Также было обнаружено, что при использовании объектов, различающихся по нескольким измерениям, предел эффективного хранения остается равным 4 элементам, даже если при этом необходимо удерживать значительно большее количество отдельных признаков.

Приведенные результаты свидетельствуют о том, что хранение информации на коротких интервалах времени действительно существенно ограничено по объему. При этом данные ограничения представляются более строгими, чем указанное Д. Миллером «магическое число». Описанные выше результаты говорят о том, что при исключении возможности использования разного рода компенсирующих стратегий объем кратковременного хранения ограничен примерно 4 элементами, а его наиболее типичные индивидуальные колебания составляют 3-5 элементов.

Помимо вопроса о структурных и функциональных ограничениях объема РП, важной проблемой при описании её функционирования является проблема того, с помощью каких кодов осуществляется хранение информации в РП. Кодирование информации в РП имеет определенные особенности. Во-первых, информация может быть представлена в РП в фонетической форме (Conrad, 1964). Фонетическая форма кодирования информации долгое время считалась основной формой кодирования в КВП. Именно форма кодирования отличала КВП от ДВП, в которой предполагалось использование семантической формы кодирования. Для обоснования тезиса о фонетическом кодировании информации в КВП – и, как следствие, в вербальной РП – используется эффект акустической ошибки (acoustic confusion effect, Conrad, 1964). Эффект заключается в том, что при воспроизведении вербальной информации (согласных звуков) из КВП и РП испытуемые делают ошибки, смешивая похожие по звучанию звуки, но не смешивая соответствующие им буквы, похожи по написанию. При воспроизведении информации из КВП и РП также наблюдается и более общий эффект – эффект фонетического сходства, т.е. эффект ухудшенного воспроизведения списков фонетически похожих слов. Эти эффекты говорят о том, что при хранении информации в вербальной

РП на основе механизма фонологической петли используется фонетическая форма кодирования материала (Baddeley et al., 1984; Caplan & Waters, 1994).

Кодирование в РП может принимать форму зрительно-пространственных образов. Уже в работах М. Познера (Posner, 1969) было показано, что идентификация сходства двух полностью совпадающих букв осуществляется значительно быстрее, чем идентификация сходства двух букв, совпадающих по звучанию, но различающихся по начертанию. Различие во времени идентификации сохраняется при межстимульном интервале, превышающем 1 с, т.е. речь идет о различиях, связанных с процессами КВП или РП, а не сенсорной памяти. Возникновение такого различия времени идентификации может быть связано с тем, что при полном совпадении букв их сравнение осуществляется на основе зрительных кодов.

Использование зрительно-пространственных кодов в КВП и РП было показано и в других исследованиях. Так, Pearson et al. (1999) обнаружили, что люди успешно выполняют задание на конструирование образов объектов на основе вербальных описаний, причем выполнение этого задания нарушается при наличии дополнительной пространственной задачи, но не зависит от наличия вербальной дополнительной задачи. Возможность формирования зрительного образа, отражающего информацию, содержащуюся в наборе предложений, облегчает их кратковременное удержание (Brooks, 1967). Формирование зрительного образа, со своей стороны, препятствует выполнению пространственной задачи (Baddeley et al., 1973). Таким образом, в контексте выполнения заданий на РП может осуществляться сохранение и манипуляция зрительно-пространственной информации на основе механизмов, отличных от механизмов, необходимых для оперативного удержания вербальной информации.

Хотя выше говорилось о том, что в РП возможно удержание информации в зрительно-пространственных кодах, в реальности вероятно использование отдельных систем и механизмов для удержания зрительной и пространственной информации. Такое различие зрительных и пространственных кодов обосновывается наличием в системе зрительного восприятия двух подсистем – системы восприятия целостных объектов (система «что») и системы восприятия пространственных отношений (система «где») (Mishkin & Ungerleider, 1982). Так, выполнение задания «кубики Корси», нагружающего пространственную РП и не требующего сохранения идентичности объектов, обнаруживает специфическую чувствительность к необходимости одновременно выполнять дополнительную пространственную задачу. Однако выполнение задания на

определение объема образцов (pattern span), нагружающего зрительную РП, обнаруживает специфическую чувствительность к зрительной дополнительной задаче, связанной с трансформацией или удержанием целостных зрительных объектов (Della Sala et al., 1999). Эти результаты свидетельствуют о том, что хранение информации в РП может осуществляться отдельно для информации, представленной в зрительной и пространственной форме. Раздельное кодирование зрительной и пространственной информации подтверждается существованием нейропсихологических пациентов с селективными нарушениями только одной из этих двух форм кодирования в РП (Баддли и др., 2011).

Кодирование в РП может осуществляться и в форме семантических категорий. Еще в 1970-х гг. было показано, что при решении задачи поиска в памяти с использованием списка слов испытуемые дают положительный ответ не только при использовании целевого слова, совпадающего с одним из слов в предъявленном для запоминания списке. Положительный ответ также может быть получен при использовании целевого слова, являющегося синонимом одного из слов в предъявленном списке (Shulman, 1972). Таким образом, идентификация целевого слова в списке осуществляется на основе семантического, а не фонетического сходства. Хотя эти результаты противоречат эффекту фонетического сходства, характеризующего работу вербальной РП, они показывают, что при хранении информации в РП может использоваться её кодирование в семантической форме. В целом, имеющиеся сегодня результаты говорят о возможности использования различных форм кодирования информации при реализации функций РП: фонетической, зрительной, пространственной, логико-семантической.

Открытым остается вопрос о том, является ли это перечень исчерпывающим или же в РП существуют и другие возможные формы представления информации. Так, РП может использоваться для оперативного удержания информации, поступающей в тактильной модальности (Cohen et al., 2011). Как оказалось, способность удерживать и обрабатывать «тактильные образы» вибраций на фоне вибраций-дистракторов зависит от нагрузки на РП, т.е. РП используется и для оперативной переработки тактильной информации (Dalton et al., 2009). Конечно, эти результаты не позволяют утверждать, что для удержания тактильной информации в РП применяется уникальная форма тактильного кодирования. Для тактильной информации может осуществляться перекодирование в другую форму - например, в фонетическую или в пространственную. Однако в исследовании (Cohen et al., 2011) было показано, что способность к селективному удержанию тактильной стимуляции выражена сильнее у слепых людей, чем у зрячих.

Таким образом, эффективность использования тактильной информации в РП зависит от сенсорно-перцептивного опыта, что является косвенным подтверждением использования уникальных форм кодирования для информации, первоначально представленной в разных модальностях. В целом, эти результаты говорят, во-первых, о мультисенсорном характере хранения информации в РП и, во-вторых, о гибкой зависимости формы хранения информации в РП от структуры опыта индивида.

## **2.2. Переработка информации в рабочей памяти**

Центральным понятием информационного подхода и когнитивной психологии является понятие переработки информации (Бочарова, 1979; Миллер и др., 1965; Невельский, 1965; Линдсей, Норман, 1974; Broadbent, 1958; Greenwood, 1999). Под переработкой информации понимаются все операции, которые приводят к изменению информации или её статуса (например, изменяют систему, в которой хранится информация). Переработка информации может быть описана рядом свойств и особенностей. В первую очередь, переработка информации характеризуется своей скоростью. Скорость переработки – это гипотетический конструкт, первоначально призванный объяснять индивидуальные различия в интеллектуальных способностях (Galton, 1883; Neubauer, 1997). Высокая скорость переработки означает возможность выполнения большего количества умственных операций в определенном интервале времени, что связано с возможностью решения более сложных умственных задач. Измерение скорости переработки представляет существенные методические трудности, однако сегодня существует ряд тестовых заданий, используемых с этой целью (Kail & Salthouse, 1994).

Зависимость между скоростью переработки и эффективностью решения интеллектуально-сложных задач возникает, например, потому, что при высокой скорости переработки реже происходит потеря промежуточных результатов вычислений, которые угасают прежде, чем они могут быть использованы. В целом следует отметить, что снижение скорости переработки как базового фактора эффективности интеллектуальной деятельности приводит к возникновению осложнений при выполнении разных видов деятельности. Например, сложности при чтении у детей с СДВГ могут быть связаны с уменьшением скорости переработки (Jacobson et al., 2011). Хорошо известны исследования, показывающие, что с возрастом наблюдается снижение скорости переработки и что снижение скорости переработки, возможно, является фактором, обуславливающим непатологическое ухудшение эффективности решения различных

когнитивных задач в пожилом возрасте (Kail & Salthouse, 1994). При этом скорость переработки может пониматься как коррелят общей способности к решению задач, требующих ментального усилия.

Согласно традиционным представлениям, переработка информации при решении задач осуществляется поэтапно (Линдсей, Норман, 1974; Donders, 1868; Sternberg, 1969). Например, для реакции выбора типичным является выделение этапов восприятия стимула, выбора ответа и реализации ответа. Специфика отдельных этапов переработки обуславливается применением определенных видов ментальных операций к определенным видам информации. Этапы могут выделяться на основе логических рассуждений, которые подтверждаются с помощью эмпирических методов – метода вычитания и метода аддитивных факторов (Sternberg, 1969). Выделение этапов когнитивной переработки информации позволяет представить её в виде каскада функциональных элементов, которые приводят к трансформации информации в соответствии с закономерностями своей работы таким образом, чтобы обеспечить выбор оптимальной реакции в ответ на наступление определенных стимульных условий.

Значительное количество исследований было посвящено вопросу о параллельности или последовательности реализации этапов переработки информации (Broadbent, 1958; Sternberg, 1969; Pashler, 1994). Параллельность переработки означает возможность одновременного и независимого выполнения отдельных этапов переработки, а последовательность – необходимость их выполнения в определенном временном порядке. При этом параллельность переработки не определяется параллельным характером организации связей головного мозга человека, так как подобная параллельная архитектура может реализовывать и полностью последовательную организацию психологических блоков переработки. Параллельно или последовательно могут выполняться как различные этапы решения одной задачи, так и различные этапы решения различных задач. В последнем случае вопрос о параллельном или последовательном характере переработки становится тесно связанным с вопросом о том, в какой степени для человека возможно успешное совмещение выполнения двух (и более) задач (Pashler, 1994). Отсутствие интерференции между задачами означает, что составляющие выполнение задачи этапы переработки могут осуществляться параллельно. Наличие интерференции между задачами означает существование этапов переработки, которые должны осуществляться последовательно.

Традиционной методикой изучения соотношения параллельных и последовательных компонентов переработки является измерение психологического рефрактерного периода (Pashler, 1994). Эффект заключается в замедлении времени реакции на второй из двух последовательно предъявленных стимулов. Исследования этого эффекта показывают возможность существования структурных ограничений одновременной переработки информации на «центральных» этапах переработки, связанных с выбором адекватной стимуляции моторного ответа. При этом этапы перцептивной переработки, а также этапы реализации выбранного моторного ответа не связаны с существованием структурных ограничений. Различия между центральными и перцептивно-моторными компонентами проявляются, например, в том, что увеличение количества альтернатив ответа увеличивает время реакции на оба стимула (но только для коротких межстимульных интервалов), а увеличение сложности распознавания стимулов не приводит к увеличению времени реакции на второй стимул. Таким образом, воздействие, селективно влияющее на центральные этапы переработки, приводит к замедлению выполнения второй задачи в целом, в воздействие, селективно влияющее на перцептивные этапы переработки, не приводит к такому замедлению. Это связано с тем, что как перцептивные, так и моторные этапы выполнения одной задачи могут осуществляться параллельно с принятием решения в другой задаче.

В когнитивной науке распространено предположение, что переработка информации заключается в применении к ней трансформаций, которые могут быть представлены как последовательности элементарных операций (Sackur & Dahanne, 2009). Открытым остается вопрос о конкретном содержании этих элементарных операций, в частности, таких, которые могли бы применяться к информации, содержащейся в РП. Одним из направлений исследований, в контексте которых описываются различные элементарные операции, является создание когнитивных архитектур – вычислительных систем моделирования познавательной деятельности человека на основе функционального объединения блоков, соответствующих гипотетическим блокам системы переработки информации у человека (Anderson, 1983; Langley et al., 2009). В частности, в одной из подобных систем – системе EPIC (Kieras & Meyer, 1997) – все многообразие познавательной активности представляется с помощью крайне ограниченного набора элементарных сенсорных и моторных операций, операции загрузки информации из ДВП в РП, и обобщенного ментального оператора, отражающего мыслительную активность в целом. Такой ограниченный набор элементарных операций делает невозможным

моделирование сложной когнитивной деятельности, однако позволяет получить количественные оценки времени выполнения простых когнитивных задач.

При изучении содержания процессов переработки информации в РП проводится различие между собственно процессами переработки информации, и контрольными процессами управления содержимым РП (Atkinson & Shiffrin, 1968; Baddeley, 1986; Lara & Wallis, 2014). Например, к процессам переработки информации, связанным со спецификой выполнения конкретной задачи, относится применение арифметических операций к удерживаемым в РП значениям переменных. Необходимость в такой переработке возникает при выполнении различных заданий на обновление РП, в частности, задания на обновление «ментальных счетчиков» (Larson et al., 1988). Область применения контрольных процессов, в отличие от частных процессов переработки, не ограничена выполнением конкретной задачи. Такими процессами является, например, процессы повторения или разнообразные процессы перекодирования информации, которые позволяют повысить эффективность хранения информации в РП.

С. Стернберг (Sternberg, 1969) исследовал переработку информации в РП на примере процессов поиска и сравнения информации. Было показано, что при необходимости обнаружить, содержится ли тестовый стимул в предъявленном ранее наборе стимулов, осуществляется параллельное сравнение тестового стимула с каждым стимулом предъявленного набора. Организованные таким образом процессы поиска и сопоставления информации в РП позволяют осуществлять скоростное определение наличия повторения некоторых событий на коротких промежутках времени, которое лежит в основе установления закономерностей в возникновении этих событий. Также показано, что в состоянии утомления, связанного с истощением ресурсов сознательного контроля процессов когнитивной переработки, при осуществлении поиска в памяти испытуемые переходят к использованию менее эффективной стратегии последовательного самооканчивающегося описки в РП (Зинченко, Леонова, Стрелков, 1977).

Н. Лави с коллегами (Lavie et al., 2004) было показано, что переработка информации в РП влияет на эффективность переработки в области селективного внимания. В серии экспериментов, проведенных этими авторами, осуществлялась манипуляция нагрузкой на РП путем предъявления набора цифр для запоминания размером одна (низкая нагрузка) или шесть (высокая нагрузка) цифр с последующим установлением принадлежности целевой цифры к набору. Увеличение нагрузки на РП приводило к изменению эффективности переработки целевых символов и дистракторов в

ряде заданий на селективное внимание. В частности, в одном из экспериментальных заданий испытуемому необходимо было определять идентичность букв на фоне одновременного предъявления букв-дистракторов. Дистракторы могли совпадать по звучанию с целевой буквой (совместимые дистракторы), но могли и не совпадать с ней (несовместимые дистракторы). Был обнаружен не только стандартный эффект совместимости, выражающийся в увеличенном времени реакции при предъявлении несовместимых дистракторов, но и взаимодействие факторов нагрузки на РП и совместимости дистракторов. Оно проявилось в том, что эффект совместимости становится более выраженным при увеличенной нагрузке на РП. При этом увеличение перцептивной нагрузки посредством увеличения числа дистракторов приводило к снижению величины эффекта совместимости. Полученные результаты говорят о том, что на переработку зрительной информации оказывают влияние не только пассивные механизмы защиты восприятия от перегрузки (связанные с превышением функциональных возможностей системы восприятия), так и активные механизмы, в которых важную роль играет РП (Lavie et al., 2004).

Представления о переработке информации в РП хорошо согласуются с представлениями об обусловленности высокоуровневых форм познавательной деятельности работой единого «процессора» с ограниченной пропускной способностью (Broadbent, 1958; Kahneman, 1973). РП может представлять собой оперативную память такого процессора, а с учетом вхождения в состав РП управляющей системы, реализующей функции контроля внимания и содержимого РП, она может представлять собой реализацию такого процессора. В этом случае ограничения системы переработки информации – например, ограничения пропускной способности – могут быть объяснены структурными и функциональными ограничениями переработки информации в РП (Engle et al., 2002; Cowen, 2010).

Процессы переработки могут быть как автоматическими, так и контролируруемыми (Posner & Snyder, 1975). Критериями автоматической переработки являются активация сенсорной стимуляцией (а не намерениями), отсутствие осознания, а также отсутствие требований к ресурсам центрального процессора ограниченной пропускной способности (Bargh, 2005). Отмечается, что различие автоматических и сознательно контролируемых процессов не следует рассматривать как строгую дихотомию, так как многие процессы переработки в отношении одних критериев могут представляться автоматическими, а в отношении других критериев – контролируемыми (Goschke, 2008). В частности, автоматические процессы переработки могут модулироваться сознательными

намерениями (Bargh, 2005). В целом переработка информации в РП может определяться сложными взаимодействиями контролируемых и автоматических процессов (Cowan, 1999).

Примером детального изучения процессов переработки информации в РП является изучение механизмов выполнения заданий на обновление РП (Botto et al., 2014; Moris & Jones, 1990; Palladino & Jarrod, 2008). В заданиях этого типа кратковременно хранящаяся информация подвергается изменениям в течение времени, отведенного на её хранение. Например, в т.н. задании «бегущей памяти» (running memory task) испытуемому предъявляется последовательность элементов, которая внезапно прерывается требованием к испытуемому дать отчет о последних  $n$  элементах последовательности. В этом задании испытуемые должны поддерживать в РП репрезентации  $n$  последних элементов. Можно предположить, что для достижения этой цели при выполнении заданий могут использоваться следующие дискретные ментальные операции: кодирование элементов в РП, удаление элементов из РП, позиционирование (соотнесение элемента с новым положением в последовательности), сохранение и повторение. Испытуемые применяют эти операции в составе активной стратегии, заключающейся в постоянном мониторинге предъявления новых элементов последовательности и обновлении списка из последних  $n$  элементов. Однако испытуемые могут использовать и пассивную стратегию решения задачи, заключающуюся в обращении к кратковременному хранилищу для извлечения элементов, попавших туда недавно. В зависимости от используемой стратегии при воспроизведении элементов наблюдаются различия в позиционных кривых. В частности, при использовании пассивной стратегии в позиционных кривых наблюдается только эффект недавности, но отсутствует эффект первичности (Botto et al., 2014).

В исследовании М. Ботто и др. (Botto et al., 2014) испытуемые выполняли вариант задания «бегущей памяти», в котором им предъявлялись последовательности слов, и они должны были по неожиданно поступающему сигналу отчитаться о нескольких последних словах последовательности. В этом эксперименте варьировалась нагрузка на РП, так как испытуемые должны были отчитываться либо о трех, либо о пяти последних словах последовательности. Кроме того, мнестическая задача выполнялась либо изолированно, либо сочеталась с выполнением задания на проспективную память. Было обнаружено, что сочетание высокой нагрузки на РП (пять сохраняемых элементов) и высокой нагрузки на систему исполнительного контроля поведения (выполнение задания с использованием проспективной памяти) в позиционных кривых обнаруживается только эффект недавности. Таким образом, отвлечение когнитивных ресурсов на выполнение

дополнительной задачи, а также на хранение значительного объема информации в РП затрудняет процессы активного обновления информации в РП и приводит к использованию пассивной стратегии выполнения задания – считывания предъявленных недавно элементов из кратковременного хранилища. Таким образом, в рамках ресурсного подхода полученные результаты свидетельствуют о том, что процессы переработки информации в РП зависят от наличия свободных ресурсов, которые могут быть использованы для формирования и реализации оптимальной стратегии переработки на основе ментальных операций, применение которых возможно по отношению к содержимому РП. Недостаток ресурсов, связанный с увеличением нагрузки на систему хранения информации или на систему контроля за когнитивными процессами в целом, приводит к невозможности использования всего репертуара ментальных операций и формированию новых стратегий, учитывающих имеющиеся ресурсные ограничения.

Проблема переработки информации в РП может ставиться не только в отношении относительно элементарных заданий, требующих манипулирования атомарными элементами информации, как делается в приведенном только что исследовании. Важным аспектом изучения переработки информации в РП является изучение стратегий и механизмов переработки комплексной информации, необходимость в которой возникает при решении реалистичных, экологически валидных задач. Например, в исследовании Г.В. Репкиной (1965) изучалось формирование оперативных единиц памяти в РП. Оперативные единицы памяти – это содержащиеся в оперативной памяти (функционально тождественной РП) структурированные элементы информации, которые с разной степенью и глубиной отражают объекты, используемые при решении задачи. Проведенные эксперименты показали, что испытуемые формируют оперативные единицы разной степени адекватности условиям имеющейся задачи. Оперативные единицы могут отражать изолированные характеристики объектов, объединение ряда параметров объектов в целостную характеристику, или же объединения объектов, связанных общим признаком. Использование интегрированных оперативных единиц приводило к увеличению объема перерабатываемой информации и к повышению точности переработки. Увеличение степени интеграции используемых оперативных единиц зависит от использования таких механизмов, как связывание признаков в целостные репрезентации, осмысление материала относительно целей и задач деятельности, а также перекодирования информации с учетом знаний, содержащихся в семантической долговременной памяти (Baddely, 1986; Ericsson & Kintsch, 1995; Luck & Vogel, 1997).

Проблема переработки сложной информации в РП при решении реалистичных задач поднимается также в т.н. теории когнитивной нагрузки (Sweller et al., 1998), опирающейся на представления об архитектуре когнитивных процессов как состоящей из ресурсно-ограниченной РП (включающей вербально-акустический, зрительно-пространственный и исполнительный компонент) и практически неограниченной ДВП. Согласно этой теории, обучение заключается в создании и автоматизации когнитивных схем на основе укрупнения единиц информации в РП. Впоследствии автоматизированные схемы могут использоваться для решения задач без участия РП. В силу такой динамики, эффективность различных форм обучения зависит от уровня нагрузки на когнитивные процессы обучающегося (когнитивной нагрузки), возникающей в процессе обучения. Эффективность обучения снижается, если уровень когнитивной нагрузки превышает ограниченные возможности РП.

Теория когнитивной нагрузки предполагает, что связанная с обучением нагрузка состоит из трех компонентов: внутренней нагрузки (обусловлена взаимодействием преподаваемого материала и уровня подготовки обучающегося), внешней нагрузки (избыточная когнитивная нагрузка, обусловленная неэффективной организацией обучения) и истинной нагрузки (обусловлена реализацией процессов создания схем в РП). Последние два вида нагрузки находятся под контролем автора программы обучения и могут быть снижены с целью повышения эффективности обучения. С этой целью при создании программ обучения могут использоваться различные приемы, снижающие нагрузку на РП. Например, замена обычных задач, требующих полного решения со стороны обучающегося, частично решенными задачами, требующими дополнения учащимся частично готового решения, позволяет снизить внешнюю нагрузку за счет снижения размера проблемного пространства и фокусировки внимания на верных шагах решения. Исследования показывают, что вследствие применения этого и других приемов достигается более высокие показатели успешности обучения.

Такое повышение показателей успешности обучения связано со снижением нагрузки на РП за счет повышения эффективности переработки информации в РП. Это подтверждается не только объективными данными об эффективности обучения, но и результатами измерения показателей ментального усилия, прилагаемого обучающимися в ходе обучения (Sweller et al., 1998). С этой целью используются различные методики, например, основанные на субъективных оценках уровня когнитивной нагрузки и ментального усилия, а также основанные на использовании методики дополнительной задачи. Уровень когнитивной нагрузки и ментального усилия, прилагаемого

обучающимся в ходе процесса обучения для конструкции новых когнитивных схем, может быть также оценен с помощью измерения размера зрачка (Paas et al., 2003). Этот показатель является высокочувствительным показателем уровня нагрузки на РП (Канеман, 2006; Величковский и Морозов, 2012). Таким образом, в контексте теории когнитивной нагрузки проведены систематически исследования (Paas et al., 2003; Sweller et al., 1998) эффективности различных интервенций, направленных на снижение нагрузки на РП при трансформации преподаваемого материала в форму схематизированного знания, пригодного для «автоматического» использования при решении новых задач. При этом показано, что эффективность обучения действительно связана со сложностью переработки комплексной информации в РП в силу возникающей при этом нагрузки на ограниченные функциональные возможности РП. Собранные в контексте теории когнитивной нагрузки свидетельства подтверждают, что в РП осуществляется переработка разнообразной информации, причем сама РП представляет собой возможную модель того структурного элемента когнитивной архитектуры, который накладывает ограничения на количество и скорость переработки информации человеком.

### **2.3. Взаимодействие систем хранения в рабочей памяти**

Рассмотрение основных принципов хранения и переработки информации в РП, проведенное выше, не может быть полным без учета процессов взаимодействия РП и двух других систем хранения информации – КВП и ДВП. Центральным процессом, обеспечивающим взаимодействие РП и ДВП, является процесс извлечения информации. Извлечение связано с поиском информации в ДВП и активацией в РП информации, соответствующей критериям поиска. Эффективное извлечение информации из ДВП является предпосылкой успешного решения различных задач, требующих использования сохраненной ранее информации.

Участие ресурсов и механизмов РП в извлечении информации из ДВП имеет различные аспекты. С одной стороны, к РП относятся кратковременные хранилища, в которых извлеченная информация может храниться в активированном виде и быть доступной для оперативного использования. С другой стороны, РП используется для реализации стратегий извлечения информации из ДВП. Реализация стратегий извлечения информации может заключаться в формировании плана поиска, удержании и обновлении критериев поиска, сохранения промежуточных результатов поиска, отслеживании прогресса поиска, а также в обновлении планов и критериев поиска при необходимости. Таким образом, эффективность функционирования РП может быть связана с эффективностью процессов извлечения из ДВП.

Закономерное увеличение эффективности извлечения из ДВП при увеличении эффективности РП прослеживается в ряде феноменов. Барруиллэ и Лепин (Barrouillet & Lepine, 2005) рассмотрели проблему использования хранящихся в ДВП арифметических фактов в процессе решения арифметических задач. На материале решения простых арифметических примеров младшими школьниками было показано, что школьники с большим объемом РП чаще использовали стратегию прямого извлечения результатов из памяти. Школьники со сниженным объемом РП чаще пользовались алгоритмическими способами получения результата (подсчетами). Кроме того, для школьников с большим объемом РП была характерна увеличенная скорость извлечения арифметических фактов из ДВП. Эти результаты совместимы с предположением о том, что школьники с большим объемом РП располагают лучше организованной семантической памятью на арифметические факты (Barrouillet & Lepine, 2005; Gathercole & Alloway, 2008). Кроме того, эти результаты свидетельствуют о том, что большой объем РП связан с увеличенной способностью активировать информацию в ДВП, вероятно, в силу более развитых при высоком уровне функционального развития РП процессов произвольного контроля внимания (Kane et al., 2001; Engle, Kane & Tuchsolski., 1999; Engle, 2002).

О зависимости извлечения информации из ДВП от механизмов РП также свидетельствуют эксперименты Р. Андерсона с сотрудниками (Anderson et al., 1996). В одном из проведенных этими авторами экспериментов испытуемые решали алгебраические уравнения, одновременно удерживая в памяти набор от двух до шести однозначных чисел. При этом часть этих чисел использовалась в качестве значения аргументов в решаемых уравнениях, т.е. должна была извлекаться из РП с целью последующего использования. Кроме того, для решения уравнений необходимо было извлекать арифметические факты из ДВП. Было обнаружено, что решение уравнений замедляется и становится менее точным при увеличении размера удерживаемого в РП набора чисел, причем особенно – если условия экспериментального задания требовали подстановки значений аргументов в уравнения из чисел, удерживаемых в РП. Таким образом, извлечение информации из ДВП и РП зависит от нагрузки на РП. Авторы связывают эту зависимость с необходимостью разделения конечного ресурса – «активации» - между задачами хранения набора чисел, решения уравнений и реализацией процессов извлечения информации.

В исследовании негативного эффекта частичного извлечения (Baumle & Schlichting, 2014) было показано, что он возникает только для коротких интервалов удержания и только при относительно постоянном контексте, в котором осуществляется припоминание материала. Для продолжительных интервалов удержания, которые характеризуются

высокой вероятностью изменения контекста запоминания и припоминания, направление этого эффекта изменяется, вследствие чего частичное извлечение информации оказывает положительное влияние на припоминание информации в целом. Лежащий в основе этого явления механизм заключается, по мнению авторов, в том, что частичное извлечение приводит к реактивации контекста запоминания, повышая качество припоминания. Так как хранение активированной репрезентации контекста может осуществляться с привлечением особого компонента РП – активированной части ДВП – то активация контекста в РП является одними из возможных механизмов влияния РП на эффективность извлечения.

В исследовании (Skinner & Fernandes, 2008) было обнаружено, что распределение внимания на этапе извлечения информации из ДВП увеличивает количество ложных припоминаний. При этом оценки чувства знакомства предъявленных для опознания стимулов оказываются чувствительными к наличию только такого интерферирующего задания, содержание которого совпадает с содержанием удерживаемого в памяти материала. Таким образом, эффективность извлечения из ДВП определяется процессами произвольного внимания, оперирующими на реактивированных в ходе извлечения когнитивных репрезентациях.

В исследовании (Radvansky & Copeland, 2006) представлены свидетельства того, что объем РП влияет на эффективность извлечения информации из ДВП, особенно в условиях наличия интерференции. При этом влияние объема РП на эффективность извлечения опосредовано ролью РП в конструировании ментальных моделей, характеризующих содержание запоминаемого материала. Использование таких моделей лежит в основе высокоэффективного припоминания информации, сохраненной в ДВП. Следовательно, полученные в этом исследовании результаты говорят о возможном непрямом эффекте РП на извлечение - влияние РП на извлечение может осуществляться на этапе кодирования информации, а не собственно на этапе извлечения.

В исследовании (Conway & Engle, 1994) отмечается, что индивидуальные различия в объеме РП оказывают влияние на извлечение информации, но только для первичной памяти и только при необходимости контролировать интерференцию. При этом показывается, что эффективность извлечения информации из первичной памяти зависит от нагрузки на РП, т.е. от количества удерживаемых в РП элементов. Этот результат согласуется с результатами Р. Андерсона с сотрудниками (Anderson et al., 1996), приведенными выше. Авторы делают вывод о том, что РП играет роль в требующем сознательного усилия, контролируемом поиске информации в памяти. Роль РП при извлечении информации из ДВП, которое в значительной мере опирается на

автоматическую активацию удовлетворяющих критериям поиска репрезентаций, в этом исследовании осталась недоказанной.

Исследование влияния активации ассоциативных связей при тестировании ДВП (Dewhurst et al., 2009) с помощью DRM-процедуры (Roediger & McDermott, 1995) показало, что ложные опознания стимулов, которые в действительности ранее не предъявлялись, зависит от экспериментальных манипуляций, приводящих к генерации на этапе запоминания репрезентаций, семантически ассоциированных с предъявляемыми элементами. С другой стороны, экспериментальные манипуляции, приводящие к генерации семантически ассоциированных представлений на этапе опознания, не влияют на его качество. Таким образом, процессы извлечения сопровождаются подавлением семантической интерференции с использованием механизмов произвольного внимания, предположительно связанных с исполнительным компонентом РП.

Показанная выше роль РП в извлечении информации из эпизодической ДВП дополняется тем, что РП может играть важную роль также в извлечении информации из семантической ДВП. С целью демонстрации этой функции РП могут быть использованы задания на категориальную беглость, заключающиеся в ограниченном по времени припоминании экземпляров некоторых четко определенных семантических категорий (Rosen & Engle, 1997; Schelble et al., 2012). Например, в исследовании (Schelble et al., 2012) испытуемые должны были припоминать названия животных, причем устанавливалось, какой из нескольких возможных стратегий извлечения из памяти пользовался каждый испытуемый. Испытуемые также выполняли сложный тест на определение объема РП (задание на определение объема чтения), что позволило оценить индивидуальные различия в функциональных возможностях РП. Было обнаружено, что испытуемые с высоким объемом РП показывают повышенную продуктивность выполнения задания на категориальную беглость, извлекая больше примеров животных в течение отведенного для этого интервала времени. Также было обнаружено, что испытуемые с высоким объемом РП чаще используют наиболее эффективную стратегию извлечения (стратегию классификации). Эффект большей эффективности выполнения задания на категориальную беглость испытуемыми с высоким объемом РП становится незначимым, если задание выполняется в условиях высокой нагрузки на РП. Таким образом, особенности индивидуальных механизмов РП обуславливают использование различных стратегий извлечения информации из ДВП, а также эффективность применения этих стратегий.

В исследовании (Miyake et al., 2004) было обнаружено, что невозможность пользоваться внутренней речью в связи с необходимостью артикуляции irrelevantного вербального материала приводит к повышению сложности переключения между двумя

задачам в силу затруднений, возникающих при извлечении цели следующего задачи. Таким образом, при извлечении из ДВП (в данном случае – информации о цели действий и, возможно, правилах их реализации) может использоваться внутренняя речь, которая реализуется с помощью фонологической петли, входящей в состав вербальной «рабской системы» РП. Этот пример не только еще раз показывает, что механизмы РП играют роль в извлечении информации из ДВП, но и то, как взаимодействуют РП и КВП. КВП предоставляет специализированные механизмы кратковременного хранения для использования в составе механизмов РП. В этой связи отмечается (Rose & Craik, 2012), что терминологическое различие между понятиями РП и КВП должно относиться к заданиям, которые используются для оценки эффективности различных систем кратковременного хранения и манипуляции информацией, а на уровне реализующих эти функции психологических механизмов более обосновано проводить различие между первичной и вторичной памятью.

Извлечение из ДВП представляет собой только один аспект взаимодействия РП и ДВП. Взаимодействие этих двух систем памяти может рассматриваться также, во-первых, в аспекте влияния РП на сохранение информации в ДВП, и, во-вторых, в аспекте влияния ДВП на хранение и переработку информации в РП.

С целью изучения влияния РП на сохранение информации в ДВП Ranganath et al. (2005) предлагали испытуемым выполнять задачу отложенного сравнения с образцом (delayed matching to sample). Экспериментальное задание заключалось в предъявлении трудно вербализуемого трехмерного изображения (стимул-образец), которое испытуемые должны были удерживать в течение 9 секунд. За этим следовало предъявление пробы, и испытуемые должны были установить, является ли проба идентичной предъявленному образцу. Во время периода удержания от испытуемого либо не требовалось выполнять никакой задачи, либо они должны были выполнять интерферирующую задачу, заключающуюся в подсчете случайно расположенных пересекающихся линий. Интерферирующая задача могла предъявляться рано или поздно в течение интервала удержания (через 1 или 4 секунды после предъявления образца, соответственно). После завершения задания, испытуемым неожиданно предъявлялся тест на опознание образцов, использованных в эксперименте. Таким образом, выполнение задания на РП, связанного с кратковременным удержанием зрительно-пространственной информации, завершалось тестом на эффективность долговременного сохранения использованного материала. Было обнаружено, что снижение эффективности долговременного сохранения при наличии интерферирующей задачи возникает только тогда, когда интерферирующая задача предъявлялась на ранних стадиях интервала удержания. Если интерферирующая задача

предъявлялась на поздних стадиях интервала удержания, то эффективность долговременного сохранения не отличалась от полученной при отсутствии интерферирующей задачи.

Методом фМРТ Ranganath et al. (2005) также провели исследование активности головного мозга при выполнении аналогичной задачи отложенного сравнения с образцом (без интерферирующего задания). Было обнаружено, что формирование следов в ДВП может быть связано с активностью специфических мозговых структур, что также позволяет различить две фазы удержания информации в РП. В ходе исследования было показано, что на ранние стадии интервала удержания характеризуются активностью левой дорзолатеральной префронтальной коры и левого гиппокампа. На основе оценки интенсивности активности этих структур можно было определить успешность сохранения информации в ДВП. На поздних стадиях интервала удержания успешность сохранения информации в ДВП зависит от активности заднетеменных и затылочных отделов коры. В то время как эти отделы коры могут отражать пассивную активацию зрительных ареалов, активация гиппокампа и дорзолатеральной префронтальной коры отражает, по мнению авторов, активные процессы переработки новой информации. Именно такие процессы анализа новой информации в РП, формирования развернутой ментальной репрезентации стимула-образца («научение») являются предпосылкой успешного запечатления информации в ДВП.

Роль ДВП в осуществлении хранения и переработки информации в РП остается изученной пока еще очень мало, что связано с тенденцией рассматривать эти две системы памяти как независимые друг от друга (Rose & Craik, 2012). Тем не менее, целый ряд эффектов свидетельствует о том, что ДВП действительно влияет на функционирование РП. Показательным в этом отношении является эффект лучшего удержания в РП знакомой информации по сравнению с новой информацией (т.е. эффект более эффективного удержания слов и символов с известным значением по сравнению с удержанием не-слов и не встречавшихся ранее символических изображений). Знакомые стимулы, в отличие от новых стимулов, репрезентированы в ДВП, и одно только это отличие делает их хранение в РП более надежным (Rose & Craik, 2012; ). Другим примером влияния ДВП на хранение и переработку информации в РП является эффект лучшего удержания текстов по сравнению с наборами несвязанных друг с другом слов. Объем РП при этом значительно увеличивается. Очевидно, что основу этого эффекта составляют богатые семантические связи, которые объединяют слова, входящие в состав одного предложения. Влияние долговременных ассоциативных связей на эффективность

хранения информации в РП может быть показано и на материале эффектов категориальной принадлежности.

В работе Poirier et al. (2011) обсуждается подобный эффект категориальной близости – предъявленный для удержания в РП список слов воспроизводится лучше, если содержит слова из одной семантической категории, а не из разных семантических категорий. Этому эффекту может быть дано двоякое объяснение. Во-первых, общая для элементов списка категория может служить дополнительным признаком, облегчающим извлечение слов на этапе воспроизведения. Во-вторых, слова в пределах одной категории ассоциативно связаны друг с другом сильнее, чем со словами из других категорий. Наличие ассоциативных связей в силу действия механизма распространения активации в семантической ДВП приводит к взаимному усилению уровня активации слов из одной категории, активированных в РП. Такое увеличение уровня активации, в свою очередь, должно облегчать их воспроизведение.

С целью проверки этих гипотез Poirier et al. (2011) предъявляли испытуемым списки слов для непосредственного воспроизведения, в которых осуществлялась манипуляция принадлежностью слов к одной или разным категориям, а также сила ассоциативных связей слов (внутри и между категориями). Было обнаружено, что и принадлежность к категории, и сила ассоциативных связей влияют на эффективность воспроизведения. Этот результат, с одной стороны, подтверждает гипотезу об использовании категории как дополнительного ключа при извлечении информации из ДВП, но, с другой стороны, также говорит о поддержке хранения информации в РП со стороны активированных в ДВП семантических сетей. Таким образом, функционирование РП не осуществляется независимо от ДВП. Структуры хранения, сформированные в семантической ДВП, могут являться той основой, на которой реализуется удержание больших объемов информации в РП, препятствуя полному забыванию хранившейся в РП информации (Корж, 1981).

#### **2.4. Интерференция в рабочей памяти**

Под интерференцией в психологии понимается взаимодействие нескольких процессов (обычно – познавательных), при котором наступает нарушение одного из них (Зинченко и Мещеряков, 2006). Эффекты интерференции в области памяти заключаются в ухудшении воспроизведения информации, которое связано с выполнением какой-либо другой деятельности, например – с запоминанием другой информации. На протяжении длительных периодов в истории исследований памяти интерференция считалась основной причиной забывания в долговременной памяти (McGeoch, 1932; Roediger et al., 2010).

Возможным механизмом негативного влияния интерференции на ДВП является то, что интерференция со стороны других видов деятельности или материала приводит к нарушению консолидации – процесса формирования устойчивого мнемического следа в ДВП, реализующегося в течение продолжительного времени после первоначального восприятия информации. Об этом свидетельствуют, например, ранние данные Мюллера и Пильцекера (Müller & Pilzecker, 1900), которые предъявляли испытуемым список слогов для запоминания, а через некоторое время предъявляли им другой – интерферирующий – список слогов. Отсрочка предъявления интерферирующего списка была либо короткой (17 секунд), либо длинной (6 минут). Было обнаружено, что удержание первого списка было лучше при длинной отсрочке предъявления второго списка. Этот эффект получил простое объяснение в терминах консолидации – при длинной отсрочке мнемический след слогов из первого списка успевает закрепиться в ДВП в большей степени, чем при короткой отсрочке. Аналогичный по сути эффект наблюдается и при ретрогадной амнезии – при ней в большей степени страдают мнемические следы, сформированные непосредственно перед травматическим событием. Мнемические следы, сформированные задолго до травматического события, подвержены его негативному влиянию в меньшей степени или вообще остаются полностью сохранными (Ribot, 1881; Dewar et al., 2010).

Интерференция как причина забывания противопоставлена угасанию — монотонному снижению вероятности воспроизведения информации с течением времени в силу снижения уровня активации следов памяти. В частности, особенностью КВП, позволяющей отличить её от ДВП, долгое время считалось использование угасания как механизма забывания. В хрестоматийных экспериментах Л. и М. Петерсонов (Peterson & Peterson, 1959) испытуемым предъявлялась тройка согласных, после чего они должны были выполнять интерферирующую задачу - вести обратный отсчет тройками от некоторого числа. Через некоторое время тестировалась способность испытуемых воспроизвести тройку согласных. Как обнаружилось, вероятность правильного воспроизведения монотонно снижалась с увеличением длительности интервала отсрочки. При непосредственном воспроизведении точность воспроизведения составляла почти 100%, снижалась до 50% после 7 секунд выполнения обратного отсчета и падала до 10% после 18 секунд выполнения обратного отсчета. Эти результаты получили следующую интерпретацию. Хранение тройки согласных осуществляется в специализированной системе памяти (КВП), содержимое которой быстро - в течение максимум десятков секунд - угасает, если не обновляется при помощи целенаправленного, сознательно контролируемого процесса. Интерферирующая задача, если она являлась достаточно сложной, требует привлечения ресурсов сознательного контроля и препятствует

обновлению тройки согласных. Это приводит к появлению обнаруженного эффекта - снижению точности воспроизведения в течение достаточно небольшого промежутка времени, заполненного интерферирующей деятельностью.

Другим эффектом, подтверждающим роль угасания как причины забывания в РП, является эффект длины слова (Logie et al., 1996; Baddeley, 2003). Эффект заключается в том, что многосложные слова воспроизводятся менее эффективно, чем односложные. Вероятный механизм возникновения этого эффекта связан – согласно представлениям, сформулированным в трехкомпонентной модели РП А. Бэддели – с необходимостью использовать проговаривание запоминаемых слов для их удержания в вербальной РП. С этой целью используется активный компонент вербальной РП – фонологическая петля. Так как длительность артикуляции многосложных слов превышает длительность артикуляции односложных, то для многосложных слов должна наблюдаться более высокая вероятность забывания, чем для односложных. Это происходит потому, что – так как информация в фонологическом хранилище, которая не была обновлена в результате обновления, распадается с течением времени – из-за разницы в скорости артикуляции распад многосложных слов оказывается более вероятным, чем распад односложных. То, что в основе эффекта длины слова лежат фонетические репрезентации слов, пригодные для артикуляции с помощью механизмов фонологической петли, подтверждается, например, исчезновением этого эффекта при экспериментальном подавлении возможности артикуляции (Baddeley, 2003).

Для эффекта длины слова существуют многочисленные альтернативные интерпретации, не использующие представлений о фонологической петле и о распаде кратковременных следов в РП с течением времени (Baddeley, 2003). В частности, эффект длины слова не всегда удается реплицировать (Caplan & Waters, 1994). Тем не менее, при достаточном методическом контроле разнообразных переменных длительность произнесения слова оказывается фактором, влияющим на эффективность непосредственного воспроизведения. Сегодня эффект длины слова – это основное и, возможно, единственное свидетельство действия угасания в рабочей памяти (Cowan, 1999).

Эффект негативного влияния длительности интервала удержания, показанный Петерсонами, и эффект длины слова являются сильными свидетельствами в пользу угасания как основного фактора забывания в РП. Тем не менее, даже эти эффекты – особенно эффект длительности интервала удержания – могут объясняться действием интерференции (Keppel & Underwood, 1962; Loess, 1968). Также обнаружено значительное количество других феноменов, говорящих о роли интерференции как причины забывания

(Roediger et al., 2010). Применительно к роли интерференции как фактора забывания в КВП и РП показательными можно считать эффект суффикса и эффект фонетического сходства.

Эффект суффикса (Crowder, 1967) заключается в ухудшении непосредственного воспроизведения списка слов при предъявлении слова-дистрактора, остающегося постоянным и не требующем никакой переработки. Эффект в основном зависит от сенсорных, а не от концептуальных факторов. Наиболее простая интерпретация этого эффекта заключается в том, что он возникает в результате интерферирующего воздействия репрезентации слова-дистрактора на репрезентации слов из запоминаемого списка, удерживаемых в фонологическом хранилище. Таким образом, речь идет об эффекте ретроактивной интерференции, так как он связан с затруднением воспроизведения информации в силу последующего предъявления сходной информации.

Эффект фонетического сходства (Conrad, 1964) заключается в ухудшении непосредственного воспроизведения списка слов, если слов является фонетически сходными между собой. Если слова фонетически различны, то эффективность непосредственного воспроизведения оказывается высокой. Эффект фонетического сходства является важным феноменом, подтверждающим факт использования фонетического кодирования при хранении информации в КВП и РП. В эффекте фонетического сходства также проявляется действие механизма интерференции – забывание для фонетически сходных слов оказывается выше, так как сходная информация интерферирует в большей степени. При этом речь идет об эффекте как проактивной, так и ретроактивной интерференции – слова в начале списка испытывают негативное влияние ретроактивной интерференции, слова в конце списка – негативное влияние проактивной интерференции, а слова в середине списка – негативное влияние обоих типов интерференции.

Показано также, что проактивная интерференция влияет на переработку удерживаемой в РП информации. Для этого в исследовании (Jonides & Nee, 2006) использовалась парадигма «предыдущей пробы» (recent probe, Monsell, 1978), использующая модифицированный вариант задачи поиска в памяти С. Стернберга. В экспериментах, использующих эту парадигму, испытуемый должен определять, принадлежит ли пробный элемент кратковременно удерживаемому набору элементов. Важным эффектом является эффект недавней негативной пробы – если пробный элемент не содержится в наборе (т.е. требуется дать отрицательный ответ), но содержался в предыдущем наборе, то наблюдается снижение времени реакции и увеличение количества ошибок. Этот эффект демонстрирует, что активированная ранее информация все еще

содержится в РП, интерферируя с переработкой информации в ней. Методом позитронно-эмиссионной томографии показано, что преодоление подобных интерферирующих воздействий как для вербальной, так и для зрительно-пространственной информации связано с активностью префронтальных отделов коры, в частности, поля 45 по Бродману.

В литературе можно встретить утверждение, что элементы, удерживаемые в РП, могут не испытывать влияния интерференции («иммунитет к интерференции», Suprenant & Neath, 2009). Это касается, прежде всего, небольшого количества элементов, удерживаемых в фокусе внимания, т.е. элементов, репрезентации которых непосредственно доступны для извлечения и переработки. В соответствии с предположением об «иммунитете к интерференции» целый ряд исследований показывает, что эффекты интерференции обнаруживаются только для наборов из более чем 4-кратковременно запомиаемых элементов (Halford et al., 1988; Baddeley, Lewis & Vallar, 1984; Cowan, Johnson & Saults, 2005). Например, в исследовании (Halford et al., 1988) использовался вариант задачи поиска в памяти С. Стернберга. Испытуемым предъявлялся список из 4 или 10 слов, а затем предъявлялось слово-проба, для которого необходимо было установить, содержалось ли оно в списке. Манипуляция интерференцией осуществлялась с помощью семантических категорий. В каждом из трех списков, предъявленных подряд, использовалась одна и та же категория, но затем категория изменялась. Таким образом, в каждой последовательности из трех списков первый список предъявлялся в условиях низкой проактивной интерференции, а третий список – в условиях высокой проактивной интерференции. Было обнаружено, что уровень интерференции влиял на эффективность опознания слова-пробы, когда списки содержали 10 слов, но не когда они содержали 4 слова. Аналогичный результат был получен и для фонетических категорий. Таким образом, в этих экспериментах было показано, что когда количество удерживаемых элементов превышает типичные значения объема хранения в РП, обычный эффект проактивной интерференции имеет место. Когда количество удерживаемых элементов не превышает типичного объема РП, то эффект проактивной интерференции отсутствует. На этой основе может быть сделан вывод, что сохранение информации в РП, по крайней мере частично, не подвержено негативному влиянию проактивной интерференции.

С другой стороны, эффекты проактивной интерференции со стороны фонетически и семантически сходного материала могут наблюдаться и при кратковременном удержании и припоминании относительно коротких списков слов (4 слова) (Tolan & Tehan, 1999). В этом исследовании от испытуемых требовалось указать, встречался ли пример определенной категории в предъявленном списке слов, причем экземпляры этой

категории в ранее предъявленных списках должны были игнорироваться. Тем не менее, наличие таких дистракторов приводило к возникновению эффектов проактивной интерференции. Это свидетельствует о том, что интерференция информации характерна для РП даже в том случае, когда в ней удерживается незначительное количество информации. В еще большей степени выводу об иммунитете фокуса внимания к интерференции противоречат результаты, говорящие о наличии эффекта интерференции при кратковременном запоминании списков из трех элементов (Roodenrys & Miller, 2008) и даже двух элементов (McErlce & Doshier, 1989). Таким образом, эффекты интерференции в РП не являются однозначными. Приведенные исследования показывают, что важной переменной, влияющей на возникновение эффекта интерференции, является количество актуально удерживаемой в РП информации.

Сравнение объяснительной силы угасания и интерференции как факторов забывания в РП может быть осуществлено методами математического моделирования (Oberauer & Lewandowsky, 2008). Сравнение моделей, различающихся использованием интерференции и угасания в качестве механизма забывания при воспроизведении результатов выполнения испытуемыми сложных заданий на определение объема РП, показало, что модель на основе интерференции лучше описывает данные, чем модель на основе угасания. В целом, вопрос о том, что является причиной забывания в РП, остается до сих пор открытым. Как было показано выше, значительное число литературных данных свидетельствует об отсутствии исключительной связи КВП и РП с действием механизмов угасания. В связи с этим вновь становится актуальным вопрос о существовании КВП/РП памяти как самостоятельных систем памяти, отличных от ДВП.

Существует значительное количество теоретических моделей и подходов, не предполагающих различия КВП и ДВП (Melton, 1963; Crowder, 1982; Neath & Suprenant, 2008). В них предполагается, что существует единая система хранения информации (унитарные теории памяти). Например, концепция единого следа У. Уикельгрена (Wickelgren, 1974) основывается на предположении, что существует только один вид следов памяти – следы, консолидирующиеся с течением времени. Забывание в течение кратковременных и долговременных интервалов обусловлено действием единого механизма и описывается единой степенной функцией. Представления о единой системе памяти сегодня продолжают развиваться (Suprenant & Neath, 2009). Роль интерференции как механизма забывания в РП может свидетельствовать если не о том, что различие КВП и ДВП не является обоснованным, то о том, что механизмы их реализации в некоторой степени совпадают.

Понятие интерференции играет важную роль не только в исследованиях памяти, но и в исследовании когнитивных процессов в целом. Феномены интерференции заключаются в снижении эффективности когнитивной обработки в силу конкуренции каких-либо процессов или репрезентаций за структурные и динамические ресурсы. Преодоление трудностей, связанных с наличием интерференции, т.е. контроль интерференции, осуществляется процессами торможения (или подавления), которые могут быть автоматическими, но могут быть и произвольными. Типичным примером экспериментальной ситуации, требующей подавления интерференции, является выполнение задачи Струпа, при котором необходимо подавлять речевые ответы, связанные со значением слова, и усиливать речевые ответы, связанные с цветом букв. Исследования компонентов системы когнитивного контроля показывают, что произвольное подавление интерференции является одной из элементарных, базовых функций когнитивного контроля (Величковский, 2009; Miyake et al., 2000). На основе этих элементарных функций осуществляется управление сложными формами целенаправленного поведения у человека. При этом функция подавления является основной функцией контроля в том смысле, что обнаруживает наиболее сильные корреляции с фактором когнитивного контроля (Miyake et al., 2000).

Значительное число актуальных исследований посвящено связи между объёмом РП и эффективностью подавления интерференции. Такая связь показана в работах Р. Энгле и его сотрудников (Engle, 2002; Kane et al., 2007). Методом сравнения контрастных групп показано, что существуют выраженные различия в эффективности подавления проактивной интерференции между испытуемыми с низким объёмом РП (1-ый квартиль) и с высоким объёмом РП (4-ый квартиль). У испытуемых с низким объёмом РП наблюдается более выраженный негативный эффект проактивной интерференции при воспроизведении нескольких последовательно предъявленных списков слов. У испытуемых с высоким объёмом РП негативный эффект проактивной интерференции не является столь выраженным. Различие между испытуемыми с низким и высоким объёмом РП становится незначимым в том случае, когда удержание списков осуществляется в условиях распределенного внимания. Это доказывает, что контроль проактивной интерференции осуществляется процессами контроля внимания. Таким образом, испытуемые с высоким объёмом РП отличаются способностью мобилизовать ресурсы внимания для подавления проактивной интерференции.

Напрямую связь между эффективностью управления вниманием и объёмом РП может быть показана с использованием задания на антисаккаду. В этом задании испытуемый подавляет осуществление рефлекторной саккады в направлении дистрактора,

появляющегося на периферии поля зрения, и осуществляет саккаду в направлении целевого стимула, с небольшой задержкой появляющегося в противоположной области поля зрения (антисаккада). В качестве контрольного условия в этом задании может использоваться условие с просаккадой, в котором место предъявления дистрактора и целевого стимула совпадают. Так как возможность управления саккадическими движениями глаз зависит от уровня развития функций контроля внимания, то гипотеза о связи контроля внимания и объема РП означает наличие возможной связи между функциональными возможностями РП и эффективностью выполнения антисаккад. Связь между функциональными возможностями РП и эффективностью осуществления просаккад должна отсутствовать.

Как показывают исследования выполнения задания на антисаккаду испытуемыми с разным объемом РП (Kane et al., 2001), описанная закономерность действительно может быть обнаружена. Испытуемые с низким объемом РП не отличаются от испытуемых с высоким объемом РП по эффективности выполнения просаккады. В этом случае идентичность целевого стимула распознается испытуемыми с разным объемом РП с одинаковой скоростью и точностью. Однако испытуемые с низким объемом РП выполняют антисаккаду менее эффективно, чем испытуемые с высоким объемом РП. В этом случае скорость и точность идентификация целевого стимула выше у испытуемых с высоким объемом РП. В условиях, требующем осуществления антисаккады, испытуемые с низким объемом РП также чаще выполняют саккаду в направлении дистрактора. В целом, полученные результаты свидетельствуют о том, что высокий объем РП коррелирует с наличием развитых форм управления вниманием в условиях интерференции.

Зависимость между РП и эффективностью подавления интерференции показана также на примере задачи Струпа (Engle, 2002). Испытуемые с низким и высоким объемом РП обнаруживают разную чувствительность к манипуляции частотой конгруэнтных проб. При частоте конгруэнтных проб, равной 0% и 50%, различия в эффективности выполнения задачи Струпа между испытуемыми с низким и высоким объемом РП отсутствовали. При частоте конгруэнтных проб, равной 75%, лица с низким объемом РП совершали значительно больше ошибок в неконгруэнтных пробах, чем лица с высоким объемом РП. Высокая частота конгруэнтных проб означает, что испытуемые в меньшей степени активно ориентируются на цель подавления речевого ответа, связанного с звуковым образом предъявленного слова. В силу этого при высокой частоте конгруэнтных проб интерференция в неконгруэнтных пробах является максимальной. В этом условии с повышенным уровнем интерференции лица с высоким объемом РП показывают высокоэффективное разрешение интерференции, что говорит о том, что они обладают

более развитой способностью к подавлению интерференции. Такое преимущество лиц с высоким объемом РП при подавлении интерференции может не являться обобщенным, но проявляется в условиях, когда контекст выполняемого задания затрудняет удержание цели действия.

Зависимость между подавлением интерференции и функциональными возможностями РП также показана на примере задачи дихотического слушания (Conway et al., 2001). В этой задаче испытуемые должны селективно вторить звуковому материалу, подаваемому по одному из двух каналов предъявления. Эта задача требует, таким образом, переключения внимания на релевантный канал и подавления интерферирующего сообщения, предъявляемого по иррелевантному каналу. Хотя испытуемые достаточно успешно справляются с задачей подавления интерферирующего сообщения, известно, что при выполнении дихотического слушания обнаруживается эффект восприятия личностно значимых для испытуемого слов (например, собственного имени испытуемого), предъявляемых по иррелевантному каналу. Однако испытуемые с высоким объемом РП значительно реже осознают предъявление личностно значимой стимуляции по иррелевантному каналу, чем испытуемые с низким объемом РП. Этот парадоксальный эффект показывает, что лица с высокими функциональными возможностями РП также обладают более развитыми способностями в сфере селективного внимания и подавления интерференции.

В исследовании (Carretti et al., 2012) показано, что способность к подавлению проактивной интерференции в РП снижается с возрастом. В этой работе сравнивались молодые (25-30 лет), пожилые (65-75 лет) и очень пожилые (старше 75 лет) испытуемые. Испытуемые выполняли комплексные задания на определение объема РП с вербальным и зрительно-пространственным материалом. С целью управления интенсивностью проактивной интерференции, списки подлежащих запоминанию элементов предъявлялись либо в порядке возрастания длины списка, либо в порядке убывания длины списка. Предполагалось, что при предъявлении списков в порядке убывания их длины влияние проактивной интерференции на объем рабочей памяти будет меньше, чем при предъявлении списков в порядке возрастания длины. Это связано с тем, что в начале предъявления последовательности списков проактивная интерференция минимальна, вследствие чего у испытуемых появляется возможность верно воспроизводить списки большой длины. Результаты этого эксперимента свидетельствуют о том, что способность противостоять проактивной интерференции со стороны ранее активированной информации при удержании информации в РП действительно нарушается в пожилом возрасте. Изменение порядка предъявления списков оказывало влияние на эффективность

хранения информации у пожилых и очень пожилых испытуемых. У молодых испытуемых влияния порядка предъявления списков элементов отсутствовало. При этом у очень пожилых испытуемых было обнаружено достаточно высокое количество интрузий – ошибочных воспроизведений элементов из предыдущих списков. Такие данные говорят не только о специфическом негативном влиянии проактивной интерференции, но и о возможном дефиците функций произвольного подавления. Связанные с атрофией лобных отделов коры нарушения произвольного подавления характерны для пожилого возраста и могут лежать в основе возрастного когнитивного снижения в целом (Hasher, Lustig & Zacks, 2007). Возможная роль нарушений подавления в возрастных нарушениях рабочей памяти подтверждает справедливость этого принципа. В свою очередь, дефициты функций подавления могут быть связаны с дефицитом доменно-неспецифичных ресурсов внимания, который сопровождает когнитивное старение. В этом можно видеть еще одно подтверждение важной роли процессов контроля интерференции и внимания в реализации функций РП.

Результаты, полученные в приведенных выше исследованиях, не позволяют сделать однозначный вывод о том, является ли интерференция основным источником забывания в РП. Однако существует значительное количество свидетельств того, что интерференция влияет на эффективность удержания информации в РП, даже если речь идет о незначительных объемах информации. В силу этого представляется обоснованным предположение о том, что важной элементом функциональных возможностей РП являются функция подавления интерференции. А разве подавление интерференции (как проявления снижения памяти) не является функцией памяти вообще. Т.е. эта функция не является специфичной для РП.

## **2.5. Роль доменно-неспецифичных ресурсов в рабочей памяти**

Положение об ограниченности ресурсов обработки информации было одним из центральных уже в самых первых теориях обработки информации человеком. Модель Д. Бродбента и последующие исследования психологического рефрактерного периода (Pashler, 1994) предполагали наличие структурного ограничения объема перерабатываемой информации. Ресурсные модели Д. Канемана и др. предполагают динамические ограничения объема перерабатываемой информации – они определяются количеством актуально доступных ресурсов переработки (Канеман, 2006; Pashler, 1994; Barrouillet et al., 2004; Cowan, 2010; Fawcett & Taylor, 2012). Проблема ограниченности возможностей когнитивной переработке в аспекте функционирования процессов памяти

тесно связана с возможным местом памяти в архитектуре психического (Лурия, 1960; Журавлев, Корж, 2009; Б.М. Величковский, 1999).

С целью установления неспецифичного характера ресурсов РП, в работе (Kane et al., 2004) были собраны данные об эффективности выполнения заданий на вербальную и зрительно-пространственную РП, заданий на вербальную и зрительно-пространственную КВП, а также различных заданий на осуществление рассуждений и тестов на интеллект. Использовались 3 задания на вербальную РП и 3 задания на зрительно-пространственную РП. Также использовались 3 задания на вербальную КВП и 3 задания на зрительно-пространственную КВП. Тесты на способность к рассуждениям и интеллект были представлены 5 заданиями на вербальные рассуждения, 5 заданиями на зрительно-пространственные рассуждения и 3 тестами на индуктивные рассуждения, отобранными из различных тестовых батарей. Было обнаружено, что корреляции между тестами на РП были значительно выше корреляций между тестами на КВП, что говорит о большей степени доменной неспецифичности РП. С использованием методов структурного моделирования было показано, что модель, предполагающая наличие одного доменно-неспецифического фактора РП, больше соответствует собранным в исследовании данным, чем модель с доменно-специфическими факторами вербальной и зрительно-пространственной РП, коррелирующими между собой. Подгонка дополнительных моделей обнаружила, что в отличие от РП конструкт КВП лучше представляется двумя доменно-специфическими факторами. При этом доменно-неспецифичный фактор РП был хорошим предиктором показателей интеллекта и плохим предиктором показателей доменно-специфических способностей к рассуждению. Доменно-специфические факторы КВП, наоборот, являлись хорошими предикторами способностей к рассуждениям в соответствующих доменах, но плохими предикторами показателей интеллекта. Полученные результаты свидетельствуют о том, что за конструктом РП стоят доменно-неспецифичные ресурсы контроля когнитивных процессов, обуславливающие его связь с реализацией сложных познавательных функций.

Использование общих доменно-неспецифичных ресурсов из единого резервуара ресурсов при выполнении заданий на РП может быть показано экспериментально. В исследовании (Vergauwe et al., 2012) испытуемые выполняли сложное задание на определение объема РП, в котором задача хранения и задача переработки различались модальностью стимуляции (вербальный или зрительно-пространственный). Например, в одном из экспериментов задача удержания последовательности зрительно предъявленных изображений с выделенной на них точкой должно было осуществляться на фоне

идентификации семантической категории предъявляемых на слух слов. При этом также экспериментально изменялся уровень когнитивной нагрузки, для чего варьировалась скорость предъявления стимуляции в задаче переработки, выполняемой в интервалах между предъявлением стимулов, предназначенных для запоминания. Было обнаружено, что, несмотря на полное отсутствие совпадений признаков стимулов, подлежащих запоминанию и переработке, объем РП (измеренный как количество успешно воспроизведенных элементов) снижался в зависимости от уровня когнитивной нагрузки. Возникновение этого эффекта в случае, когда задача сохранения и задача переработки различаются по типу стимуляции, означает, что возможность их одновременного выполнения зависит от возможности разделения универсальных ресурсов переработки, поступающих из единого источника.

Экспериментальным свидетельством роли ограниченных ресурсов переработки в реализации функций РП является факт зависимости эффекта «моргания внимания» от объема РП. Эффект «моргания внимания» (Raymond, Shapiro & Arnell, 1992) заключается в сниженной вероятности обнаружения второго целевого стимула после успешного обнаружения первого целевого стимула при быстром последовательном зрительном предъявлении стимулов, если второй целевой стимул предъявляется в течение первых нескольких проб вслед за первым. Возникновение этого эффекта может быть объяснено тем, что переработка первого целевого стимула осуществляется за счет ограниченных ресурсов внимания. Выделение ресурсов внимания на переработку первого стимула не позволяет применить их для переработки второго стимула. Обнаружено, что для лиц с высоким объемом РП характерен менее выраженный эффект «моргания внимания», а для лиц с низким объемом РП – более выраженный эффект «моргания внимания» (Colzato et al., 2007). Эти результаты свидетельствуют о том, что высокий уровень функциональных возможностей РП обеспечивается большим количеством ограниченных ресурсов внимания.

Показано также, что при одновременном удержании в РП материала из разных доменов (вербального и зрительно-пространственного) эффективность опознания материала определенной модальности зависит от вида платежной матрицы, ассоциированной с правильными опознаниями (Morey et al., 2011). Таким образом, показана возможность динамического распределения единого ресурса, обеспечивающего хранение в РП информации, относящейся к разным доменам. Динамическое распределение гипотетических центральных ресурсов переработки в зависимости от мотивационных переменных допускается концепциями единых неспецифических

ресурсов (Канеман, 2006) и обнаружение подобных эффектов при изучении процессов хранения в РП является свидетельством роли неспецифических ресурсов переработки в реализации функций РП.

Анализ активности головного мозга (Chein et al., 2011) также показывает участие неспецифических ресурсов в выполнении заданий на РП. При выполнении заданий на вербальную РП и зрительно-пространственную РП обнаруживается активность билатеральной префронтальной коры, а также активность передней поясной извилины. Эти структуры активны и при выполнении кросс-модальных заданий на РП, в которых модальность стимуляции в задаче хранения отличается от модальности стимуляции в задаче переработки. Префронтальная кора и передняя поясная кора относятся к анатомическим структурам, реализующим функции произвольного контроля поведения (Лурия, 1966; Botvinick et al., 1999; Norman & Shallice, 1986) и связанным с предоставлением ресурсов, обеспечивающих возможность такого контроля. Таким образом, функционирование РП предполагает участие неспецифических когнитивных ресурсов необходимых для реализации стратегий хранения информации, координации механизмов хранения информации и её переработки.

Также можно отметить, что роль доменно-неспецифических ресурсов в реализации функций РП может быть неоднозначной в ходе развития человека. На ранних этапах онтогенеза относительно автоматические процессы кратковременного хранения информации могут доминировать, однако на более поздних этапах онтогенеза уступать влиянию процессам исполнительного контроля (Белова и Малых, 2013). Таким образом, интер- и интраиндивидуальная вариативность доменно-неспецифических ресурсов может быть существенным фактором изменчивости функциональных возможностей РП, определяя её эффективность при решении различных задач. В целом, такая траектория развития отражает общие принципы онтогенетического становления произвольных («контролируемых») форм памяти, включая оперативную (рабочую) память (Блонский, 1935; Выготский, 1960; Леонтьев, 1931; Ляудис, 1976; Gathercole et al., 2004).

### 3. Особенности структурно-функциональной организации РП

#### 3.1. Структура рабочей памяти

Активное хранение и переработка представлений в РП человека обеспечивает реализацию различных когнитивных функций и, в конечном счете, его успешную адаптацию к изменяющемуся окружению. Многообразие и сложность ментальных объектов, подлежащих хранению в РП, а также многообразие и сложность видов трансформаций этих объектов, выполняемых с использованием РП, ставят вопрос о сложности организации самой РП человека. Представляется обоснованным предположение о том, что реализация познавательных функций должна обеспечиваться системой, имеющей сложное строение. Таким образом, в результате рассмотрения вопросов, связанных с анализом функций РП, с необходимостью встает вопрос о структуре РП. Как покажет проведенный ниже обзор литературы, сегодня существуют разные точки зрения на его возможные решения.

Одна возможная точка зрения заключается в утверждении о том, что РП представляет собой унитарное, недифференцированное хранилище для оперативного удержания и переработки информации. Эта точка зрения была реализована рядом ранних моделей РП (Аткинсон, 1980; Pascual-Leone, 1970). Единственная возможность для дифференциации удерживаемого в такой унитарной РП содержания заключается в использовании различных «кодов» (фонетического, зрительного, семантического и т.д.). Таким образом, в этих ранних работах структура РП представляется достаточно простой, однородной, а сложность, связанная с хранением и переработкой разнородного материала, обеспечивается за счет использования различных форматов представления материала.

Представления о том, что РП имеет сложную, неоднородную структуру развиваются в рамках различных моделей, в частности, в рамках трехкомпонентной модели РП (Baddeley, 1986). Как уже указывалось выше, в данной модели различаются модально-специфичные подсистемы хранения (фонологическая петля и зрительно-пространственный блокнот) и контролирующая подсистема («центральный исполнитель»), реализующие различные процессы переработки информации и контроля внимания (Baddeley, 1986). Дифференциация структуры РП в этой модели, таким образом, двойка. С одной стороны, проводится дифференциация структурных компонентов, ответственных за хранение информации разной модальности. С другой стороны, предлагается различать структурные компоненты, ответственные за хранение и за оперативную переработку информации (т.е. различать КВП и собственно РП, Giofre et al.,

2013). Как будет видно из дальнейшего изложения, подобные дифференцировки прослеживаются и в ряде других моделей РП.

Исследование структуры РП (Gathercole et al., 2004) методом конфирматорного факторного анализа показало, что выделение в ней трех компонентов, соответствующих составу трехкомпонентной модели А. Бэддели, возможно уже в возрасте 6 лет. Три компонента РП стабильно выделяются и в более позднем детском и подростковом возрасте, а возникающие изменения связаны с наращиванием функциональных возможностей отдельных компонентов. Таким образом, это исследование демонстрирует высокую стабильность трехкомпонентной структуры РП и дает дополнительное обоснование представлениям о составе компонентов РП, лежащим в её основе.

Другой подход к анализу структуры РП заключается в отказе от различения компонентов, связанных исключительно с хранением и переработкой информации, с одновременным акцентированием различий по модальности. В работах (Shah & Miyake, 1996; Friedman & Miyake, 2000; Oberauer et al., 2000), реализующих этот подход, показывается, что в состав рабочей памяти входят два компонента, одновременно осуществляющих как хранение информации, так и её манипулирование. Например, Oberauer et al. (2000) провели исследование эффективности выполнения различных заданий на кратковременное удержание информации, предъявляющих разные требования к использованию ресурсов исполнительного контроля и контроля внимания. Было обнаружено, что эмпирическим данным наилучшим образом соответствует модель с двумя латентными факторами, образованными вербально-числовым и зрительно-пространственными заданиями вне зависимости от уровня нагрузки на гипотетический исполнительный компонент РП. Подобное выделение в структуре РП только двух факторов – вербального и зрительно-пространственного – часто наблюдается для РП взрослых испытуемых (Giofre et al., 2013). В частности, в работе (Friedman & Miyake 2000) показано, что эти компоненты играют различные роли в построении ситуационных ментальных моделей. Следует отметить, что дифференцирование роли вербального и зрительно-пространственного компонента РП проявляется и в том, что последний теснее связан с интеллектом, чем первый (Kane et al., 2004).

Значительное количество теоретических концепций основываются на еще одной теоретической альтернативе трехкомпонентной модели. Общим для этих концепций является то, что в них предполагается, что в структуру РП входят два компонента – компонент, ответственный за переработку информации, и компонент, ответственный за

хранение информации разной модальности. Компонент, ответственный за хранение информации обычно представляется как подмножество «активированных» репрезентаций долговременной памяти. Ниже будет приведен ряд примеров такого понимания структуры РП.

В концепции РП как исполнительного внимания (Engle, Kane & Tuchsolski, 1999; Engle & Kane, 2004; Kane et al., 2007) акцент делается на возможности выделения в составе РП компонента, реализующего функции контроля за информацией, необходимой для решения актуально стоящих перед человеком задач, на основе механизмов произвольного внимания. Согласно указанной концепции, этот компонент поддерживает высокий уровень активации репрезентаций, находящихся вне сферы отчетливого осознания в случаях, когда их ре-активация с помощью других механизмов (таких как повторение) затруднена или невозможна. Этот компонент также реализует извлечение информации, ставшей актуальной в ходе решения текущей задачи, из ДВП. Роль произвольного внимания при этом заключается, в частности, в подавлении активации репрезентаций, интерферирующих с необходимыми для решения актуальных задач репрезентациями вне сферы отчетливого сознания и репрезентациями, извлекаемыми из ДВП.

В теории вложенных процессов Н. Коуэна (Cowan, 1999) также развиваются представления о том, что структура РП определяется наличием двух компонентов – фокуса внимания и активированной части ДВП. Как уже упоминалось выше, фокус внимания содержит репрезентации, которые непосредственно доступны для осознания и могут быть мгновенно использованы для решения актуальных задач. Активированная часть ДВП объединяет репрезентации, уровень активации которых превышает пороговый. В силу этого репрезентации из активированной части ДВП могут с большей легкостью быть «загружены» в фокус внимания, а также могут влиять на осуществление текущей деятельности даже без осознания. При этом «загрузка» репрезентаций в фокус внимания осуществляется специализированными компонентами, ответственными за контроль внимания, не включенными непосредственно в структуру РП. Следовательно, в рамках данной теории утверждается, что РП имеет иерархическую двухуровневую структуру, компоненты которой качественно различаются по уровню осознания - т.е. по уровню доступности для использования в целях поддержки текущей деятельности – относящихся к ним репрезентаций. Таким образом, гетерогенность структуры РП определяется гетерогенностью систем и механизмов хранения, а не гетерогенностью систем и

механизмов хранения, с одной стороны, и систем и механизмов, связанных с обеспечением переработки актуально удерживаемой информации, с другой стороны.

Двухуровневая структура РП может быть расширена до трехуровневой за счет её дальнейшей дифференциации на фокус внимания, регион прямого доступа и активированную часть ДВП (Oberauer, 2002). В фокусе внимания удерживается единственная репрезентация, являющаяся предметом текущей когнитивной обработки. В регионе прямого доступа содержится небольшое количество репрезентаций, находящихся в состоянии высокой доступности, которые при необходимости с высокой скоростью могут быть «загружены» в фокус внимания. Таким образом, репрезентации в регионе прямого доступа сохраняются с перспективой их использования для поддержки актуально осуществляемой деятельности в ближайшем будущем. Информация, которая не может быть сохранена в фокусе внимания и в регионе прямого доступа – ограниченных по объему, сохраняется в активированной части ДВП, не имеющей ограничений по объему. Активированная часть ДВП ограничена по времени хранения информации в связи с течением процессов угасания активации, что ведет к функциональным ограничениям объема хранения при отсутствии структурных ограничений объема хранения. В целом, данная трехуровневая модель также представляет РП как систему иерархически организованных уровней хранения репрезентаций, по-разному доступных для использования в целях поддержки текущей деятельности.

О существовании в составе РП минимум двух различных систем хранения информации свидетельствует также анализ скорости извлечения информации из РП (Unsworth & Engle, 2007). Изменения скорости извлечения информации из памяти и, в частности, изменения длительности временных интервалов между извлечением отдельных элементов, хорошо характеризуют динамику процессов извлечения и позволяют делать выводы о лежащих в их основе психологических механизмах. Показано, например, что при свободном воспроизведении временные интервалы между извлечением элементов одного кластера, заданного некоторой категорией, меньше временных интервалов между извлечением элементов из кластеров, заданных разными категориями (Wixted & Rohrer, 1994). Применительно к извлечению информации из РП было обнаружено, что при выполнении сложных заданий на определение объема РП первые несколько элементов из удерживаемого набора воспроизводятся с небольшими, равновеликими интервалами между воспроизведениями. Последующие элементы воспроизводятся с большими интервалами между воспроизведениями, причем эти интервалы увеличиваются по мере извлечения элементов из РП. Таким образом, анализ длительности временных интервалов

между воспроизведениями показывает наличие двух классов интервалов (гомогенного и гетерогенного), что, возможно, отражает работу различных компонентов РП с разной динамикой процессов извлечения.

В рассмотренных выше литературных источниках представлены точки зрения, свидетельствующие как об однородности, так и о неоднородности структуры РП. При этом анализ возможной неоднородности структуры РП может проводиться с использованием различных критериев. В структуре РП могут выделяться компоненты, различные по модальности хранящейся в них информации, уровню активации удерживаемых в них элементов или механизму извлечения элементов. Такое разнообразие критериев выделения компонентов РП говорит о том, что вопрос о её структуре остается пока открытым. Тем не менее, имеющиеся сегодня результаты позволяют предполагать, что РП может иметь сложную структуру, соответствующую сложным функциям хранения и переработки информации, которые выполняет эта система памяти.

### **3.2. Взаимодействие хранения и переработки в РП**

В предыдущем разделе был рассмотрен вопрос о структуре РП и сделан вывод о том, что сегодня не существует однозначного мнения относительно состава компонентов РП. Тем не менее, в силу самого определения РП необходимо предположить, что гипотетические компоненты рабочей памяти должны выполнять функции хранения и переработки информации. Важной проблемой, решение которой оказывает прямое влияние на характер теоретических построений в области исследований РП, является проблема взаимодействия этих функций.

Взаимодействие функций хранения и переработки может принимать сложные формы. Например, для зрительной РП показано, что удержание информации влияет на различные характеристики зрительной переработки, осуществляемой относительно внешней стимуляции в течение интервала удержания. Например, подобные эффекты влияния РП на восприятие показаны на материале исследования процессов удержания в зрительной РП пространственных решеток (Scocchia et al., 2013). В этом исследовании испытуемым дали задание, которое требовало кратковременного запоминания решеток разной ориентации. Наблюдался выраженный эффект содержимого зрительной РП – испытуемые склонны были воспринимать подлежащий дискриминации стимул как повернутый против часовой стрелки, если удерживаемый в памяти стимул отклонялся от вертикали по часовой стрелки. Этот эффект был устойчив во времени и по интенсивности

значительно превосходил такой же эффект искажения ориентации воспринимаемого стимула, возникающий тогда, когда испытуемые должны были только обратить внимание на стимул, но не удерживать его в РП.

В исследованиях РП широкое распространение получило мнение о том, что взаимодействие функций хранения и переработки осуществляется на основе принципа разделения ресурсов (Daneman & Carpenter, 1980). Согласно этим представлениям, эффективность хранения и переработки взаимосвязаны. При необходимости увеличить интенсивность переработки, возможности РП по сохранению информации снижаются. При необходимости увеличить объем удерживаемой информации снижается интенсивность осуществляемой переработки. За таким соотношением процессов хранения и переработки должен стоять единый резервуар когнитивных ресурсов, использование части которого для реализации одной функции означает уменьшение количества ресурсов, доступных для реализации другой функции. Таким образом, предполагается, что взаимодействие хранения и переработки осуществляется за счет существования единого механизма, обеспечивающего выполнения обеих функций.

Концепции разделения ресурсов противостоит концепция, описывающая взаимодействие хранения и переработки в РП как результат переключения внимания (Towse & Hitch, 1995). Указанная концепция была разработана для объяснения механизма выполнения сложных заданий на определение объема РП, сочетающих задачу оперативного хранения информации с задачей переработки информации. Согласно развиваемым в этом теоретическом контексте представлениям, при выполнении сложных заданий на определение объема РП испытуемые сначала концентрируют внимание на задаче переработки, а затем смещают внимание на задачу хранения. Обеспечив выполнение этой операции (в частности, выполнив считывание и кодирование подлежащего запоминанию элемента), испытуемые вновь переключают внимание на задачу переработки. Таким образом, согласно концепции переключения внимания ресурсы внимания не разделяются в каком-либо отношении между функциями хранения и переработки, но в каждый момент времени в полном объеме задействованы для выполнения одной из этих функций. В связи с этим снижение возможностей по сохранению информации в РП, которое может возникать при необходимости сочетать хранение и переработку, не может быть объяснено уменьшением количества доступных для реализации когнитивных функций ресурсов. В рамках описываемой концепции снижение эффективности хранения может быть связано с угасанием информации в течение того времени, когда внимание отвлечено на выполнение задачи переработки. Чем

больше длительность переработки, тем более сильное снижение эффективности оперативного хранения может возникнуть при выполнении сложного задания на определение объема РП.

На основе тезиса о переключении внимания при выполнении сложных заданий на определение объема РП может быть сделано предположение о независимости хранения и переработки в РП (Towse & Hitch, 1995), противоречащее предположению о разделении единого ресурса между выполнением этих функций. Хранение и переработка не связаны непосредственно, а влияние особенностей реализации одной функции на особенности реализации другой возникает косвенным образом. Сходные представления развиваются в концепции П. Барруилле и его коллег (Barrouillet & Camos, 2007).

Проблема экспериментальной оценки взаимодействия процессов хранения и переработки в РП связана с демонстрацией двух поведенческих эффектов – эффекта порядка стимулов и эффекта времени переработки. Эффект порядка стимулов заключается в том, что количество верно воспроизводимых элементов при выполнении сложных заданий на определение объема РП увеличивается, если задание начинается с выполнения более продолжительной задачи переработки, а заканчивается выполнением менее продолжительной задачи переработки. Эффект времени переработки заключается в том, что при выполнении сложных заданий на определение объема РП скорость переработки снижается для тех задач переработки, которые находятся в конце последовательности задач переработки. Возникновение этих эффектов, свидетельствующих о возможном сложном взаимодействии между процессами хранения и переработки при выполнении заданий на определение объема РП, было показано в работах Towse et al. (1998) и Friedman & Miyake (2000).

Попытка раскрыть механизмы возникновения эффектов порядка стимулов и времени переработки была предпринята в работе Maehara & Saito (2007). С этой целью использовался материал выполнения сложных заданий на определение объема РП, в которых совмещались задачи хранения и переработки, принадлежащие либо одному домену (вербальному или пространственному), либо принадлежащие разным доменам. Интерес представляли различия в величине возникающих при этом эффектов порядка стимулов и времени переработки, так как они позволяли судить о роли интерференции между репрезентациями, принадлежащими одному домену, в возникновении этих эффектов.

Свидетельства различий соответствующих эффектов были получены в двух экспериментах. В эксперименте 1 предъявляемое испытуемым задание состояло из задачи семантической верификации предложений (задача переработки) и задачи удержания либо вербального, либо пространственного материала (задача хранения). Таким образом, в эксперименте 1 задача переработки относилась к вербальному домену, а задача хранения – либо к вербальному, либо к пространственному домену. В эксперименте 2 использовались те же задачи хранения, что и в эксперименте 1, а в качестве задачи переработки использовалась задача ментального вращения многоугольников. Поэтому в эксперименте 2 вербальная и пространственная задачи хранения сочетались с пространственной задачей переработки. Важной манипуляцией в обоих экспериментах была манипуляция структурой предъявляемых испытуемому списков пар задач переработки и хранения. Испытуемым предъявлялись списки, оканчивающиеся либо «длинной», либо «короткой» задачей переработки. «Длинные» задачи включали в себя три элементарные задачи переработки (например, три подлежащих верификации предложения в эксперименте 1), а «короткие» – только одну (например, одно подлежащее верификации предложение).

В эксперименте 1 было обнаружено, что в условии с использованием списков с «длинной» последней задачей точность воспроизведения удерживаемого материала была ниже, чем в условии с использованием «короткой» последней задачи, только тогда, когда задача хранения принадлежала вербальному домену. Таким образом, эффект порядка стимулов был обнаружен только при совмещении вербальной задачи переработки и вербальной задачи хранения. Скорость переработки была выше в случае использования задачи хранения, принадлежащей пространственному домену. Однако скорость обработки была ниже для последней задачи переработки, чем для первой задачи переработки вне зависимости от того, к какому домену принадлежала задача хранения. Таким образом, возникновение эффекта времени переработки не было ограничено конкретным сочетанием домена задачи переработки и задачи хранения.

В эксперименте 2 было обнаружено, что в условии с использованием списков с «длинной» последней задачей точность воспроизведения удерживаемого материала была ниже, чем в условии с использованием «короткой» последней задачи, только тогда, когда задача хранения принадлежала пространственному домену. Таким образом, в этом эксперименте было показано, что эффект порядка стимулов возникает при совмещении пространственной задачи переработки и пространственной задачи хранения. Скорость переработки была выше в случае использования задачи хранения, принадлежащей вербальному домену. Как и в эксперименте 1, было обнаружено снижение скорости

переработки для последней задачи переработки по сравнению с первой задачей переработки вне зависимости от того, к какому домену принадлежала задача хранения.

В обоих упомянутых экспериментах были получены сопоставимые результаты. Во-первых, эффект порядка стимула был обнаружен только тогда, когда задача переработки и задача хранения были связаны с использованием репрезентаций, принадлежащих одному домену. Во-вторых, при совпадении доменов задач переработки и хранения скорость переработки закономерно снижалась. В-третьих, эффект времени переработки был доменно-неспецифичным. Первый из полученных результатов свидетельствует о том, что переработка информации может негативно влиять на эффективность хранения в РП в силу существования механизма интерференции, приводящего к разрушению хранящихся в РП репрезентаций при активации репрезентаций, сходных с ними. В этом контексте предлагается говорить об интерференции, связанной с репрезентациями (*representation-based interference*, Maehara & Saito, 2007). Второй результат подтверждает предположение о существовании подобного интерференционного механизма и показывает, что интерференция между функциями хранения и переработки может быть взаимной. Однако, третий результат оказывается плохо совместимым с представлениями о взаимном влиянии процессов, реализующих функции хранения и переработки, на основе интерференции между подобными репрезентациями. Обнаруженный эффект времени переработки не зависел от сходства использованных репрезентаций. Скорее, он может быть связан с переключением произвольного внимания с выполнения операций по переработки информации на выполнение операций обновления («ре-активации») элементов, хранящихся в РП (Bartouillet & Camos, 2007). Таким образом, полученные в этом исследовании результаты свидетельствуют о том, функции хранения и переработки в РП могут быть не независимыми, но взаимно влиять друг на друга посредством различных механизмов.

В контексте изучения влияния переработки на эффективность хранения в РП предложено выделять четыре возможных механизма такого влияния: отвлечение внимания, конкуренцию ответов, суперпозицию и перезапись признаков (Oberauer, 2009). Механизм отвлечения внимания заключается в том, что переработка информации приводит к лишению хранящихся в РП элементов ограниченного ресурса внимания, необходимого для поддержания их в активном состоянии или для их консолидации. Механизм конкуренции ответов заключается в том, что выполнение задачи переработки приводит к активации (или созданию) репрезентаций, которые могут извлекаться вместо хранящихся в РП репрезентаций, приводя к снижению объема воспроизведения.

Механизм суперпозиции заключается в том, что при извлечении элемента из РП на него накладываются активированные в ходе переработки репрезентации, ассоциированные с той же временной позицией, что и извлекаемый элемент. Это приводит к затруднениям в извлечении элементов, которые становятся тем больше, чем меньше сходство активированных в ходе переработки репрезентаций и извлекаемых элементов. Механизм перезаписи признаков заключается в том, что при хранении элементов в РП может происходить их деградация в силу того, что репрезентации отдельных элементов частично разделяют одни и те же признаки. Таким образом, эффективность хранения снижается, если признаки перерабатываемых репрезентаций пересекаются с признаками удерживаемых в РП репрезентаций.

В серии экспериментов (Oberauer, 2009) было изучено влияние различных факторов, определяющих степень сходства удерживаемых и перерабатываемых в РП репрезентаций, на эффективность хранения информации в РП. Испытуемым предъявлялись для запоминания 4 слова, каждое из которых сопровождалось 4 словами (слова-дистракторы), которые необходимо было прочесть вслух. В экспериментах изменялась степень фонетического и семантического сходства между запоминаемыми словами и словами-дистракторами, а также степень совпадения фонетических признаков запоминаемых слов и слов-дистракторов. Фонетическое сходство определялось как различие запоминаемого слова и слова-дистрактора в единственной фонеме (т.е. звучание обоих слов было похожем). Совпадение фонетических признаков определялось через использование в обоих словах одних и тех же фонем, но идущих в разном порядке (т.е. звучание запоминаемого слова и слова-дистрактора не было похожем). Было обнаружено, что, с одной стороны, изменение степени фонетического и семантического сходства практически не оказывало влияния на эффективность воспроизведения удерживаемых в РП слов. С другой стороны, совпадение фонетических признаков запоминаемых слов и слов-дистракторов приводило к выраженному снижению эффективности воспроизведения информации из РП. Подобный дифференцированный результат позволяет сделать выводы относительно обоснованности предположений об использовании некоторых из упомянутых выше возможных механизмов влияния процессов переработки на процессы хранения информации в РП.

Отсутствие отрицательного эффекта фонетического и семантического сходства запоминаемых слов и слов-дистракторов является свидетельством против гипотезы о конкуренции ответов как механизме интерференции между хранением и переработкой информации в РП. Конкуренция ответов предполагает, что выбор ответа при

воспроизведении информации из РП осуществляется из всего множества элементов, в который входят как удерживаемые в РП репрезентации, так и репрезентации, активированные в ходе осуществления процессов переработки информации. При этом выбор в качестве ответа определенной репрезентации из удерживаемых в РП репрезентаций должен быть затруднен, если другие элементы множества являются сходными с ней относительно используемого формата представления информации (например, фонетического или семантического). Так как подобные затруднения отсутствуют, конкуренция ответов на основе выбора соответствующей запросу репрезентации является маловероятным механизмом влияния процессов переработки на процессы хранения информации в РП. Однако то, что совпадение отдельных фонетических признаков оказывает негативное влияние на эффективность воспроизведения информации из РП, является свидетельством в пользу представлений о более опосредованном взаимодействии процессов хранения и переработки в РП. Согласно этим представлениям, активация репрезентаций в ходе переработки приводит к тому, что они начинают конкурировать с удерживаемыми в РП репрезентациями за отдельные составляющие репрезентации элементарные признаки, приводя к деградации удерживаемых в РП репрезентаций. Таким образом, результаты этих экспериментов свидетельствуют о возможности взаимодействия – хотя и не прямого – процессов переработки и хранения информации в РП в связи с использованием обоими видами процессов единого пространства признаков для представления информации.

Несмотря на приведенные выше данные о возможном наличии взаимодействия между процессами, реализующими функции хранения и переработки информации в РП, имеются результаты, подтверждающие относительную независимость этих процессов. О независимости функций хранения и переработки свидетельствует, например, сопоставление комбинированного и изолированного выполнения задач на хранение и задач на переработку информации (Duff & Logie, 2001). По сравнению с изолированным выполнением задач на хранение и переработку, их комбинированное выполнение приводит не более чем к 30% снижению эффективности работы испытуемых. При этом у значительной части испытуемых вообще не наблюдается снижения эффективности выполнения задач, предъявляемых одновременно. Этот результат противоречит гипотезе о том, что реализация функций хранения и переработки зависит от единого когнитивного ресурса, разделяемого между ними, и соответствует предположению о том, что функции хранения и переработки независимы и обеспечиваются различными ресурсами.

Возникающее при совмещении задач на хранение и переработку снижение эффективности их выполнения по сравнению с их предъявлением по отдельности может быть объяснено выделением части специализированных ресурсов на обеспечение координации реализации функций хранения и переработки. Также было обнаружено, что при уменьшении степени семантической связанности задач хранения и переработки снижение эффективности их комбинированного выполнения по сравнению с их выполнением по отдельности становится менее выраженным (Duff & Logie, 2001). Этот результат свидетельствует в пользу гипотезы о независимости функций хранения и переработки, связанной с тем, что их реализация осуществляется с привлечением различных, специализированных ресурсов. Такой вывод (Duff & Logie, 2001) может быть сделан в связи с тем, что разделение единого ресурса между двумя слабо связанными заданиями должно приводить к более выраженным нарушениям их выполнения, чем при разделении этого ресурса между двумя семантически связанными заданиями. Таким образом, отсутствие выраженного снижения эффективности выполнения задач по хранению и переработке информации при их комбинированном предъявлении по сравнению с их предъявлением по отдельности является фактом, поддерживающим представления об относительной независимости функций хранения и переработки информации в РП.

Вопрос о взаимодействии процессов хранения и переработки информации в РП также исследуется с применением корреляционных методов. С этой целью могут быть рассмотрены зависимости между хранением, скоростью и точностью обработки при выполнении сложных заданий на определение объема РП. Такие зависимости могут служить индикаторами взаимоотношений между компонентами РП, ответственными за реализацию функций переработки и хранения. Еще одним индикатором взаимодействия этих компонентов могут служить статистические показатели, определяющие степень совместного и изолированного влияния процессов хранения и переработки информации в РП на процессы, обеспечивающие реализацию высокоуровневых интеллектуальных функций. Показано, что корреляционные взаимосвязи между показателями эффективности хранения в РП и скоростью переработки могут быть либо положительными (Barrouillet & Camos, 2001; Towse & Hitch, 1995), либо статистически незначимыми (Towse, Hitch & Hutton, 2000; Waters & Caplan, 1996). Такое же разнообразие показано для корреляционных взаимосвязей между эффективностью хранения и точностью выполнения задач переработки: они могут быть как положительными (Daneman & Tardiff, 1987; Shah & Miyake, 1996; Waters & Caplan, 1996),

так и статистически незначимыми (Engle et al., 1992; Lepine et al., 2005; Shah & Miyake, 1996; Turner & Engle, 1986).

С помощью методов анализа латентных переменных, в частности, было обнаружено, что показатели эффективности хранения, а также точности и скорости обработки позитивно коррелируют между собой (Unsworth et al., 2009). Этот результат может свидетельствовать о наличии связи между процессами, реализующими функции хранения и переработки информации в РП, в том смысле, что они взаимно поддерживают друг друга. Кроме того, получение такого результата может быть вызвано тем, что за функциями хранения и переработки информации в РП стоит единый фактор – например, процессы исполнительного внимания (Engle, Kane & Tuchsolski, 1999; Kane et al., 2007). Следует отметить, что отсутствие негативных корреляций между эффективностью воспроизведения информации из РП, а также скоростью и точностью переработки информации противоречит выводам о негативном взаимном влиянии процессов хранения и переработки информации, сделанных в описанных выше в этом разделе экспериментальных исследованиях. Кроме того, также было обнаружено, что выделяемые факторы хранения, скорости переработки и точности переработки являются отдельными компонентами, каждый из которых объясняет уникальную долю дисперсии текучего интеллекта. При этом все три фактора также разделяют часть объясненной дисперсии текучего интеллекта как совместно, так и попарно, а влияние показателей эффективности хранения информации в РП на показатели текучего интеллекта опосредовано показателями скорости и точности переработки только частично.

Приведенные в этом разделе результаты относительно взаимодействия функций хранения и переработки информации в РП являются неоднозначными. В ряде исследований предполагается, что функции хранения и переработки осуществляются независимо друг от друга, в то время как другие исследования предполагают наличие выраженного взаимодействия этих функций. При этом эмпирические проявления такого взаимодействия могут быть достаточно противоречивыми. Например, степень сходства перерабатываемого и запомиаемого материала может оказывать негативное влияние на эффективность хранения информации в РП, а может и не оказывать такого влияния. В целом, имеющиеся данные не позволяют пока описать в полной мере характер взаимодействий между функциями хранения и переработки информации в РП и причины их возникновения.

### 3.3. Роль внимания в рабочей памяти

Выше упоминалось о наличии зависимости между показателями эффективности регуляции внимания и функциональными возможностями РП. Эффективность удержания информации в РП коррелирует со способностью к концентрации внимания на определенных источниках сенсорной стимуляции, а также со способностью подавлять интерференцию со стороны иррелевантных для решения текущей задачи репрезентаций. В частности, ярким примером взаимосвязи процессов внимания и РП является уже упомянутое ранее снижение эффективности селективного внимания при увеличении нагрузки на РП посредством необходимости выполнения дополнительной задачи (Lavie et al., 2004). Взаимосвязь функций внимания и РП является предметом сразу двух теорий РП – теории РП как исполнительного внимания (Kane et al., 2007) и теории вложенных процессов (Cowan, 1999).

Внимание играет центральную роль в осуществлении целенаправленной деятельности человеком. Существующее сегодня значительное разнообразие подходов к вниманию отражает существенные сложности в определении самого понятия внимания. Хотя первые попытки научного исследования внимания основывались на предположении, сформулированном У. Джеймсом - «каждый знает, что такое внимание», современные исследователи придерживаются более пессимистической точки зрения – «никто не знает, что такое внимание» (Pashler, 1998). Например, согласно представлениям М. Познера, функции внимания реализуются тремя компонентами – бдительностью, ориентировкой и исполнительным вниманием (Posner & Petersen, 1990). В таких условиях представляется затруднительным говорить о внимании как о единой функции с общепринятым определением. Поэтому прежде чем дать характеристику взаимосвязи внимания и РП, необходимо кратко описать различные теоретические концепции внимания.

Ранние исследования внимания (В. Вундт, У. Джеймс) подчеркивали роль внимания в отборе части воздействующей на сенсорные системы стимуляции для последующей обработки, а также в обеспечении качественных и безошибочных последовательностей действий. Роль механизмов внимания в отборе подлежащей обработке информации продолжает подчеркиваться в значительном количестве исследований внимания. Достаточно отметить, например, ставшую уже классической дискуссию о ранней и поздней селекции информации посредством механизмов избирательного внимания (Д. Бродбент, А. Трисман, Дж. Дейч и Д. Дейч). Роль внимания в регуляции целенаправленных действий проявляется в выполнении ошибочных действий

и невыполнении корректных действий при функциональных или патологических нарушениях внимания (Д. Норман и Т. Шаллис). В этом случае также можно говорить об использовании механизмов внимания для реализации функции отбора – отбора корректных действий из множества возможных действий, а не отбора определенной информации из множества актуально имеющейся стимуляции.

В контексте исследований взаимосвязей между вниманием и памятью большое значение приобретает дифференциация особого вида внимания – внутреннего внимания (Ribot, 2007; Pashler, 1998; Chun et al., 2011). Внутреннее (или интеллектуальное) внимание, в отличие от внешнего внимания, направлено на объекты субъективного опыта человека. Направление внутреннего внимания на некоторые из этих объектов обеспечивает их большую активацию и их более интенсивную переработку. Напротив, активация и интенсивность переработки объектов субъективного опыта человека, которые не находятся в фокусе внутреннего внимания снижается – возможно, до такой степени, что эти объекты феноменально прекращают существовать. Механизмы внутреннего внимания играют важную роль в успешном подавлении интерференции со стороны ментальных репрезентаций, иррелевантных по отношению к содержанию актуально решаемой задачи, но активированных до такой степени, что они получают доступ к сознательным переживаниям человека.

Другим важным для исследований РП подходом к вниманию является ресурсный подход. Работы Д. Канемана заложили основу для понимания внимания как процесса, для осуществления которого необходимо использование особых ресурсов, концептуально и операционально тесно связанных с уровнем энергетического обеспечения деятельности (Канеман, 2006). Конкретные представления о составе и функциях подобных ресурсов, отстаиваемые в различных «ресурсных» концепциях внимания, могут значительно различаться. В частности, в концепции Д. Канемана ресурсы внимания объединены в единый «резервуар» и являются неспецифическим, т.е. используются для поддержки выполнения всех видов задач. Напротив, факты успешного совмещения содержательно непохожих задач и факты менее эффективного совмещения содержательно похожих задач приводят к возникновению представлений о специфичности множественных ресурсов, которые могут быть параллельно задействованы при решении задач с различными требованиями к этапам сенсорной переработки, выбора ответа и его реализации (Wickens, 1980). Несмотря на подобные различия между ресурсными концепциями внимания, все они разделяют положение об ограниченности функциональных возможностей внимания, обусловленной необходимостью обеспечивать деятельность, требующую внимания,

использованием конечного количества «ресурсов». При этом фундаментальным недостатком ресурсного подхода являются трудности определения понятия ресурсов, которое не было бы связано с показателями эффективности решения задач, требующих внимания.

Внимание оказывает большое влияние на осуществление функций памяти. Показано, например, влияние внимания на процессы кодирования информации, приводящие к формированию первичного мнестического следа. Отвлечение внимания на этапе кодирования информации с помощью процедуры разделения внимания приводит к снижению эффективности последующего припоминания или опознания этой информации (Naveh-Benjamin et al., 2006). Методами функциональной магнитно-резонансной томографии показано, что сходный эффект увеличения эффективности запоминания при привлечении внимания на этапе кодирования обусловлен увеличенной интенсивностью перцептивной обработки подлежащей сохранению информации, а также подавлением переориентации внимания на обработку дистракторов (Turk-Browne et al., 2013).

Изменение эффективности хранения информации под влиянием воздействия процессов внимания на процессы кодирования информации может носить сложный, неоднозначный характер. Например, Talmi et al. (2007), изучая феномены влияния эмоций на эффективность хранения информации в памяти, предлагали своим испытуемым для запоминания зрительный материал позитивной и негативной эмоциональной валентности. В исследовании сравнивалось экспериментальное условие, в котором запоминание материала осуществлялось при разделенном внимании, с условием, в котором запоминание материала осуществлялось при полном внимании. Было обнаружено, что повышение эффективности запоминания материала позитивной эмоциональной валентности по сравнению с нейтральным материалом опосредуется процессами внимания. В то же время было обнаружено, что повышение эффективности запоминания негативного материала не зависело от фактора разделения внимания, т.е. не было опосредовано процессами внимания. Это может быть объяснено высоким уровнем физиологической активации, который сопровождает обработки негативного материала. Таким образом, хотя стимулы негативной эмоциональной валентности (как и стимулы позитивной эмоциональной валентности) способны привлекать внимание, только для позитивно окрашенного материала привлечение внимания становится фактором, влияющим на эффективность запоминания материала.

Влияние внимания на эффективность выполнения мнестических задач в случае отвлечения внимания от процессов кодирования информации отличается от влияния внимания в случае отвлечения внимания от процессов извлечения информации. Было показано (Naveh-Benjamin et al., 2006), что в этих двух случаях наблюдается характерная асимметрия эффектов отвлечения внимания. С одной стороны, как уже указывалось выше, отвлечение внимания на этапе кодирования приводит к выраженному снижению эффективности хранения информации. С другой стороны, отвлечение внимания на этапе извлечения информации имеет значительно меньший эффект, приводя к меньшему снижению эффективности воспроизведения и узнавания, или вообще не приводя к снижению эффективности извлечения информации. Таким образом, влияние процессов внимания на осуществление функций памяти зависит не только от характеристики запоминаемого материала, но и от стадии мнестического процесса.

Следует отметить, что отвлечение внимания на этапе извлечения информации может производить выраженный отсроченный эффект. В работе Dudukovic et al. (2009) испытуемым предъявлялись изображения для запоминания, эффективность которого затем определялась с помощью методики узнавания. Узнавание могло осуществляться как в условиях полного, так и в условиях разделенного внимания. Через несколько дней осуществлялось повторное тестирование эффективности запоминания предъявленного материала. Было обнаружено, что разделение внимания при первом тестировании не приводит к выраженному снижению эффективности узнавания, однако ведет к выраженному снижению эффективности узнавания при повторном тестировании. Таким образом, отвлечение внимания само по себе не приводит к заметному снижению эффективности извлечения информации, однако препятствует тому, чтобы эпизод извлечения информации выступал также в функции эпизода повторения информации.

Подобные эффекты влияния отвлечения внимания на эффективность сознательно запоминаемой и сознательно извлекаемой информации контрастируют с эффектами внимания, которые возникают при осуществлении функций памяти посредством автоматических, а не сознательно контролируемых процессов. Например, имеются данные об отсутствии влияния процессов внимания на возникновение «ложных воспоминаний» (Pimentel & Albuquerque, 2013). В этом исследовании испытуемым для запоминания предъявлялся список слов, семантически тесно связанных со словом-дистрактором, которое само в списке не встречалось (DRM-парадигма). На этапе тестирования испытуемые должны были воспроизвести предъявленный список. Испытуемые могли совершить ошибку, назвав слово-дистрактор среди слов, входивших в список, причем такая ошибка

совершалась достаточно часто. Однако разделение внимания на этапе извлечения информации из памяти не приводило к изменению вероятности ложного припоминания слова-дистрактора. Этот результат говорит о том, что автоматически активированные ложные воспоминания оказываются очень устойчивыми по отношению к действию процессов внимания на процессы кодирования, хранения и извлечения информации.

Приведенные результаты касались влияния внимания на эффективность извлечения информации при выполнении эксплицитных мнестических задач. Неоднозначные данные получены относительно влияния внимания на имплицитное извлечение информации из памяти. Так, Lozito & Mulligan (2010) обнаружили, что при выполнении разнообразных заданий на имплицитную память (включавших извлечение как перцептивной, так и концептуальной информации, а также как опознание, так и генерацию стимулов) разделение внимания между выполнением основной (мнестической) задачи и дополнительной задачи не приводило к снижению эффективности выполнения ни в одной из задач. В той мере, в какой выполнение заданий на имплицитную память зависит от участия автоматических мнестических процессов, этот результат свидетельствует о независимости эффективности автоматизмов памяти от привлечения ресурсов внимания к их осуществлению.

Однако также существуют свидетельства того, что извлечение информации при выполнении заданий на имплицитную память может зависеть от участия процессов внимания. В частности, в одном из мета-аналитических исследований зависимости между разделением внимания и имплицитной памятью (Spataro et al., 2011) было показано, что разделение внимания оказывает слабое, но значимое негативное влияние на имплицитную память. При этом эффект был более выраженным для задачи генерации стимулов (таких как припоминание экземпляров категорий), чем для задач идентификации стимулов. Таким образом, процессы внимания могут оказывать влияние не только на эксплицитную память, но и на имплицитную память, несмотря на то, что доля автоматических, сознательно не контролируемых (т.е. непосредственно не связанных с вниманием) процессов в реализации функций имплицитной памяти значительно больше. В силу этого можно сделать вывод, что процессы внимания участвуют в реализации многих этапов мнестического процесса. При этом конкретное соотношение процессов внимания и процессов памяти является сложным и определяется действием многих факторов, таких как тип запоминаемой информации, тип задачи по извлечению информации, относительное значение автоматизмов памяти и, возможно, другими переменными.

Результаты, приведенные выше, преимущественно свидетельствуют о зависимости процессов ДВП от процессов внимания. Также тесно взаимосвязанными являются внимание и РП. Об этом говорят, например, факты ковариации показателей объема РП и показателей эффективности управления вниманием, таких как эффективность выполнения задачи дихотического слушания, задачи Струпа и задачи на антисаккаду (см. раздел 2.4). Согласно концепции РП как исполнительного внимания Р. Энгле (Engle, 2002; Kane et al., 2007; см. раздел 1.1), процессы внимания могут выполнять в контексте реализации функций РП различные задачи. К ним относятся:

1. Поддержка высокого уровня активации репрезентаций, находящихся в фокусе внимания, а также репрезентаций, находящихся вне фокуса внимания.
2. Активация («извлечение») информации, находящейся в неактивном состоянии и сохраняемой в ДВП.
3. Подавление активации репрезентаций и моторных реакций, иррелевантных для достижения текущих целей, но активируемых под воздействием ситуации, в которой находится человек.

Согласно упомянутой концепции, роль процессов внимания в реализации функций РП особенно важна в случаях высокой степени интерференции между стимулами, репрезентациями и допустимыми реакциями. Под действием интерференции может происходить деградация репрезентаций, активированных в РП, могут возникать трудности извлечения той информации из ДВП, которая соответствовала бы поисковому запросу, а также может происходить замена программ действий, соответствующих актуально стоящей перед человеком цели, на программы, автоматически активированные факторами окружения. Высокоэффективные процессы внимания, входящие в систему процессов обеспечения функций РП, предупреждают возникновение подобных неблагоприятных феноменов, способствуя осуществлению человеком целенаправленной деятельности (Романов, Дормашев, 1993).

Эмпирически участие процессов внимания в реализации функций РП проявляется в феноменах четкого разделения дисперсии различных заданий на РП и КВП на независимые факторы, соответствующие разным механизмам, используемым при выполнении этих заданий. Например, в одном из исследований (Engle et al., 1999) были использованы сложные задания на определение объема РП – т.е. задания на определение собственно объема РП (задания на определение объема операций, объема чтения и объема

счета) – и заданий на определение объема КВП (задания на определение прямого и обратного объема слов). Структурная модель, предполагающая выделение одного фактора, объединяющего задания обоих типов, соответствовала данным в гораздо меньшей степени, чем модель, предполагающая выделение двух факторов, каждый из которых объединял задания определенного типа. Кроме того, иерархическая структурная модель, предполагающая выделение фактора второго порядка с нагрузками по двум выделенным ранее факторам соответствовала данным в еще большей степени. Исходя из содержания заданий обоих типов, можно интерпретировать указанный фактор второго порядка как фактор, отражающий процессы кратковременного хранения, а также стратегии проговаривания и укрупнения элементов информации. Фактор остаточной дисперсии сложных заданий на определение объема РП связан с теми процессами, которые используются при решении заданий этого типа и не используются при решении заданий на определение объема КВП – процессами, связанными с необходимостью координировать кратковременное хранение и оперативную переработку информации, т.е. процессами, относящимися к сфере внимания. Таким образом, внимание обеспечивает оперативное удержание и переработку информации. Показательно, что именно фактор, представляющий остаточную дисперсию сложных заданий на определение объема РП, оказался наиболее сильным предиктором общего интеллекта.

Характеристика взаимодействия РП и внимания предполагает решение ряда до сих пор нерешенных проблем, которые могут только быть упомянуты в рамках настоящей работы. К таким проблемам относится, например, проблема роли конструкта «активации» в реализации функций РП. Активация представляет собой ресурс, который может быть использован для изменения порога извлечения элементов памяти (Cowan, 1999). Неясным остается при этом, в какой мере ресурсы активации тождественны ресурсам внимания. Другой вопрос – это вопрос о возможной роли селективного внимания в использовании элементов, удерживаемых в РП. Процессы селекции, родственные процессам селекции в перцептивном поле, могут составлять основу выбора тех элементов, удерживаемых в РП, которые должны стать предметом переработки. Еще одна открытая проблема заключается в том, в какой мере внимание может распределяться между удерживаемыми в РП элементами, подобно тому, как оно распределяется между перцептивными элементами. Упомянутые проблемы, взятые также и в аспекты возможного пересечения мозговых механизмов внимания и РП (Серкова и др., 2015), показывают, что возможная связь между РП и вниманием является сложной, охватывая различные аспекты организации процессов внимания и оперативного хранения информации.

### 3.4. Рабочая память в решении познавательных задач

Выше (глава 1) были приведены свидетельства существования выраженной связи между индивидуальными характеристиками РП и успешностью выполнения различных видов интеллектуально-сложной деятельности. Наличие таких связей позволяет утверждать, что универсальные механизмы РП (и их индивидуальные особенности) опосредованно связаны с механизмами реализации сложных познавательных функций, основывающихся на использовании механизмов мышления. Высокая степень корреляции «высокоуровневых» познавательных функций и индивидуальных характеристик РП наиболее ярко проявляется в существовании выраженных корреляций между показателями эффективности выполнения сложных заданий на определение объема РП и показателями текучего интеллекта.

Возможная роль текучего интеллекта в структуре общих способностей и в успешности осуществления целенаправленной деятельности общеизвестна и вряд ли подлежит сомнению. Под текучим интеллектом принято понимать такой компонент общих способностей, который максимально обусловлен биологически и связан с усмотрением отношений между элементами новых задач – т.е. таких задач, которые не встречались ранее и для которых в опыте человека еще не сформировались готовые алгоритмы решения (Б.М. Величковский, 1990; Дружинин, 1999; Ушаков, 2003). Текучий интеллект отличается от кристаллизованного интеллекта, представляющего сумму социокультурно обусловленных знаний, умений и навыков, отложившихся в опыте человека в ходе его взаимодействий со средой. Текучий интеллект обуславливает возможность творческого подхода человека к разрешению неординарных проблемных ситуаций и, таким образом, оказывает непосредственное влияние на уровень адаптации человека к требованиям физической и социальной среды.

Исследование факторной структуры ряда показателей РП и КВП (Kane et al., 2007) показывает, что фактор, специфически связанный с индивидуальными особенностями РП, является надежным предиктором индивидуальных особенностей текучего интеллекта. В построенной в указанном исследовании структурной модели значение путевого коэффициента между факторами индивидуальных особенностей РП и текучего интеллекта составило 0,68, что говорит о выраженной связи между ними. В ряде других исследований было показано, что путевые коэффициенты между факторами, уникальными для заданий на РП, и факторами текучего интеллекта достигают похожих значений (Engle et al., 1999). Хотя корреляционные данные не могут, безусловно, говорить о наличии каузальной связи

между индивидуальными особенностями РП и текучего интеллекта, наличие описанных закономерностей является убедительным свидетельством возможного участия механизмов, связанных с реализацией функций РП, в реализации механизмов, обеспечивающих сложную познавательную деятельность.

Конкретная роль механизмов РП в реализации текучего интеллекта остается до сих пор малоизученной. Её изучение могло бы стать важным фактором теоретического прогресса в исследовании функций РП, а также принципов и механизмов когнитивной деятельности в целом. Сегодня можно отметить два возможных механизма участия РП в осуществлении функций текучего интеллекта.

Во-первых, процессы РП могут влиять на реализацию функций текучего интеллекта за счет процессов исполнительного внимания. Исполнительное внимание, понимаемое как функция контроля над уровнем активации сенсорных, когнитивных и моторных репрезентаций, реализуется специализированным компонентом РП – центральным исполнителем или другими, аналогичными по функции теоретическими структурами. Так как центральный исполнитель определяет уровень активации репрезентаций, удерживаемых в системах оперативного хранения, входящих в состав РП, то от активности этого компонента РП во многом зависит, какие репрезентации будут удерживаться в РП с возможностью их перемещения в фокус внимания, а какие будут вытеснены на периферию сознания. Таким образом, процессы исполнительного контроля оказывают влияние на содержание мыслительной деятельности, непосредственно влияя на её результаты.

Участие процессов исполнительного внимания в формировании связи между индивидуальными особенностями РП и текучего интеллекта может быть показано на основе того факта, что латентный фактор, соответствующий общей изменчивости показателей эффективности выполнения заданий на РП за вычетом изменчивости, разделяемой показателями эффективности выполнения заданий на РП и КВП, является надежным предиктором текучего интеллекта (Kane et al., 2007). В то же время, латентный фактор, соответствующий общей изменчивости показателей эффективности выполнения заданий на РП и КВП является либо гораздо менее надежным предиктором текучего интеллекта, либо вообще не является таковым. Таким образом, корреляционные зависимости между индивидуальными особенностями РП и текучего интеллекта формируются за счет тех процессов, которые являются уникальными для выполнения заданий на РП по сравнению с выполнением заданий, требующих использования только

функций КВП. Так как для заданий на КВП и РП характерно кратковременное хранение информации – возможно, дополненное использованием специализированных и высокоавтоматизированных мнестических стратегий типа проговаривания на основе механизма фонологической петли, то уникальными для выполнения заданий на РП следует признать именно процессы исполнительного внимания, обеспечивающие совмещение функций хранения и переработки информации в разделяемом временном и ресурсном контексте. В силу этого, процессы исполнительного внимания могут оказывать непосредственное влияние на зависимость показателей текучего интеллекта от показателей эффективности выполнения заданий на РП.

Во-вторых, зависимость между индивидуальными особенностями РП и текущим интеллектом (и сложной познавательной деятельности в целом) может быть обусловлена механизмами РП, связанными с извлечением информации из ДВП. Ряд концепций РП (см. например, Unsworth & Engle, 2007) предполагают сбалансированное участие процессов непосредственного доступа к информации в КВП и процессов извлечения информации из ДВП в реализации функций РП. Припоминание релевантной для разрешения актуальной проблемной ситуации информации в условиях интерференции и возможной неполноты критериев её поиска является очевидной предпосылкой успешного решения задачи. Не случайно оценки эффективности произвольного припоминания информации, хранящейся в ДВП, входят в состав некоторых средств для оценки интеллекта – например, теста Амтхауэра (Дружинин, 1999). Таким образом, процессы контролируемого извлечения информации из ДВП, реализуемые механизмами РП, могут приводить к возникновению описанных зависимостей между индивидуальными особенностями РП и индивидуальными особенностями текучего интеллекта.

Следует отметить, что указанные возможности возникновения зависимости между показателями эффективности выполнения заданий на РП и тестов общих способностей не исчерпывают все множество механизмов возникновения влияния процессов, связанных с реализацией функций РП, на процессы, связанные с осуществлением сложной познавательной деятельности. Учитывая центральную роль познавательной деятельности в успешной адаптации человека к условиям его существования, можно понять, что наличие такой зависимости позволяет приписывать РП значение одного из центральных конструктов, используемых для объяснения адаптационных исходов в сложных изменяющихся средах. Чтобы лучше понять, как именно механизмы, реализующие функции РП, могут влиять на познавательную деятельность и адаптацию человека к требованиям среды, следует обратить особое внимание на функциональную организацию

РП как системы специализированных компонентов и процессов, обеспечивающих удержание в активном состоянии когнитивных репрезентаций, релевантных для решения текущих задач, с возможностью их одновременной трансформации.

### **3.5. Проблемы функциональной организации рабочей памяти**

Выше были рассмотрены различные аспекты функционирования РП человека, связанные как с её структурной организацией, так и с динамикой её реализации. В данном разделе будут описаны некоторые проблемы, связанные с затронутыми ранее вопросами организации функционирования РП, для которых пока еще отсутствуют эмпирические решения. Эти проблемы включают в себя такие вопросы, как вопрос об однородности или неоднородности РП, вопрос о количестве и функциональных характеристиках компонентов РП, вопросы, связанные с взаимодействием компонентов РП между собой и с другими подсистемами памяти, вопрос о когнитивных механизмах, обеспечивающих функционирование отдельных компонентов РП, вопрос о механизмах реализации различных заданий, используемых для оценки уровня развития функций РП, а также вопросы, связанные с ролью неспецифических ресурсов когнитивной переработки и ресурсов внимания в реализации функций РП. Решение этих вопросов позволит достичь более углубленного понимания принципов организации РП, когнитивных механизмов её функционирования, а также функциональных ограничений РП и её роли в осуществлении целенаправленной деятельности.

Центральным вопросом для характеристики функциональной организации РП человека является вопрос о её структуре. В этом вопросе, в первую очередь, следует выделить аспект однородности/неоднородности структуры РП. Согласно целому ряду теоретических воззрений, РП является однородной, т.е. представляет собой единое, недифференцированное функциональное образование, обеспечивающее оперативное удержание релевантной для решения текущей задачи информации. К подобным теоретическим взглядам на структуру РП относятся концепция, не предполагающие выделения РП, КВП и ДВП как самостоятельных систем – в частности, концепция единого следа (Wickelgren, 1974) и теория признаков (Nairne, 1990). В этих теориях память в целом представляется как однородное множество мнестических следов, над которыми оперируют единообразные процессы консолидации и интерференции, а различия между кратковременными и долговременным хранением (в частности, различия в объеме хранения) объясняются разной временной динамикой процессов консолидации в различной временной перспективе. Концептуализация РП как однородного образования

связана с очевидными преимуществами при построении теорий мнестических процессов (в том числе теорий РП), так как все многообразие процессов памяти и явлений их использования в контексте деятельности человека может быть описано и объяснено в терминах единой группы механизмов работы с унифицированными мнестическими следами.

Объяснительная экономичность концепции однородной РП делает её привлекательной основой для построения теорий РП, но в то же время она противоречит многочисленным результатам, свидетельствующим о возможности выделения в составе РП различных компонентов. Подобные результаты уже цитировались выше, и здесь будет приведен только их краткий интегративный обзор. Как хорошо известно, в структуре РП могут выделяться компоненты, обеспечивающие хранение и переработку информации разной модальности (например, вербальной и зрительно-пространственной). Дифференциация может осуществляться и в отношении функции отдельных компонентов – выделяться могут как системы хранения информации, так и системы, обеспечивающие управление переработкой информации и удержанием информации в системах хранения («центральный исполнитель» в модели А. Бэддели, система исполнительного внимания в модели Н. Коуэна). В рамках данного исследования особенно важным представляется различие в структуре РП двух компонентов - фокуса внимания и активированной ДВП (Oberauer, 2002). Выделение фокуса внимания как самостоятельного компонента РП может быть обосновано различными результатами. Так, для фокуса внимания характерен практически мгновенный доступ к данным, а также значительные ограничения объема хранения. С другой стороны, информация в ДВП должна извлекаться с привлечением процессов контролируемого поиска (Cowan, 1999). Для этого компонента РП характерными ограничениями являются не ограничения по объему, а ограничения количества активации, которая должна распределяться между активированными репрезентациями.

Как уже отмечалось выше, возможна и более детальная дифференцировка структуры РП с выделением в её составе не только фокуса внимания и активированной части ДВП, но и еще одной области с особым функциональным статусом. Эта область получила в концепции К. Оберауера название региона прямого доступа. Она может быть связана с реализацией возможности ускоренного – по сравнению с активированной частью ДВП – доступа к содержащейся в ней информации при одновременном увеличении объема хранения по сравнению с фокусом внимания. Таким образом, концепция региона прямого доступа может быть сведена к представлению о

неоднородности самого фокуса внимания с выделением в нем функционально различных областей, общим свойством которых является непосредственный доступ к удерживаемой в них информации.

Одним из оснований такой дифференциации структуры РП являются противоречивые данные об объеме РП. Широко распространенная оценка объема РП как охватывающей  $7 \pm 2$  изолированных элемента информации является, вероятно, завышенной. Н. Коуэн (Cowan, 2000) провел подробный обзор результатов исследований объема «умственного хранилища», проведенных начиная с 1950-х гг., и показал, что несмотря на некоторую межиндивидуальную вариативность объема РП, многочисленные свидетельства говорят о его ограниченности 3-5 изолированными элементами, т.е. в среднем – 4 изолированными элементами. В этой связи Н. Коуэн говорит даже о «магическом числе 4» (Cowan, 2000, с. 87). Свидетельства такого ограничения объема РП получены с помощью целого ряда экспериментальных парадигм. К ним относятся парадигмы, направленные (1) на создание информационной перегрузки, (2) на предупреждение сохранения информации в ДВП и её проговаривания, (3) на оценку нарушений непрерывности в выполнении мнестических задач, и (4) на оценку косвенных эффектов ограничений объема оперативного хранения. Согласно теоретическим воззрениям Н. Коуэна (которые уже были раскрыты выше – см. раздел 1.2), оцененный с помощью вышеуказанных парадигм объем РП является объемом фокуса внимания, обеспечивающего сознательный доступ к удерживаемой в нем информации.

Подобным представлениям об объеме фокуса внимания противоречит концепция Б. МакЭлри и Б. Дошер (McElree & Doshier, 2000), согласно которой объем фокуса внимания должен быть ограничен единственным элементом. Эти авторы отмечают, что подтверждения четырехэлементному ограничению объема РП были получены в экспериментальных условиях, связанных с одновременным предъявлением значительного количества стимулов. Однако исследования скорости извлечения информации из РП при её последовательном предъявлении показывают несколько другую картину. В этих исследованиях обнаруживается, что при извлечении всех элементов, удерживаемых в РП, за исключением предъявленного последним, можно наблюдать постоянную скорость извлечения. Элемент, предъявленный последним, извлекается значительно быстрее (скорость извлечения на 50% выше). Такой ускоренный доступ к элементу, предъявленному последним, был показан с использованием различных экспериментальных парадигм: поиска в памяти, опознания парных ассоциаций, и даже

задачи установления синонимичности между тестовым элементом и элементом, удерживаемым в РП.

Исследования с применением задачи n-back (Verhaegen et al., 2007), также проведенные с регистрацией скорости извлечения информации из РП, показывают, что объем РП (точнее, фокуса внимания) может изменяться в зависимости от уровня тренированности испытуемых. Такая изменчивость объема фокуса внимания может быть связана как с использованием других компонентов РП (таких как регион прямого доступа), или же с динамической настройкой объема фокуса внимания на уровень доступных когнитивных ресурсов, который изменяется в зависимости от мотивационных переменных, функционального состояния испытуемого и степени автоматизации решаемой задачи. Объяснение вариативности объема РП посредством указания на особенности структурно-функциональной организации РП является важной перспективной задачей исследований РП.

Другой актуальной проблемой исследований структуры и механизмов РП является проблема взаимодействия компонентов РП. Взаимодействие компонентов РП может развиваться в «вертикальном» и в «горизонтальном» направлении. К вертикальным взаимодействиям относятся взаимодействия компонентов РП, объединенных иерархическими отношениями подчинения. В частности, значительный интерес представляют взаимодействия постулируемого в модели А. Бэддели гипотетического «центрального исполнителя» и систем оперативного хранения информации. Центральному исполнителю приписываются функции управления распределением ресурсов между модально-специфичными системами хранения, а также функции произвольного извлечения информации из ДВП и загрузки её в системы хранения (Baddeley, 1996). В целом, эти решения этих вопросов выводит на проблему межсистемной (Карпов, 2004; 2012) и уровневой организации психики (Бернштейн, 1947; 1966; Б.М. Величковский, 1999; 2006) в которой памяти (включая РП) может быть уготована роль «универсального интегратора» (Веккер, 1981). Однако каково содержание выполняемых центральным исполнителем при этом операций, каково их влияние на системы хранения, и каким образом осуществляется координация взаимодействия центрального исполнителя и систем хранения, остается во многом неизвестным.

Подобная неопределенность характерна и для описаний взаимодействия контролирующих инстанций РП и фокуса внимания – «ядерной» зоны РП, содержащей когнитивные репрезентации, доступные для сознательного отражения. Наиболее

детальным утверждением в этой связи является утверждение о том, что центральный исполнитель обеспечивает перемещение фокуса внимания в активированной части ДВП с целью повышения до сверх-порогового уровня активации единичных репрезентаций (Cowan, 1999). Такая характеристика взаимодействия центрального исполнителя (или любого другого «контроллера внимания») и фокуса внимания является достаточно поверхностной, не раскрывая деталей взаимодействия этих компонентов РП.

К горизонтальным взаимодействиям компонентов РП можно отнести взаимодействия компонентов, относящихся к одному иерархическому уровню в составе РП или же выполняющих сходные функции. К таким взаимодействиям могут относиться взаимодействия модально-специфичных систем хранения – фонологической петли и зрительно-пространственного блокнота. К ним также могут относиться взаимодействия подсистем хранения, различающихся уровнем активации удерживаемых элементов – фокуса внимания, региона прямого доступа и активированной части ДВП. Взаимодействие модально-специфичных систем хранения возникает тогда, когда удержание информации в одной системе влияет на удержание информации в другой системе. Вопрос о взаимодействии модально-специфичных систем хранения сегодня остается открытым. В частности, существуют свидетельства в пользу предположения о независимости вербальной и зрительно-пространственной РП (Shah & Miyake, 1996). Обнаружение взаимодействия модально-специфичных компонентов РП имеет важное теоретическое значения, так как в его основе может лежать использование обеими системами хранения единого резервуара разделяемых когнитивных ресурсов (Канеман, 2006). Взаимодействие подсистем хранения, различающихся уровнем активации, может сводиться к перемещению информации между ними с целью оптимизации скорости доступа и объема удерживаемой информации.

Функционирование различных компонентов РП может обеспечиваться специализированными механизмами. Например, объяснение возможности реализации функций гипотетического центрального исполнителя требует предположения о существовании таких механизмов, как механизма управления вниманием, механизма поиска информации в РП и ДВП, а также механизма распределения ресурсов между компонентами РП таким образом, чтобы компоненты, играющую центральную роль в осуществлении актуально выполняемой деятельности, были максимально активны. Наличие таких механизмов позволяет центральному исполнителю осуществлять оперативное управление подчиненными системами хранения в целях обеспечения доступа к информации, необходимой для решения задач, стоящих перед человеком.

Реализация функций фокуса внимания также требует использования ряда специальных механизмов. Необходим механизм выбора информации из других систем хранения и загрузки её в фокус внимания. Кроме того, информация, загруженная в фокус внимания, может трансформироваться, что требует предположения о реализации в фокусе внимания разнообразных механизмов переработки информации. Такое сочетание механизмов может обеспечить выполнение фокусом внимания его роли как хранилища той когнитивной репрезентации, которая является предметом текущей когнитивной переработки.

Для обеспечения функционирования региона прямого доступа, существование которого допускается концентрической моделью РП (Oberauer, 2002; см. раздел 1.1), могут использоваться механизмы загрузки и выгрузки информации. На их основе возможна реализация адекватного требованиям актуальной задачи заполнения этой системы хранения релевантными репрезентациями, а также их замена на альтернативные репрезентации в случае необходимости. Потребность в изменении состава репрезентаций, хранящихся в регионе прямого доступа, может возникать достаточно часто при решении сложных задач, требующих работы с многочисленными репрезентациями. При отсутствии специализированных механизмов выгрузки и загрузки репрезентаций реализация такой функциональности была бы невозможной.

Оперативное хранение информации в активированной части ДВП требует использования специализированных механизмов поиска информации, без которых локализация релевантных для решения актуальных задач репрезентаций в потенциально неограниченной по объему системе хранения представляется затруднительной. Кроме того, возможная подверженность репрезентаций, хранящихся в этом компоненте РП, негативному влиянию интерференции делает необходимым использование механизмов контроля интерференции. Необходимость подобных механизмов связана с определением активированной части ДВП как подмножества ДВП, что накладывает на неё все ограничения, характерные для ДВП.

Удержание информации в модально-специфических системах хранения – фонологической петле и зрительно-пространственном блокноте также требует существования механизма контроля интерференции, так как хранящиеся в них репрезентации могут конкурировать за то, к какой из них будет относиться тот или иной элементарный признак. Кроме того, для реализации функций этих компонентов необходимо использование механизмов загрузки и выгрузки информации, подобных

используемым при реализации функций региона прямого доступа. Специфическим механизмом фонологической петли является механизм проговаривания, позволяющий повторно активировать удерживаемые в этом компоненте репрезентации. Существование родственного по функции механизма показано и для зрительно-пространственного блокнота (Awh, Jonides & Reuter-Lorenz, 1998). Также хорошо изучен характерный для модально-специфических систем хранения механизм укрупнения – механизм образования составных единиц информации на основе отдельных репрезентаций с целью повышения объема хранения. Аналогичный механизм на основе формирования ассоциаций может применяться с той же целью в активированной части ДВП. Механизмы модально-специфических систем хранения могут использоваться и в амодальной системе оперативного хранения – эпизодическом буфере, однако в этом случае можно предположить существование специфического механизма формирования полимодальных репрезентаций.

С вопросом об особенностях функциональной организации РП тесно связан вопрос о механизмах выполнения различных классов задач на РП. С одной стороны, это обусловлено тем, что функциональная организация РП накладывает существенные ограничения на возможные механизмы реализации когнитивных действий, обеспечивающих выполнение задач, требующих привлечения ресурсов РП. С другой стороны, специфические требования отдельных задач задают ограничения, которым должны соответствовать принципы функциональной организации РП.

Два типа задач получили особенно широкое распространение при изучении РП – сложные задачи на определение объема РП и задачи на обновление РП. Задачи первого типа заключаются в последовательном предъявлении множества элементов для последующего воспроизведения, которое чередуется с выполнением дополнительной задачи. Задачи второго типа заключаются в оперативном удержании в РП множества элементов информации и изменении некоторых из них. Таким образом, задачи обоих типов содержательно различаются, и обоснование использования ресурсов РП для выполнения задач обоих типов требует детального описания механизмов их выполнения.

Для сложных задач на определение объема РП возможные механизмы заключаются, во-первых, в разделенном использовании ограниченных по объему модально-специфических систем хранения или региона прямого доступа для удержания части предъявляемых элементов для запоминания элементов, а также информации, необходимой для решения дополнительной задачи. Кроме того, при необходимости

удерживать в РП множество элементов, размер которого превышает ограниченный объем хранения модально-специфических систем или региона прямого доступа, часть информации будет удерживаться в активированной части ДВП. При увеличении сложности дополнительной задачи, в частности, при увеличении количества подлежащих удержанию промежуточных результатов, часть предъявленных для запоминания элементов будет «выгружаться» в активированную часть ДВП. Фокус внимания будет использоваться для выполнения дополнительной задачи. Таким образом, при выполнении сложных задач на определение объема РП будут наблюдаться использование различных компонентов хранения с перемещением информации между ними.

Для задач на обновление РП возможный механизм их реализации заключается в использовании модально-специфических систем хранения или региона прямого доступа, а также – при необходимости удержания значительного объема информации – активированной части ДВП. Обновление удерживаемых элементов будет осуществляться за счет их выбора в фокус внимания и применения соответствующих трансформаций. Хотя в случае выполнения задач на обновление РП, также как и в случае выполнения сложных задач на определение объема РП, будут использоваться различные компоненты хранения, обмен информацией между ними будет менее выраженным. Постоянство нагрузки на компоненты хранения будет связано с отсутствием дополнительной задачи, предъявляющей изменяющиеся требования к удержанию в РП дополнительных объемов информации.

Сходства и различия в механизмах выполнения задач на обновление РП и сложных задач на определение объема РП могут прояснить противоречивые результаты о корреляциях между показателями эффективности выполнения этих задач (Kane et al., 2007; Schmiedeck et al., 2009). Для выполнения различных задач будет использовано такое сочетание компонентов хранения и такой тип их ресурсного обеспечения, при которых будут выполнены возникающие требования к удержанию и переработке необходимых объемов информации. Описание того, какие именно компоненты РП используются при решении определенной задачи, и как осуществляется взаимодействие между ними, требует понимания структуры РП и функциональных взаимоотношений её компонентов. Из этого почти прямо следует, что дробление ментальных операций и их связей в зависимости от типа задач, требующих оперативного сохранения и использования информации, может быть сколь угодно широким.

При рассмотрении функционирования РП как системы оперативного хранения информации важную роль играют не только структурные аспекты её организации (состав и свойства её компонентов, прежде всего компонентов хранения), но и вопросы обеспечения реализации их функций. В этой связи возникает вопрос о том, какова роль доменно-неспецифических ресурсов в поддержке функционирования РП. Например, это влияние может ограничиваться обеспечением функций доменно-неспецифических компонентов РП, таких как центральный исполнитель, фокус внимания или эпизодический буфер. В частности, в силу того, что доменно-неспецифические ресурсы необходимы для осуществления различных видов сознательной когнитивной переработки, а также в силу тесной связи функций сознания и РП, можно предположить, что неспецифические ресурсы играют важную роль в обеспечении переработки информации в РП. Однако значение доменно-неспецифических ресурсов для обеспечения функций РП может оказаться значительно шире.

Доменно-неспецифические ресурсы могут быть необходимыми для функционирования модально-специфических систем хранения информации. В частности, значение неспецифических ресурсов может заключаться в обеспечении достаточного уровня активации удерживаемых элементов информации. Кроме того, неспецифические ресурсы могут использоваться для повторной активации элементов, удерживаемых в компонентах хранения, участвуя, таким образом, в реализации различных вариантов механизма «проговаривания». Неспецифические ресурсы также могут использоваться при осуществлении функций перемещения информации между различными компонентами хранения, что необходимо, например, при выполнении описанных выше задач, требующих использования РП.

В целом следует отметить, что доменно-неспецифические ресурсы могут использоваться при реализации различных механизмов РП. Они могут использоваться в целях осуществления когнитивной переработки удерживаемой в РП информации, в целях обеспечения собственно удержания информации в РП, с целью ре-активации удерживаемых в РП элементов, для которых высока вероятность распада, а также с целью поддержки процессов перемещения информации между компонентами хранения, входящими в состав РП. Таким образом, доменно-неспецифические ресурсы, предположительно, играют важную роль в обеспечении функционирования РП в целом. Возможно, основная функция доменно-неспецифических ресурсов заключается в том, что их привлечение к реализации функций РП обеспечивает возможность взаимодействия

структурных компонентов РП с целью оперативного удержания и переработки информации, необходимой для решения актуальных задач.

Решение открытых вопросов структурно-функциональной организации РП, о которых шла речь в этом разделе, важно для понимания того, как взаимодействие структурных элементов РП обеспечивает её участие в осуществлении целенаправленной деятельности человека. Как уже отмечалось выше, роль РП в осуществлении деятельности может быть многогранной – от хранения промежуточных результатов когнитивной переработки до специализированных функций по удержанию определяющих поведение человека целей и управлению ими. Структурно-функциональная организация РП должна, безусловно, оказывать влияние на возможность использования ресурсов РП при решении человеком различных задач. При этом центральное значение приобретают вопросы о том, какие компоненты РП существуют, какие особенности их характеризуют, каковы принципы их взаимодействия, и каковы их связи с другими системами когнитивных процессов. Рассмотрение этих вопросов представляется поэтому особенно важным, и следует отметить, что в последние годы наметилась тенденция масштабного изучения структуры и механизмов РП (Величковский и Козловский, 2012). Результатом исследований в этой области должно стать выявление взаимосвязи между структурно-функциональной организацией РП и её функциями – обеспечением непосредственного доступа к информации, релевантной актуальным задачам, и осуществлением её целесообразных трансформаций.

## **4. Структурные особенности хранения информации в РП**

### **4.1. Исследование структуры рабочей памяти на материале сложных заданий на определение объема РП**

#### **4.1.1. Постановка проблемы**

Одним из открытых вопросов в исследованиях РП является вопрос о её структуре. Сколько и каких компонентов обеспечивают реализацию функций РП? Правомерен ли вообще вопрос о том, что РП имеет какую-либо структуру? Широко известная модель РП А. Бэддели (Baddeley, 2003) отвечает на этот вопрос утвердительно. В этой модели предполагается, что РП имеет иерархическую двухуровневую структуру. На её верхнем уровне находится контролирующая инстанция («центральный исполнитель»), которая управляет модально-специфичными системами кратковременного хранения, а также выполняет функции контроллера внимания (отвечает за его фокусировку, переключение и распределение). На нижнем уровне модели находятся системы кратковременного хранения, в которых может удерживаться небольшое количество оперативной информации. Эти системы различаются по модальности хранящейся в них информации. Они гетерогенные по своей структуре и включают собственно пассивное хранилище и активный механизм обновления хранящихся в них следов. Таким образом, модель А. Бэддели предполагает структурирование РП по функции и по модальности хранящейся информации.

Существует и другой подход к структурированию РП. Он характерен для моделей, в которых РП и ДВП не рассматриваются как совершенно различные системы памяти. В этих подходах рабочая память понимается как подмножество элементов ДВП, активация которых превышает пороговый уровень, а структура РП задается различиями в уровне доступности элементов для осознания. Типичным является деление РП на активированную часть ДВП и фокус внимания. Лишь небольшая часть активированных в ДВП элементов непосредственно осознается, образуя фокус внимания (Cowan, 1999). Остальные активированные элементы должны быть перемещены в фокус внимания, прежде чем они могут быть осознаны и использованы в сознательной управляемой когнитивной деятельности.

Выделение фокуса внимания как самостоятельной структурной единицы психики имеет богатую традицию в психологии. То, что наше сознание может одновременно охватить только очень ограниченное количество элементов, отмечалось еще У. Джеймсом. Такой ограниченный фокус внимания является очевидным фактом

психической жизни человека, проявляясь как в субъективном переживании разделения поля внимания на фокус и периферию, так и в субъективном переживании смены фокуса внимания – его переключения с одних объектов на другие. Согласно многочисленным классическим и современным исследованиям, объём фокуса внимания не превышает 3-4 элемента (Cowan, 2001). Столь незначительный объём фокуса внимания, конечно, находится в противоречии с требованиями по объёму подлежащей переработке информации, которые среда предъявляет к человеку в целом – т.е. в течение некоторого протяжённого во времени, связанного эпизода взаимодействия с ней. В силу этого необходимо, чтобы та часть связанных с выполнением текущей деятельности объектов и репрезентаций, которые находятся за пределами фокуса внимания или, находившись в нем ранее, покинули его в результате перемещения фокуса внимания на новые объекты и репрезентации, сохраняли бы повышенный уровень активации. Такой повышенный уровень активации позволял бы этим ментальным элементам оказывать влияние на актуально разворачивающиеся процессы переработки информации или, по крайней мере, облегчал бы их перемещение в фокус внимания, из которого такое влияние могло бы быть осуществлено непосредственно. Многочисленные описанные в литературе эффекты прайминга свидетельствуют о обусловленности характеристик текущей когнитивной переработки «автоматически» активированными репрезентациями, которые не осознаются, т.е. не включены в фокус внимания.

Понятие фокуса внимания можно толковать как в узком, так и в широком смысле. В узком смысле понятие фокуса внимания относится к тому ментальному объекту (мысли, концепции, репрезентации), на который актуально направлена когнитивная деятельность. В широком смысле понятие фокус внимания охватывает все ментальные объекты, которые осознаются человеком одновременно. Как уже отмечалось, в связи с таким двояким толкованием фокуса внимания в модели РП К. Оберауэра предлагается (Oberauer, 2002) дифференцировать в фокусе внимания собственно *фокус внимания* и *регион прямого доступа*. Фокус внимания содержит единственный элемент, являющийся предметом текущей когнитивной переработки. Этот элемент «загружается» в фокус внимания из региона прямого доступа, содержащего 3-5 элементов. Элементы в фокусе внимания, хотя и должны «загружаться» в фокус внимания для последующей обработки, не должны «извлекаться», и поэтому мгновенно доступны для загрузки в фокус внимания. Другой важной предполагаемой особенностью региона прямого доступа является то, что хранящиеся в нем элементы не подвержены угасанию и действию интерференции. Как уже было указано в главе 1, такая дифференциация в структуры фокуса внимания

обосновывается рядом эмпирических эффектов – например, увеличением времени обработки при смене обрабатываемого элемента. При этом увеличение времени обработки зависит только от количества элементов в регионе прямого доступа.

Таким образом, в контексте разработки активационных моделей РП (см. раздел 1.1) возникают представления о том, что в её структуре можно выделить три компонента. Этими компонентами являются фокус внимания, регион прямого доступа и активированная часть ДВП. Указанные компоненты РП различаются по объему хранения, свойствам хранения и по функции. В отличие от модели А. Бэддели, в структуре РП не обособляются модально-специфичные компоненты. Тем не менее, представления о трехкомпонентной структуре рабочей памяти не противоречат представлениям о модальной специфичности хранения информации в РП. Модальная специфичность оперативного хранения хорошо обоснована эмпирически, и эта концепция может быть с легкостью интегрирована в трехкомпонентную структуру путем увеличения количества компонентов – для хранения вербальной, зрительной и, возможно, амодальной эпизодической информации будут использоваться отдельные компоненты. Единственное исключение составит фокус внимания, функциональная роль которого – удержания актуально обрабатываемого элемента – делает выделение модально-специфически вариантов не имеющим смысла.

Представления о трехкомпонентной структуре рабочей памяти еще не получила полного эмпирического обоснования. Одним открытым вопросом является вопрос о правомерности различения фокуса внимания, региона прямого доступа и активированной части ДВП на основе данных об эффекте смены объекта или об отсутствии влияния выгруженного в активированную ДВП «пассивного набора». Эти данные получены с использованием специально разработанных экспериментальных заданий, и поэтому не являются достаточно общими. Другим утверждением, требующим дополнительных эмпирических исследований, является утверждение о неподверженности элементов, хранящихся в регионе прямого доступа действию угасания и интерференции. Ведь именно этим (а также значительно меньшим объемом хранения) регион прямого доступа отличается от активированной ДВП. В данном разделе будет описано исследование трехкомпонентной структуры РП, которое ориентируется на решение этих вопросов. В этом исследовании структура РП исследовалась на материале сложных заданий на определение объёма РП (complex working memory span), широко используемых сегодня для оценки индивидуальных особенностей РП (Conway et al., 2005). Ниже будет дана краткая характеристика заданий этого класса.

#### **4.1.2. Сложные задания на определение объема рабочей памяти**

Сложные задания на определение объема РП сочетают в себе необходимость кратковременного удержания информации для последующего воспроизведения с необходимостью одновременно выполнять дополнительную задачу. В основе такого принципа конструирования этих заданий лежит определение РП как системы, обеспечивающей хранение и переработку информации, необходимой для решения актуальных задач. Конструкция сложных заданий на определение объема РП предполагает, что задача хранения и задача переработки будут выполняться почти одновременно. Например, в уже упоминавшемся в главе 1 задании на определение «объема чтения» испытуемые должны выполнять анализ истинности предложений и запоминать последнее слово каждого предложения. Объем РП в подобных заданиях определяется как максимальное количество элементов, которые могут быть правильно воспроизведены в таких условиях.

Задание на определение объема чтения стало первым заданием, в котором использовался принцип измерения сложного объема РП. Другим широко используемым сложным заданием на определение объема РП является задание на определение «объема операций». В этом задании необходимость хранения набора слов сочетается с необходимостью верифицировать простые арифметические уравнения (т.е. определять, является ли заявленное в уравнении тождество истинным). Таким образом, в этом задании соблюдается принцип сочетания хранения и обработки, однако содержание задачи по переработке не имеет отношения к переработке вербальной информации. Помимо только что указанных, существует целый ряд других сложных заданий на определение объема РП. В частности, они разрабатываются и для зрительно-пространственной информации. Например, в задании на определение объема симметрии (Unsworth et al., 2009) необходимо запоминать для последующего воспроизведения пространственное положение точек внутри матрицы размера  $3 \times 3$ , а дополнительная задача заключается в определении симметричности относительно вертикальной линии паттерна точек в матрице размера  $8 \times 8$ . Полученные с помощью применения этого и других подобных заданий результаты показывают, что эффект снижения объема РП при сочетании хранения и переработки информации возникает не только при работе с символической информацией.

Конечно, сложные задания на определение объема РП не являются единственными заданиями, в которых задействуются функции оперативного хранения и манипуляции информацией. Такое сочетание хранения и переработки в рудиментарных формах характерно уже для т.н. обратного объема РП, при определении которого испытуемый

должен воспроизвести только что предъявленную ему последовательность элементов в обратном порядке. Очевидно, что это задание требует как удержания предъявленного набора элементов, так и его трансформации. В другом задании, использующем подобный принцип, испытуемому предъявляется последовательность слов, которые он должен воспроизвести в алфавитном порядке (Craik, 1986). Это задание, безусловно, также требует сочетания хранения информации и её переработки, причем нагрузка на центральные ресурсы переработки в этом случае будет более выражена, чем в случае обратного объема. Сочетание хранения и переработки наблюдается и при выполнении часто используемого для оценки функций РП задания быстрого слухового последовательного сложения, в котором испытуемый должен суммировать цифры, последовательно предъявляемые на слух с высокой скоростью. Однако только в сложных заданиях на определение объема РП хранение и переработка сочетаются систематическим образом путем совмещения двух соответствующих задач. Такое сочетание хранения и переработки создает контролируемые условия для проявления особенностей РП.

Вариантом сложных заданий на определение объема РП являются задания, которые можно было бы условно назвать упрощенными сложными заданиями на определение объема РП. Эти задания были разработаны для эмпирической проверки положений теории временного разделения ресурсов П. Барруиллэ, уже упомянутой в главе 1. Задания этого типа по структуре эквивалентны сложным заданиям на оценку определения объема РП, однако дополнительная задача в них значительно упрощена. В силу этого полученные оценки объема РП не смешиваются с наличием специальных навыков и умений по решению сложных дополнительных задач. Например, в задании на определение объема четности (parity judgment span) дополнительным заданием является оценка четности/нечетности случайно предъявляемых цифр. Операции по оценке четности должны совмещаться с запоминанием набора букв. В другом задании - задании на определение объема чтения букв (letter reading span) - дополнительная задача является еще более простой и заключается в назывании случайно предъявляемых букв алфавита родного для испытуемого языка. Очевидно, что в данном случае можно говорить об очень простой дополнительной задаче, которая выполняется с помощью высокоавтоматизированной операции извлечения названия буквы из ДВП. В еще одном упрощенном сложном задании в качестве дополнительной задачи используется задача прибавления единицы к предъявляемым последовательно числам (или вычитания единицы из них), что также обеспечивается выполнением не требующих приложения

значительного умственного усилия автоматизированных операций. Такие дополнительные задачи не могут, конечно, быть сопоставимы по сложности с дополнительными задачами, используемыми в сложных заданиях на определение объема РП (такими как задача оценки истинности предложений или задача оценки истинности уравнений). Тем не менее, использование этих заданий (при достаточно высокой скорости предъявления дополнительной задачи) приводит к получению оценок объема РП, которые сопоставимы с оценками, получаемыми при использовании сложных заданий на определение объема РП.

Показатели объема РП, полученные с помощью сложных и «упрощенных сложных» заданий на определение объема РП, обычно заметно меньше показателей объема, получаемых с помощью стандартных процедур измерения объема КВП. Оценки упрощенного сложного объема РП коррелируют с общим интеллектом, а также являются высоконадежными предикторами академической успеваемости (Barrouillet & Camos, 2007). Таким образом, измеряемые с помощью этих заданий характеристики имеют отношение к способности человека выполнять интеллектуально-сложную деятельность. Это происходит, возможно, потому, что задания этого класса действительно позволяют оценить эффективность функционирования РП как системы кратковременного хранения и переработки информации, необходимой для осуществления трансформаций когнитивных репрезентаций и принятия решений на этой основе. Представляется, что важнейшим, определяющим свойством заданий этого типа является то, что в ходе их выполнения человек не может свободно применять стратегии повышения эффективности кратковременного хранения информации – например, проговаривание, укрупнение или сохранение в ДВП. В силу этого величина объема РП, рассчитываемая на основе использования таких заданий, определяется возможностями по удержанию информации в «первичной памяти» на фоне интерференции со стороны других видов когнитивной деятельности. Из-за теоретической и эмпирической обоснованности их связи с конструктом РП, сложные задания на определение объема РП получили широкое распространение как средство оценки индивидуальных различий в возможностях РП. Поэтому представляется столь важным провести исследование структуры РП на материале заданий именно этого класса.

#### **4.1.3. Общая характеристика исследования**

Для проверки предположения о существовании различных компонентов РП может быть использован метод аддитивных факторов С. Стернберга. Различение компонентов представляется обоснованным, если факторы, селективно влияющие на их работу, не

взаимодействуют друг с другом (т.е. их совместный эффект является аддитивным). Для фокуса внимания таким селективно действующим фактором может являться сложность когнитивной переработки. Для активированной части ДВП селективно действующим фактором может являться интерференция. Количество элементов, которые необходимо удерживать в РП (нагрузка на РП), влияет, в первую очередь, на функционирование региона прямого доступа. Однако если нагрузка превышает ограниченный объем региона прямого доступа, то она может влиять и на работу активированной части ДВП. Это позволяет ожидать взаимодействия факторов интерференции и нагрузки.

В соответствии с целью исследования были проведены три эксперимента с разными заданиями на оценку объема РП. В первых двух экспериментах использовались сложные задания на определение объема РП широко используемые в зарубежных исследованиях рабочей памяти (обзор см. в Conway et al., 2005): задание на определение «объема счета» (counting span task, Case et al., 1982) и задание на определение «объема операций» (operation span task, Turner & Engle, 1989). В третьем эксперименте использовался упрощенный вариант сложных заданий на определение объема РП – задание на определение объема оценки четности (parity judgment span task, Lepine et al., 2005). В этом задании используется очень простая дополнительная задача (определение четности/нечетности цифр). Методическим преимуществом заданий этого типа является то, что выполнение дополнительной задачи не требует от испытуемого специальных навыков (например, навыков выполнения арифметических операций «в уме»).

Каждое задание состояло в последовательном предъявлении набора элементов, которые испытуемый должен был воспроизвести *в правильном порядке* сразу после окончания предъявления набора. Предъявление каждого элемента сочеталось с выполнением испытуемым дополнительной задачи. В каждом эксперименте осуществлялась манипуляция количеством элементов в наборе (размер набора), сложностью дополнительного задания, а также силой интерференции. Сила интерференции определялась степенью сходства между элементами. Размер набора изменялся от 2 до 6 с целью охватить диапазон возможных индивидуальных различий в объеме региона прямого доступа. При подборе материала для запоминания, дополнительных заданий и манипуляции интерференцией мы ориентировались на существующую практику применения сложных заданий на определение объема РП. Зависимыми переменными были точность выполнения дополнительного задания и относительная точность воспроизведения элементов набора.

*Участники исследования.* Эксперименты проведены на трех независимых выборках

испытуемых. Всего в исследовании приняли участие 36 человек (28 женщин, 8 мужчин, в возрасте от 18 до 25 лет, медиана – 22 года), студенты факультета психологии МГУ им. М.В. Ломоносова. Сведения о поле и возрасте участников приведены в Таблице 1.

Таблица 1. Количество, пол и возраст участников исследования.

Эксперимент	Количество (женщины/мужчины)	Возраст		
		Медиана	Минимум	Максимум
1	12 (8/4)	21	19	25
2	12 (12/0)	22	18	25
3	12 (8/4)	22	19	25

*Аппаратура.* Программирование и предъявление экспериментальных заданий осуществлялось с помощью программного обеспечения для создания психологических экспериментов E-Prime 2.0 Professional. Экспериментальные задания предъявлялись на ЖК-мониторе (20”) с помощью персонального компьютера.

*Процедура.* Эксперименты проводились по внутрисубъектной схеме. Размер набора изменялся от 2 до 6 элементов по схеме 2-3-4-5-6-6-5-4-3-2. Процедура каждого эксперимента включала в себя выполнение тренировочных заданий и отдых испытуемых между экспериментальными условиями. Испытуемые фиксировали свои ответы самостоятельно в специально подготовленных бланках. Ответы испытуемых на дополнительные задания фиксировались экспериментатором (в эксперименте 3 регистрация ответов осуществлялась автоматически).

*Обработка и анализ данных.* Для оценки точности воспроизведения для каждого предъявленного набора рассчитывалась относительная частота полностью верных воспроизведений его элементов. Под полностью верным воспроизведением понимается воспроизведение элемента в правильной позиции. Таким образом, зависимая переменная представляла собой долю от целого и могла изменяться от 0 до 1. В соответствии с рекомендациям по анализу частотных данных (Сидоренко, 2000), зависимая переменная была подвергнута арксинус-трансформации,  $y' = \arcsin(\sqrt{y})$ . Анализ нормальности распределений осуществлялся с помощью критерия Колмогорова-Смирнова. Статистическая значимость эффектов экспериментальных факторов и их взаимодействий определялась с помощью дисперсионного анализа с повторными измерениями. Анализ попарных различий осуществлялся с помощью непараметрического критерия Вилкоксона. Обработка и анализ данных осуществлялись в статистическом пакете SPSS 17.

#### 4.1.4. Эксперимент 1

*Участники.* 12 человек (8 женщин) в возрасте от 19 до 25 лет (медиана – 21 год, размах – 6 лет).

*Задание.* Экспериментальное задание было разработано на основе задания на определение объема счета (Case et al., 1982). Испытуемому предъявлялась последовательность экранов, на которых в случайном порядке были расположены простые геометрические фигуры. Задача испытуемого состояла в подсчете количества определенных (целевых) фигур и игнорировании дистракторов. После предъявления всех экранов в наборе, испытуемый должен был воспроизвести количество целей на каждом из предъявленных экранов в порядке их предъявления. Таким образом, в этом задании задача подсчета целей сочеталась с задачей сохранения результатов подсчета.

*Переменные.* Манипуляция сложностью обработки задавалась сложностью подсчета целей (2 уровня – низкая и высокая сложность). В условиях с низкой сложностью использовались только два вида стимулов – круги (цели) и квадраты (дистракторы) со штриховкой одинаковой ориентации. В условиях с высокой сложностью использовалось три вида стимулов: целевые стимулы – круги, дистракторы–квадраты и дистракторы–круги, отличавшиеся от целевых стимулов ориентацией штриховки. При низкой сложности обработки обнаружение целей могло опираться на автоматизмы внимания, в то время как при высокой сложности обнаружение целей требовало затратного последовательного поиска.

Манипуляция силой интерференции между элементами информации (результаты подсчета целей) основывалась на т.н. эффекте расстояния (Warma & Schwart, 2011). Эффект заключается в лучшей субъективной различимости чисел, расположенных дальше друг от друга на субъективной числовой оси. Например, числа 4 и 9 различаются лучше, чем числа 4 и 6. В условиях с низкой силой интерференции количество целей на каждом экране принадлежало множеству {1, 2, 5, 8, 9}. В условиях с высокой силой интерференции количество целей на каждом экране принадлежало множеству {1, 2, 3, 4, 5}.

*Процедура.* Эксперимент проводился по внутрисубъектной схеме  $2 \times 2 \times 5$ . Порядок предъявления экспериментальных условий, заданных комбинацией уровней сложности обработки и силы интерференции, варьировался кросс-индивидуально по схеме несбалансированного латинского квадрата. Каждая из 4 последовательностей экспериментальных условий предъявлялась 3 испытуемым (2 женщины, 1 мужчина). Размер набора варьировался внутрисубъектно по схеме позиционного уравнивания (2-3-4-5-6-6-5-4-3-2). Таким образом, в каждом экспериментальном условии с каждым

испытуемым было осуществлено 2 измерения.

При предъявлении каждого нового экрана испытуемый должен был “в уме” сосчитать количество целей и произнести результат вслух. Если экран был последним в наборе, то испытуемому в центре экрана предъявлялся знак вопроса, что служило сигналом к заполнению бланка ответов. Выполнению эксперимента предшествовала тренировка (с наборами размером 2 и 3 элемента).

*Результаты.* Показатели описательной статистики для зависимых переменных приведены в таблице 2. Средняя точность выполнения нагрузочного задания была достаточно высокой и составила 94%. Распределение этой переменной значимо отличалось от нормального (тест Колмогорова-Смирнова,  $Z=6,38$ ,  $p<0,001$ ). Манипуляция сложностью приводила к снижению точности (с 98% до 90% в среднем). Различия в точности выполнения дополнительной задачи были значимы (тест Вилкоксона,  $Z=5,5$ ,  $p<0,001$ ), что позволило рассматривать манипуляцию сложностью дополнительной задачи как эффективную.

Таблица 2. Показатели описательной статистики для точности выполнения дополнительного задания (ТД), абсолютной частоты верных воспроизведений (АЧВ), относительной (ОЧВ) и трансформированной (ТОЧВ) частоты верных воспроизведений в эксперименте 1.

Статистика	ТД	АЧВ	ОЧВ	ТОЧВ
Медиана	1	3	0,83	1,15
Минимум	0,33	1	0,17	0,42
Максимум	1	6	1	1,57
Q <sub>1</sub>	0,9	2	0,67	0,96
Q <sub>3</sub>	1	3	0,83	1,15

Для каждого экспериментального условия с помощью критерия Колмогорова-Смирнова была проведена проверка нормальности распределения оригинальных и трансформированных значений точности воспроизведения. Она показала приближение к нормальному распределению для большинства распределений (12 из 20 для нетрансформированных значений, 13 из 20 для трансформированных значений). С учётом высокой устойчивости дисперсионного анализа к нарушениям нормальности (Гусев, 2000), результаты проверки нормальности делают применение этого метода допустимым.

В результате дисперсионного анализа трансформированных значений точности воспроизведения были обнаружены значимые главные эффекты факторов размера,

$F(4,44)=34.9$ ,  $p<0.001$ , и сложности,  $F(1,11)=28.0$ ,  $p<0.001$ . Главный эффект фактора интерференции был незначимым,  $F(1,11)=0.7$ ,  $p>0.05$ . Все двухфакторные взаимодействия были незначимыми: взаимодействие размера и интерференции,  $F(4,44)=0.6$ ,  $p>0.05$ , взаимодействие размера и сложности,  $F(4,44)=1.1$ ,  $p>0.05$ , взаимодействие сложности и интерференции,  $F(1,11)=0.8$ ,  $p>0.05$ . Незначимым было и взаимодействие всех трех факторов,  $F(4,44)=1.0$ ,  $p>0.05$ , см. рис.1-3.

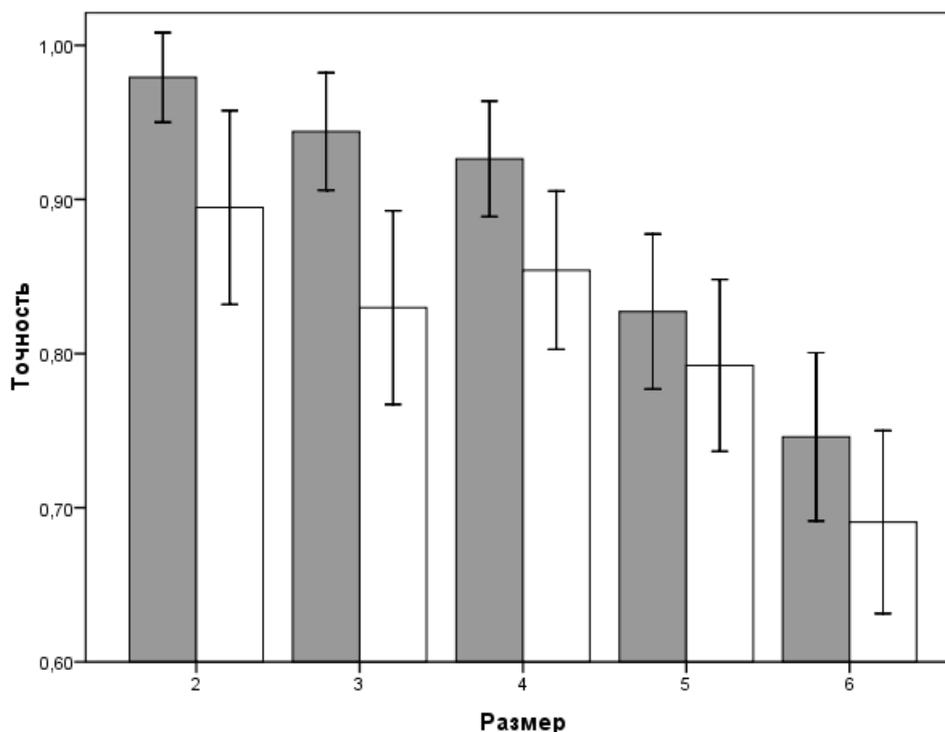


Рис. 1. Точность воспроизведения в задаче на определение объема счета в зависимости от размера набора и сложности дополнительного задания (темные столбики – низкая сложность, светлые столбики – высокая сложность).

Учитывая обнаруженные для части экспериментальных условий отклонения от нормальности, попарные сравнения экспериментальных условий проводились с применением непараметрического теста Манна-Уитни. Попарное сравнение уровней фактора размера показало наличие значимых различий между наборами размером 4 и 5 элемента (тест Вилкоксона,  $Z=4.1$ ,  $p<0.001$ ), а также размером 5 и 6 элементов ( $Z=2.67$ ,  $p<0.01$ ).

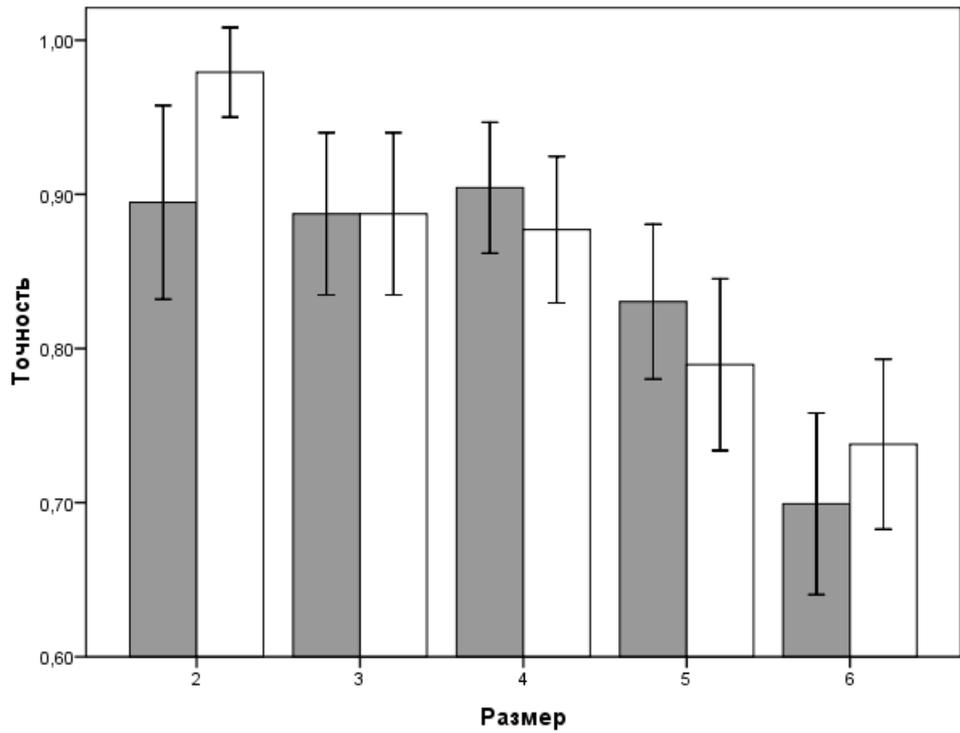


Рис. 2. Точность воспроизведения в задаче на определение объема счета в зависимости от размера набора и интерференции (темные столбики – низкая интерференция, светлые столбики – высокая интерференция).

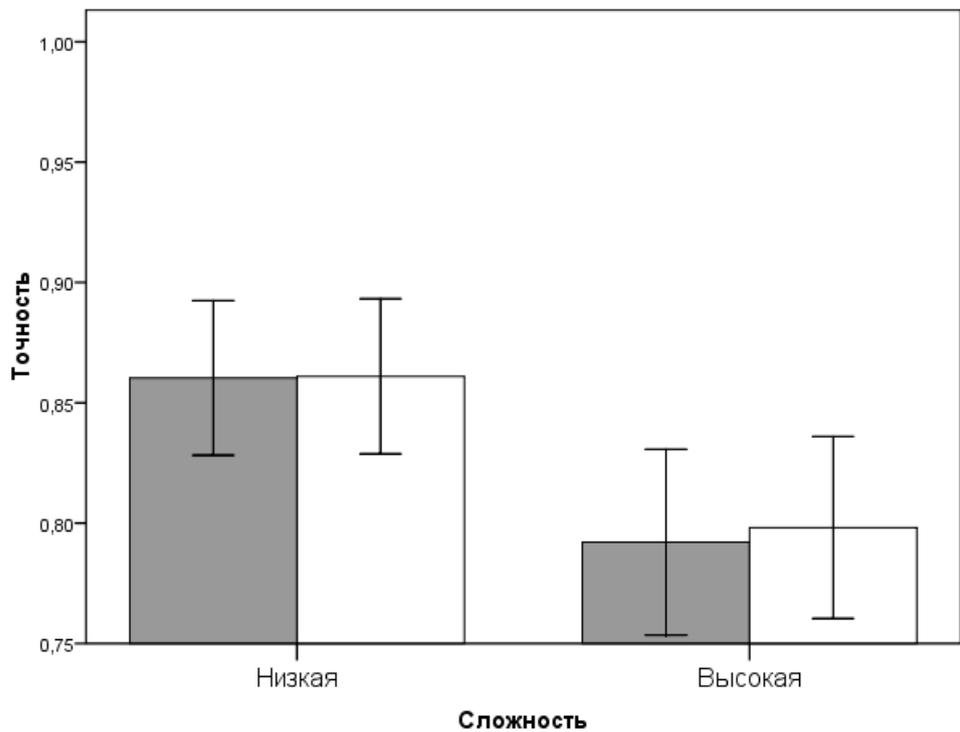


Рис. 3. Точность воспроизведения в задаче на определение объема счета в зависимости от сложности дополнительного задания и интерференции (темные столбики –

низкая интерференция, светлые столбики – высокая интерференция).

Полученные результаты о значимом эффекте размера набора согласуются с гипотезой о существовании в составе РП минимум двух качественно различных систем хранения информации – системы, обеспечивающей надежное хранение небольшого количества информации, и системы большего объема, надежность хранения информации в которой снижена. Отсутствие взаимодействия фактора сложности с другими факторами соответствует гипотезе о возможности выделения в составе РП самостоятельной структурной единицы – фокуса внимания, особая роль которого заключается в удержании подвергающегося переработке ментального объекта. Наличие выраженного эффекта фактора сложности не противоречит выдвинутым гипотезам относительно структуры РП. Этот эффект, заключающийся в снижении эффективности хранения информации в РП, свидетельствует, однако, о том, что при возможной структурной независимости компонентов РП, связанных с хранением и переработкой информации, их функционирование может обеспечиваться единым пулом когнитивных ресурсов. Невозможность обнаружить в эксперименте 1 эффект взаимодействия размера набора и силы интерференции противоречит гипотезе о существовании в структуре РП независимых компонентов хранения, по-разному чувствительных к эффекту интерференции. Этот отрицательный результат плохо согласуется с трехкомпонентной моделью РП, но может быть связан с недостаточной эффективностью манипуляции интерференцией и требует дополнительной проверки.

#### **4.1.5. Эксперимент 2**

*Участники.* 12 человек (все - женщины), в возрасте от 18 до 25 лет (медиана – 22 года, размах – 6 лет), не принимавшие участия в эксперименте 1.

*Задание.* Экспериментальное задание было разработано на основе задания на определение объема операций. В этом задании задача удержания в РП набора согласных сочетается с задачей верификации простых уравнений. Испытуемому предъявлялась последовательность экранов. В центре каждого экрана располагалась согласная буква, которую необходимо было запомнить. Под буквой располагалось простое арифметическое уравнение вида  $A \otimes B \oplus C = D$ . Первая операция ( $\otimes$ ) была мультипликативной (умножение или деление), а вторая операция ( $\oplus$ ) была аддитивной (сложение или вычитание). Верификация уравнения заключается в определении значения левой части уравнения (“истинный ответ”) и его сравнении с правой частью уравнения (“предлагаемый ответ”, D). Например, истинным является уравнение  $4 \times 2 - 3 = 5$  (левая часть

уравнения равна его правой части), а уравнение  $2 \times 3 + 1 = 5$  является ложным. В качестве операндов использовались только положительные числа от 1 до 9. Истинный и предлагаемый ответ также всегда находились в пределах от 1 до 9. Не предъявлялись уравнения, содержащие операции с 1, а также операции с одинаковыми операндами в силу вероятного использования альтернативных правил поиска решения в этих случаях (Lemaire & Fayol, 1995).

*Переменные.* Манипуляция сложностью обработки задавалась сложностью верификации уравнения. Использовались два эмпирически хорошо обоснованных эффекта сложности (Lemaire & Fayol, 1995): “эффект величины” (использование операндов, равных 5 и более) и “эффект четности” (для ложных уравнений несовпадение четности истинного и предлагаемого ответов облегчает принятие правильного решения).

Манипуляция силой интерференции основывалась на эффекте фонологического сходства (Baddeley, 2003) - снижении эффективности кратковременного хранения фонетически близких звуков. Этот эффект связан во многом обусловлен совпадением акустических признаков удерживаемого материала (Schweppe et al., 2011). В условии с высокой силой интерференции согласные для запоминания отбирались случайно из множества {Б, П, К, Г, Д, Т, В, Ф}. В условии с низкой силой интерференции это множество согласных было дополнено множеством {М, Н, Л, Р, Ж, Ш, Х, Ц}. Таким образом, в условии с низкой интерференцией разнообразие элементов было выше. Кроме того, множество согласных в условии с высокой интерференцией содержало только шумные согласные (взрывные и щелевые). Множество согласных в условии с низкой интерференцией содержало и согласные-сонанты (М, Н, Л, Р), выраженно отличающихся акустически от шумных согласных.

*Процедура.* Эксперимент проводился по внутрисубъектной схеме  $2 \times 2 \times 5$ . Сила интерференции варьировалась по схеме позиционного уравнивания (низкая-высокая-высокая-низкая), одинаковой для всех 12 испытуемых. Сложность обработки варьировалась случайным образом (предъявляемое уравнение случайно выбиралось из всего множества уравнений, половина уравнений были сложными, половина – простыми для обработки). Размер набора варьировался по схеме позиционного уравнивания (2-3-4-5-6-6-5-4-3-2). Таким образом, в каждом экспериментальном условии с каждым испытуемым было осуществлено 2 измерения.

При предъявлении каждого нового экрана испытуемый должен был назвать вслух согласную, а затем верифицировать уравнение и произнести результат верификации вслух (сказав “верно”, если уравнение было истинным, и “неверно”, если оно было ложным). Если экран был последним в наборе, то в центре экрана предъявлялся знак вопроса, что

служило сигналом к заполнению бланка ответов. Выполнению эксперимента предшествовала тренировка (с наборами размером 2 и 3 элемента).

*Результаты.* Показатели описательной статистики для зависимых переменных приведены в Таблице 3. Средняя точность выполнения дополнительного задания составила 93%. Распределение значений значимо отличалось от нормального (тест Колмогорова-Смирнова,  $Z=5,43$ ,  $p<0,001$ ). Величина операндов не влияла на точность верификации уравнений. Манипуляция фактором четности оказывала значимое влияние на точность верификации уравнений: несоответствие четности истинного ответа четности предлагаемого ответа приводило к увеличению точности верификации с 92% до 97%. Это различие было значимым (тест Вилкоксона,  $Z=2,41$ ,  $p<0.01$ ). В дальнейшем фактор четности рассматривался как фактор сложности дополнительного задания.

Таблица 3. Показатели описательной статистики для точности выполнения дополнительного задания (ТД), абсолютной частоты верных воспроизведений (АЧВ), относительной (ОЧВ) и трансформированной (ТОЧВ) частоты верных воспроизведений в эксперименте 2.

Статистика	ТД	АЧВ	ОЧВ	ТОЧВ
Медиана	1	2,76	0,8	1,11
Минимум	0,5	0	0	0
Максимум	1	6	1	1,57
Q <sub>1</sub>	0,88	2	0,55	0,84
Q <sub>3</sub>	1	2,78	0,8	1,11

Для каждого экспериментального условия с помощью критерия Колмогорова-Смирнова была проведена проверка нормальности распределения оригинальных и трансформированных значений точности воспроизведения. Как и выше, проверка показала отсутствие отклонения от нормальности для большинства трансформированных распределений (14 из 20). В результате дисперсионного анализа трансформированных значений точности воспроизведения был обнаружен значимый главный эффект размера набора,  $F(4,44)=33.4$ ,  $p<0.001$ , проявляющийся в снижении доли верных ответов при увеличении размера набора. Главные эффекты факторов интерференции и сложности были незначимыми,  $F(1,11)=1.2$ ,  $p>0.05$ , и  $F(1,11)=1.8$ ,  $p>0.05$ , соответственно. Было обнаружено значимое взаимодействие факторов размера и интерференции,  $F(4,44)=3.2$ ,  $p<0.05$ . Другие двухфакторные взаимодействия (размера и сложности, сложности и интерференции) были незначимыми,  $F(4,44)=1.0$ ,  $p>0.05$ , и  $F(1,11)=0.4$ ,  $p>0.05$ ,

соответственно. Незначимым было и взаимодействие всех трех факторов,  $F(4,44)=2.0$ ,  $p>0.05$ , см. рис. 4-6.

Для обнаруженных значимых эффектов был проведен попарный анализ значимости различий уровней факторов. Значимые различия были обнаружены между наборами размером 2 и 3 элемента (тест Вилкоксона,  $Z=3,5$ ,  $p<0.001$ ), 3 и 4 элемента ( $Z=3,57$ ,  $p<0.001$ ), а также 4 и 5 элементов ( $Z=2,59$ ,  $p<0.01$ ). Попарное сравнение экспериментальных условий показало, что взаимодействие факторов размера и интерференции было связано со значимым различием в точности воспроизведения для наборов размером 6 элементов ( $Z=1,99$ ,  $p<0.05$ ). При этом условие с высокой интерференцией сопровождалось сниженной точностью воспроизведения. Также наблюдалась тенденция к значимому различию между условием с низкой и высокой интерференцией для наборов размером 3 элемента ( $Z=1,65$ ,  $p<0.1$ ).

Обнаружение значимого эффекта фактора размера хорошо согласуется с гипотезой о существовании в составе РП двух систем хранения - скоростной и высоконадежной системы оперативного хранения информации крайне ограниченного объема ("регион прямого доступа") и менее надежной системы хранения, характеризующийся большим объемом удерживаемой информации. Преимущественная локализация эффекта размера между 3 и 4 элементами полностью соответствует этому предположению. Отсутствие взаимодействия фактора сложности с другими факторами вновь подтверждает выдвинутую гипотезу о независимости и фокуса внимания от других компонентов РП. В отличие от эксперимента 1, в этом эксперименте было обнаружено взаимодействие факторов размера и интерференции. Это взаимодействие соответствует выдвинутой гипотезе об использовании механизмов долговременного хранения, когда нагрузка на РП превышает объем региона прямого доступа (6 элементов), что хорошо согласуется с предположениями, лежащими в основе трехкомпонентной модели. Взаимодействие интерференции и размера набора могло быть обнаружено в эксперименте 2 потому, что в нем, в отличие от эксперимента 1, использовалась значительно более эффективная манипуляция интерференцией.

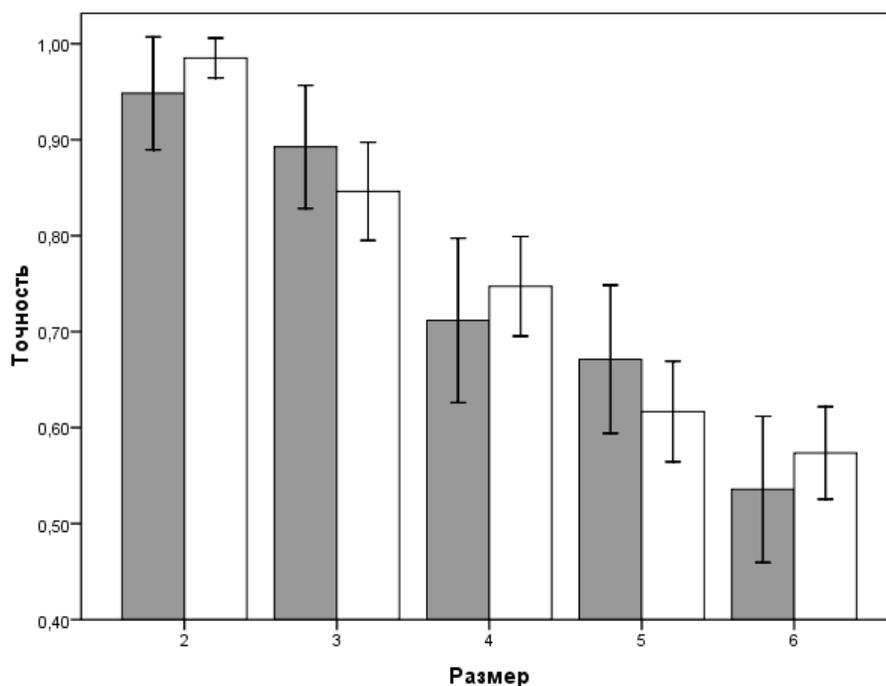


Рис. 4. Точность воспроизведения в задаче на определение объема операций в зависимости от размера набора и сложности дополнительного задания (темные столбики – низкая сложность, светлые столбики – высокая сложность).

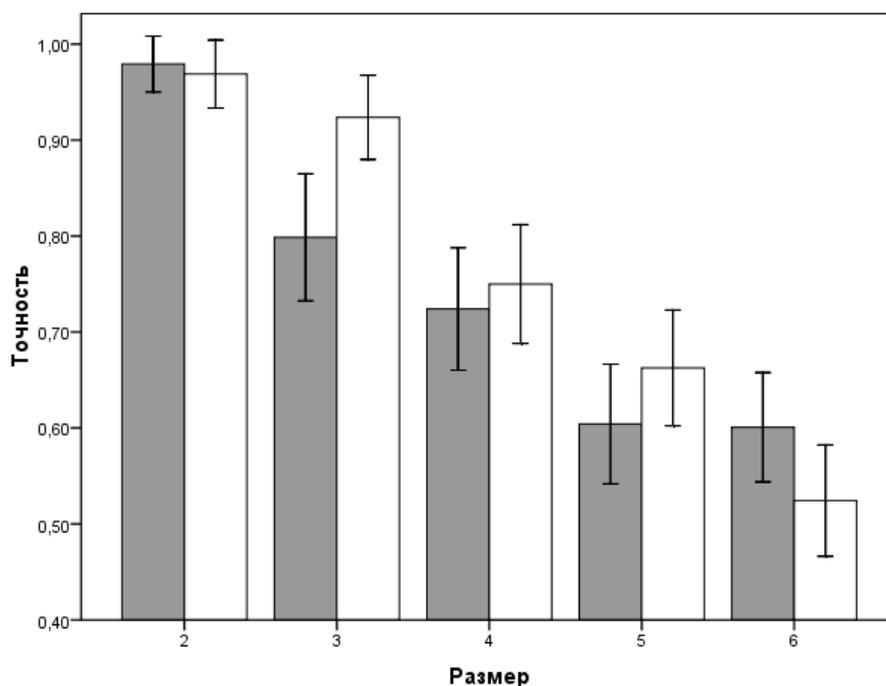


Рис. 5.

Точность воспроизведения в задаче на определение объема операций в зависимости от размера набора и интерференции (темные столбики – низкая интерференция, светлые столбики – высокая интерференция).

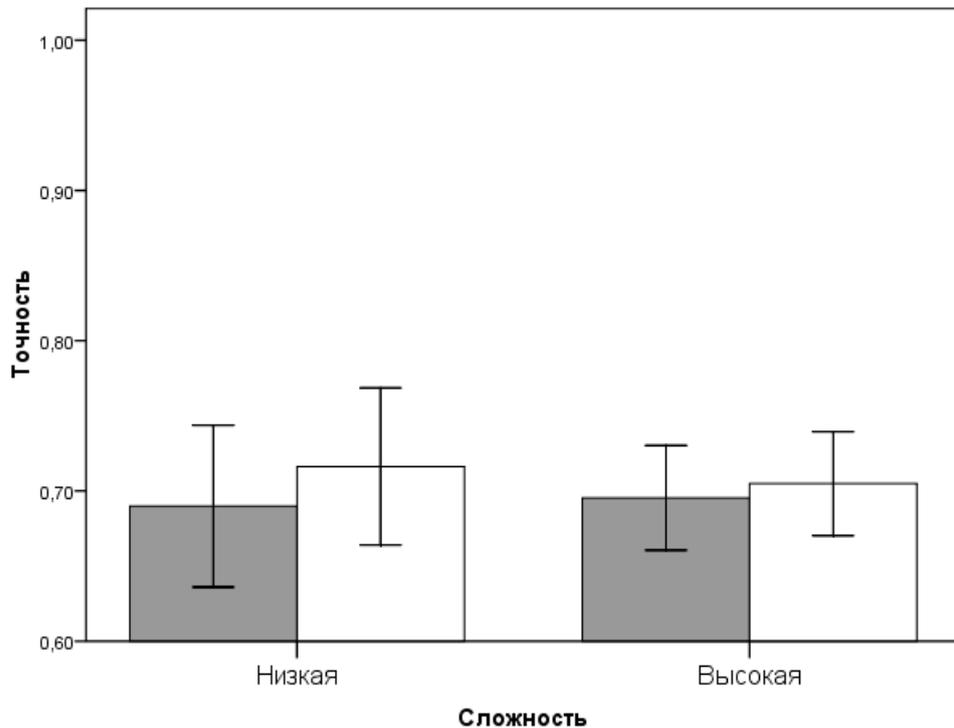


Рис. 6. Точность воспроизведения в задаче на определение объема операций в зависимости от сложности дополнительного задания и интерференции (темные столбики – низкая интерференция, светлые столбики – высокая интерференция).

#### 4.1.6. Эксперимент 3

*Участники.* 12 человек (8 женщин), в возрасте от 19 до 25 лет (медиана – 22 года, размах – 6 лет), не принимавшие участия в экспериментах 1 и 2.

*Задание.* Экспериментальное задание представляло собой незначительно модифицированное задание на определение объема четности (continuous parity judgment span, Lepine et al., 2005). В этом задании задача удержания набора согласных сочетается с задачей определения четности цифр, предъявляемых с достаточно высокой скоростью. В отличие от экспериментов 1 и 2, задание выполнялось с фиксированным темпом.

*Переменные.* Манипуляция сложностью дополнительного задания задавалась скоростью предъявления цифр. В условиях с низкой сложностью каждая цифра предъявлялась на 1000 мс. Такое время предъявления допускает комфортную работу испытуемого. В условиях с высокой сложностью время предъявления составляло 800 мс. Манипуляция интерференцией осуществлялась как в эксперименте 2.

*Процедура.* Эксперимент проводился по схеме  $2 \times 2 \times 5$ . Схема предъявления

независимых переменных полностью соответствовала схеме, использованной в эксперименте 1. Как и ранее, с каждым испытуемым было осуществлено 2 измерения.

При предъявлении каждого элемента сначала в центре экрана в течение 1200 мс предъявлялась согласная. Испытуемый должен был назвать её вслух. Затем последовательно предъявлялись от 3 до 5 цифр. Испытуемый должен был определять четность каждой цифры, нажимая клавишу на клавиатуре (“z” – для нечетных цифр, “?” – для четных). Если элемент был последним в наборе, то после предъявления последней цифры в центре экрана предъявлялся знак вопроса, служащий сигналом к заполнению бланка ответов. Выполнению эксперимента предшествовала тренировка определения четности и тренировка выполнения экспериментального задания в целом (с наборами размером 2 и 3 элемента).

*Результаты.* Показатели описательной статистики для зависимых переменных приведены в Таблице 4. Средняя точность выполнения дополнительного задания составила 81%. Распределение значений значительно отличалось от нормального (тест Колмогорова-Смирнова,  $Z=1,68$ ,  $p<0,01$ ). Увеличение сложности дополнительного привело к значимому снижению точности её выполнения (с 87% до 75%; тест Вилкоксона,  $Z=6,98$ ,  $p<0.001$ ).

Таблица 4. Показатели описательной статистики для точности выполнения дополнительного задания (ТД), абсолютной частоты верных воспроизведений (АЧВ), относительной (ОЧВ) и трансформированной (ТОЧВ) частоты верных воспроизведений в эксперименте 3.

Статистика	ТД	АЧВ	ОЧВ	ТОЧВ
Медиана	0,84	3	0,88	1,21
Минимум	0,35	0,5	0,1	0,32
Максимум	1	6	1	1,57
Q <sub>1</sub>	0,73	2	0,67	0,96
Q <sub>3</sub>	0,92	4	1	1,57

Проверка нормальности вновь показала отсутствие отклонения от нормальности в большинстве экспериментальных условий (14 из 20 для трансформированных значений). В результате дисперсионного анализа трансформированных значений точности воспроизведения были обнаружены значимые главные эффекты факторов размера,  $F(4,44)=54.5$ ,  $p<0.001$ , и интерференции,  $F(1,11)=10.2$ ,  $p<0.01$ . Главный эффект фактора сложности был незначимым,  $F(1,11)=0.7$ ,  $p>0.05$ . Было обнаружено значимое

взаимодействие факторов размера и интерференции,  $F(4,44)=2.9$ ,  $p<0.05$ . Другие двухфакторные взаимодействия (размера и сложности, сложности и интерференции) были незначимыми,  $F(4, 44)=0.6$ ,  $p>0.05$ , и  $F(1,11)<0.1$ ,  $p>0.5$ , соответственно. Незначимым было и взаимодействие всех трех факторов,  $F(4,44)=0.7$ ,  $p>0.05$ , см. рис. 7-9.

Попарное сравнение уровней фактора размера показало наличие значимых различий между наборами размером 3 и 4 элемента (тест Вилкоксона,  $Z=3,24$ ,  $p<0.001$ ), а также 5 и 6 элементов ( $Z=2,97$ ,  $p<0.001$ ). Наборы размером 2 и 3 элемента различались значимо на уровне тенденции ( $Z=1,74$ ,  $p<0.01$ ). Попарное сравнение экспериментальных условий показало, что взаимодействие факторов размера и интерференции было связано со значимым различием между условием с низкой и высокой интерференцией для наборов размером 3 элемента ( $Z=2,2$ ,  $p<0.05$ ) и размером 5 элементов ( $Z=2,6$ ,  $p<0.01$ ). При этом высокий уровень интерференции сопровождался сниженной точностью воспроизведения.

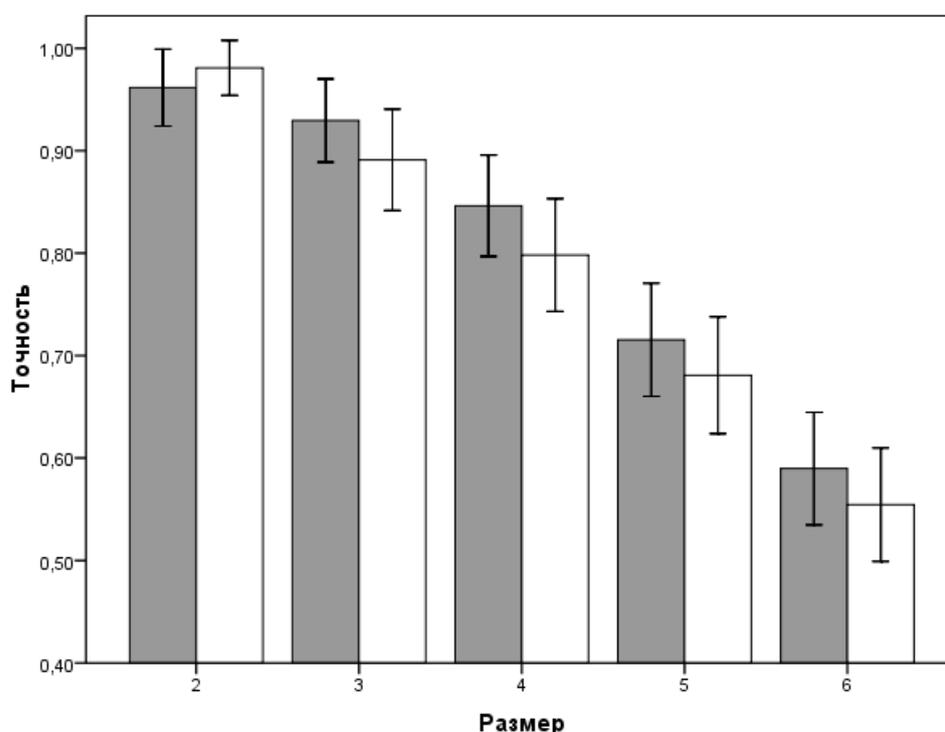


Рис. 7. Точность воспроизведения в задаче на определение объема оценки четности в зависимости от размера набора и сложности дополнительного задания (темные столбики – низкая сложность, светлые столбики – высокая сложность).

В этом эксперименте были получены результаты, в основном повторяющие результаты эксперимента 2. Они хорошо согласуются с предположениями, лежащими в основе трехкомпонентной модели РП. Значимый эффект фактора размера и локализация первого выраженного ухудшения точности воспроизведения между 3 и 4 элементом

хорошо согласуются с выдвинутой гипотезой о существовании “региона прямого доступа”. Отсутствие взаимодействия фактора сложности с другими факторами подтверждает выдвинутую гипотезу о независимости фокуса внимания от других компонентов рабочей памяти. Взаимодействие факторов размера и интерференции соответствует выдвинутой гипотезе об использовании механизмов долговременного хранения, когда нагрузка на РП превышает объем региона прямого доступа. Характер этого взаимодействия полностью соответствует теоретическим ожиданиям – при увеличении размера набора увеличение интерференции характеризуется более выраженным снижением точности.

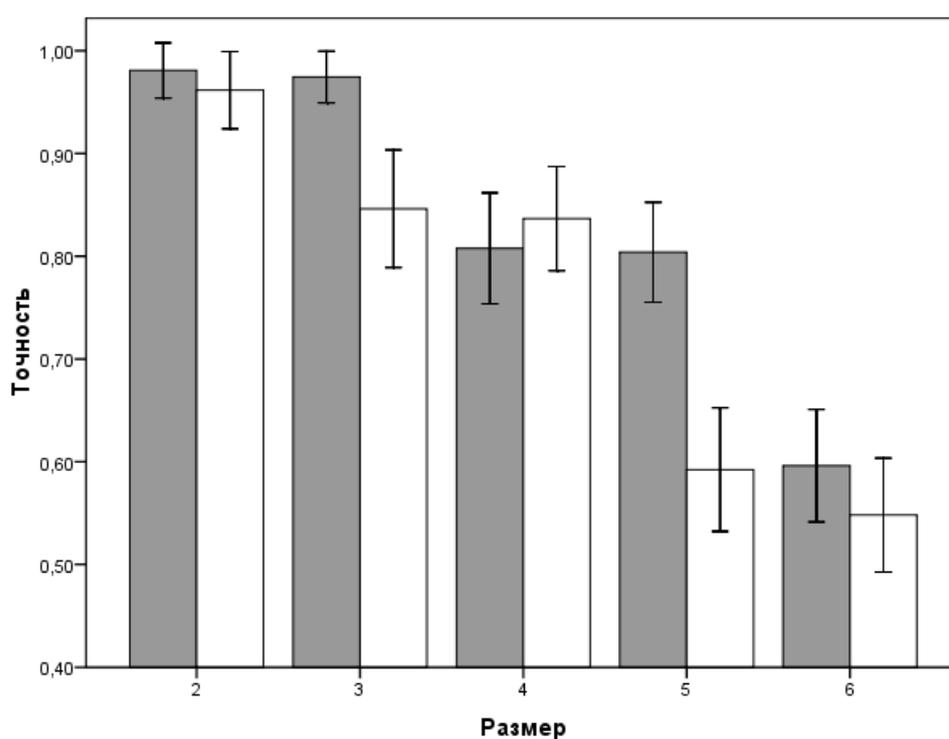


Рис. 8. Точность воспроизведения в задаче на определение объема оценки четности в зависимости от размера набора и интерференции (темные столбики – низкая интерференция, светлые столбики – высокая интерференция).

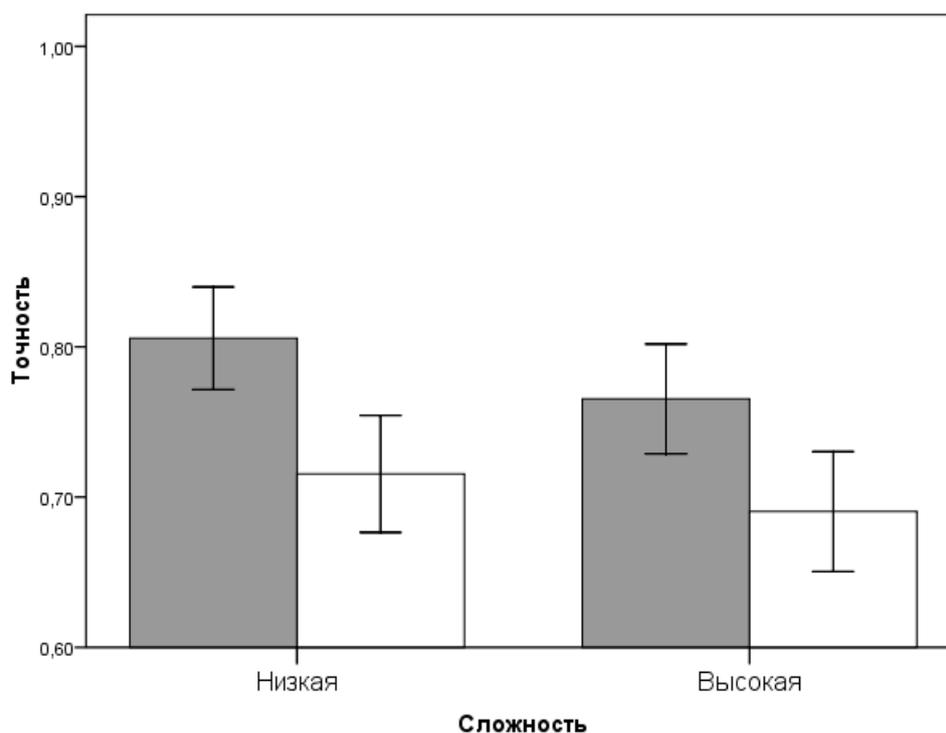


Рис. 9. Точность воспроизведения в задаче на определение объема оценки четности в зависимости от сложности дополнительного задания и интерференции (темные столбики – низкая интерференция, светлые столбики – высокая интерференция).

С целью облегчения интерпретации результатов всех трех экспериментов, обнаруженные в них статистические эффекты приведены в таблице 5.

Таблица 5. Размер эффекта ( $\eta^2$ ) и уровень значимости для всех экспериментальных эффектов в экспериментах 1,2 и 3 (К – количество информации, С – сложность, И – интерференция, \*\*\* -  $p < 0.001$ , \*\* -  $p < 0.01$ , \* -  $p < 0.05$ )

Эффект	$\eta^2$		
	Эксперимент 1	Эксперимент 2	Эксперимент 3
К	0.77***	0.78***	0.81***
И	0.06	0.18	0.52**
С	0.73***	0.16	0.07
К×И	0.12	0.25*	0.22*
К×С	0.12	0.09	0.09
И×С	0.06	0.02	0.01
К×И×С	0.08	0.12	0.06

#### 4.1.7. Обсуждение результатов

В проведенных экспериментах получены три основных результата. Во-первых, во всех экспериментах был обнаружен значимый эффект размера удерживаемого в РП набора элементов. Испытуемые успешно справляются с задачей удерживать небольшое количество элементов (2-4 элемента). Однако при большем количестве подлежащих хранению элементов точность воспроизведения снижается. Этот результат хорошо согласуется с результатами многочисленных работ, показывающих, что объем кратковременного хранения не превышает 3-5 элемента (Cowan, 2000). Таким образом, результаты проведенных экспериментов хорошо согласуются с предположением о существовании специализированной системы памяти, обеспечивающей надежное оперативное хранение небольшого количества информации (регион прямого доступа).

Во-вторых, в экспериментах 2 и 3 было обнаружено значимое взаимодействие между размером набора и силой интерференции. Эти результаты подтверждают предположение о существовании в структуре РП двух качественно различных компонентов. Предполагалось, что сила интерференции является фактором, снижающим эффективность воспроизведения из ДВП, но не влияет на эффективность воспроизведения информации из региона прямого доступа. Поэтому негативное влияние интерференции на точность воспроизведения более выражено, когда размер набора превышает объем региона прямого доступа. Невозможность обнаружить это взаимодействие в эксперименте 1 может быть связано с недостаточно эффективной манипуляцией интерференцией или сложностью дополнительной задачи.

В-третьих, проведенные эксперименты показали систематическое отсутствие значимых взаимодействий между сложностью дополнительной задачи и двумя другими экспериментальными факторами. Результат был получен для различного запоминаемого материала и различных дополнительных задач. Данный результат поддерживает представления об особом статусе фокуса внимания в структуре РП. В фокусе внимания удерживается информация, являющаяся объектом текущей когнитивной обработки. Предполагается, что информация “загружается” в фокус внимания только из региона прямого доступа. Отсутствие значимых взаимодействий сложности обработки (фактора, селективно влияющего на фокус внимания) и остальных экспериментальных факторов свидетельствует об изолированности фокуса внимания от других компонентов РП.

Результаты проведенных экспериментов имеют отношение к решению вопроса о роли интерференции и угасания следа как основных факторов забывания в РП (Portrat et al., 2008). Угасание следа первоначально считалось основным механизмом забывания в РП (Baddeley, 2003). Работы в рамках модели временного распределения ресурсов (time-based

resource-sharing model) также показывают ведущую роль фактора времени при кратковременном хранении информации (Barrouillet & Camos, 2007). С другой стороны, роль интерференции как фактора забывания в РП также подкрепляется эмпирически. Например, многолетние исследования Р. Энгле и коллег (Engle, 2002) показали наличие высоких корреляций между способностью к подавлению интерференции и объемом РП. Выделение в структуре рабочей памяти функционально различных компонентов позволяет объяснить это противоречие тем, что для них могут быть характерны разные механизмы забывания.

Полученные результаты связаны и с решением проблемы соотношения КВП и ДВП. Анатомические структуры, обычно ассоциируемые с реализацией функций ДВП (гиппокамп, поясная извилина), могут вовлекаться в выполнение заданий на КВП (Козловский и др., 2012). В частности, выполнение задания на оценку объема операций сопровождается специфическим усилением активности частей гиппокампа (Faraco et al., 2011). Следовательно, оперативное хранение информации на фоне нетривиальной когнитивной обработки опирается на работу структур, связанных с ДВП. Результаты настоящей работы также говорят о том, что ресурсы ДВП активно используются для оперативного хранения информации, не “помещающейся” в систему кратковременного хранения.

Выделение в структуре РП компонентов со специфическими функциями и характеристиками позволяет в перспективе выдвигать конкретные гипотезы относительно когнитивных механизмов выполнения различных классов заданий на РП (Величковский и Козловский, 2012). Например, при выполнении заданий на оценку сложного объема фокус внимания должен использоваться для выполнения дополнительной задачи, а регион прямого доступа - для хранения возникающих при этом промежуточных результатов и части элементов подлежащего воспроизведению набора. Остальные элементы набора должны храниться в активированной части ДВП. Если задание выполняется в определяемом испытуемыми темпе, то возникает возможность использовать приемы, повышающие вероятность воспроизведения из ДВП. Это должно приводить к завышению оценок объема РП и, как следствие, снижать корреляцию между объемом РП и уровнем интеллекта (Conway et al., 2005). В целом, изучение структуры РП позволяет лучше понять природу связи между характеристиками РП и интеллектуальными способностями человека.

Проведенное исследование было направлено на проверку предположения о возможности выделения в структуре рабочей памяти трех независимых компонентов, различающихся по объёму и надежности хранения информации: фокуса внимания,

региона прямого доступа и активированной части ДВП. Впервые подобное исследование было проведено на материале выполнения сложных заданий на определение объёма РП, широко используемых для оценки индивидуальных особенностей РП. Правомерность выделения компонентов РП определялась на основе анализа взаимодействий между факторами, предположительно селективно влияющими на отдельные компоненты. Во всех проведенных экспериментах было обнаружено, что сложность выполняемых на фоне оперативного хранения информации когнитивных операций не взаимодействует с её количеством и с силой интерференции. Это говорит об изолированности процессов обработки и хранения информации в РП, подтверждая необходимость различения фокуса внимания и системы оперативного хранения информации. В части экспериментов также было обнаружено взаимодействие количества оперативно хранимой информации и силы интерференции. Это подтверждает представления о существовании в структуре РП как собственно системы кратковременного хранения, так и системы хранения, использующей механизмы ДВП. Полученные результаты позволяют по-новому взглянуть на проблему структуры РП и природу характерных для неё ограничений.

## **4.2. Исследование структуры рабочей памяти на материале заданий на обновление рабочей памяти**

### **4.2.1. Постановка проблемы**

Как показывают результаты, приведенные в разделе 4.1., в состав РП могут входить функционально различные компоненты. РП имеет, таким образом, гетерогенную структуру. Этот вывод важен потому, что функционально различные компоненты РП характеризуются различными возможностями и ограничениями, которые определяют возможности и ограничения РП в целом. Приведенные выше результаты получены на материале сложных заданий на определение объема РП. В этом разделе возможность выделения в составе РП функционально различных компонентов будет изучена на материале другого широко распространенного класса заданий – заданий на обновление РП.

Задания на обновление РП заключаются в удержании в РП набора элементов изменяющихся элементов. Задачей испытуемого является отражение этих изменений и их сохранение для последующего воспроизведения наиболее актуальной «версии» элемента. Широко распространенными заданиями на обновление являются задание на обновление «умственных счетчиков» и задание n-back.

Задание на обновление умственных счетчиков встречается в различных вариантах. Для всех из них характерна такая организация предъявления стимульного материала, при которой предполагаемый механизм выполнения заключается в изменении значений нескольких числовых переменных. Примером является задание, использованное в работе (Garavan, 1998), в котором испытуемые должны подсчитывать количество предъявлений различных геометрических фигур. Другим примером является вариант задания на обновление счетчиков, использованное в работе (Miyake et al., 2000), в котором испытуемые должны отслеживать предъявление звуков разной частоты и реагировать тогда, когда звук определенной частоты предъявляется в третий раз. В каждом из этих заданий предполагается, что его решение заключается в создании в РП для каждого стимула переменной-счетчика, значение которой увеличивается на единицу при каждом предъявлении этого стимула. Задания на обновление счетчиков предполагают, таким образом, не только оперативное удержание информации, но и её изменение.

Задание n-back широко используется в нейрокогнитивных исследованиях рабочей памяти у человека и животных (Owen et al., 2005). В этом задании испытуемому предъявляют последовательность стимулов, и испытуемый должен определять, совпадает ли актуально предъявляемый стимул со стимулом, предъявленным за n проб до этого (n-back). При этом вариант 1-back задания n-back требует сравнивать актуально предъявляемый стимул с предыдущим стимулом, вариант 2-back – с пред-предыдущим стимулом, а вариант 3-back – с пред-пред-предыдущим стимулом. Успешное выполнение этого задания зависит от способности испытуемого удерживать в РП n предъявленных последними стимулов и изменять этот набор из n стимулов при предъявлении каждого нового стимула. Несмотря на кажущиеся незначительными требования к ресурсам хранения и переработки, уже вариант 3-back задания n-back представляет для испытуемых значительные сложности, а вариант 4-back оказывается практически невыполнимым для большинства испытуемых.

Выполнение заданий на обновление РП основывается на использовании системы компонентов РП, которая используется и при выполнении сложных заданий на определение объема РП. В приведенных ниже экспериментах, также как и в описанных выше экспериментах со сложными заданиями на определение объема РП, был реализован метод аддитивных факторов Стернберга. Он заключается в изменении факторов, селективно влияющих на компоненты РП с целью предположения гипотез об их взаимодействии или независимости. Независимость факторов свидетельствует о

возможности выделения компонентов РП как независимых структурно-функциональных единиц.

#### **4.2.2. Общая характеристика исследования**

Исследование структуры РП проводилось использованием двух заданий на обновление РП – задания на обновление счетчиков и задания n-back. В задании на обновление счетчиков испытуемые должны были отслеживать предъявление геометрических фигур разного цвета и реагировать, если количество предъявлений фигуры определенного цвета превышало пороговое значение. В задании n-back испытуемый должен был реагировать, если в предъявляемой последовательности цифр две цифры, отстоящие друг от друга на n позиций, были одинаковыми. Указанные задания являются репрезентативными заданиями для класса заданий на обновление РП.

В экспериментах изменялись несколько факторов, по-разному влияющих на различные компоненты РП. Этим факторами были нагрузка на РП (количество удерживаемых в РП элементов), длительность удержания информации в РП и степень интерференции между удерживаемыми в РП элементами, а также сложность операции обновления, осуществляемой с удерживаемыми в РП элементами. Длительность удержания информации и степень интерференции являются факторами, селективно влияющими на активированную часть ДВП, а сложность операции обновления – фактором, селективно влияющим на фокус внимания. Анализ совместных эффектов этих факторов позволяет сделать вывод о возможности выделения функционально различных компонентов РП на материале заданий на обновление РП, а также прояснить особенности использования компонентов РП при выполнении заданий этого типа.

Данное исследование проводилось с целью проверить ряд гипотез. Планировалось обнаружить значимое взаимодействие фактора нагрузки и факторов, предположительно селективно влияющих на активированную часть ДВП (длительность отсрочки и интерференция). Предполагалось, что не будет обнаружено взаимодействия фактора сложности и остальных экспериментальных факторов, так как этот фактор селективно влияет на изолированный от систем хранения фокус внимания. Также предполагалось обнаружить статистически значимые главные эффекты всех экспериментальных факторов, так как их действие связано с затруднениями в выполнении заданий на РП.

В каждом задании регистрировались точность и скорость реакций испытуемого. Обработка данных была ориентирована на выявление эффектов описанных выше факторов и, особенно, на выявление взаимодействий между этими факторами. Для

обработки данных применялись методы непараметрической (критерий Вилкоксона, критерий Фридмана) и параметрической статистики (дисперсионный анализ).

#### **4.2.3. Эксперимент 1**

*Участники.* 20 человек (12 женщин и 8 мужчин), студенты факультета психологии МГУ, возраст 19-26 лет.

*Стимуляция.* Испытуемым в центре экрана последовательно предъявлялись квадраты разного цвета со стороной 2 угл. град. Необходимо было реагировать нажатием на клавишу «Пробел» при каждом третьем предъявлении квадрата каждого цвета. При верном определении предъявления квадрата в третий раз подсчет предъявлений для квадратов этого цвета начинался сначала. Подсчет предъявлений для квадратов других цветов продолжался без изменений. При ошибке (ложная тревога или ложный пропуск) подсчет предъявлений начинался с начала для всех стимулов.

*Переменные.* Эксперимент осуществлялся в 3 серии, в каждой из которых изменялись различные переменные. В серии № 1 осуществлялась манипуляция количества предъявляемых стимулов, которое равнялось 4 или 6. В серии № 2 осуществлялась манипуляция количества предъявляемых стимулов (аналогично серии № 1), а также манипуляция вероятностью появления отдельных стимулов (2 случайно отобранных стимула предъявлялись со сниженной вероятностью). Эта манипуляция имела целью создать различия в уровне «отсрочки» - временном интервале между актуальным предъявлением стимула и его последним предъявлением. Предполагалось, что длительность отсрочки влияет на точность извлечения из памяти количества предъявлений определенного стимула, необходимого для безошибочного ответа. В серии № 3 помимо манипуляции количеством предъявляемых элементов была добавлена манипуляция сложностью операции обновления условного количества предъявлений. Использовались три уровня фактора сложности – увеличение количества предъявлений на 1 единицу, на 2 единицы и на 3 единицы. Для этого в центре каждого стимула предъявлялась надпись «+1», «+2» или «+3», и от испытуемого требовалось увеличить условное количество предъявлений данного стимула на указанное количество единиц. Испытуемый должен был реагировать в том случае, когда количество предъявлений становилось не менее пяти.

*Процедура.* Во всех сериях использовалась экспериментальная схема позиционного уравнивания со следующим варьированием уровня нагрузки на РП: 4-6-6-4. Все остальные факторы изменялись в случайном порядке внутри последовательности проб. В каждой

серии испытуемые выполняли по 120 проб. Перед проведением серии эксперимента испытуемые выполняли тренировочную серию с 48 пробами.

*Аппаратура.* Экспериментальная стимуляция предъявлялась на ЖК-экране с диагональю 15". Реакции испытуемого регистрировались с помощью клавиатуры. Предъявление стимулов и регистрация показателей точности и скорости ответов регистрировались с помощью специально разработанного программного обеспечения.

*Результаты.* Обработка данных, полученных в серии № 1, показала, что увеличение нагрузки на РП с 4 до 6 удерживаемых стимулов не привело к снижению точности выполнения задания (10,5% пропусков сигнала в условии с 4 стимулами против 10,6% в условии с 6 стимулами,  $p > 0.1$  согласно критерию Вилкоксона). Скорость верных ответов значимо увеличилась в случае предъявления 6 стимулов (606 мс против 632 мс,  $Z = -2.57$ ,  $p < 0.01$ , критерий Вилкоксона). Для точности был обнаружен значимый эффект длительности удержания ( $\chi^2 = 69.7$ ,  $p < 0.001$ , критерий Фридмана, перевернутая U-образная зависимость, но не для времени реакции,  $\chi^2 = 16.5$ ,  $p > 0.05$ ).

Обработка данных, полученных в серии № 2, показала снижение точности выполнения задания при увеличении нагрузки на РП (8% ошибок и 8,7% ошибок, соответственно,  $Z = -1.89$ ,  $p = 0.058$ , критерий Вилкоксона), но не значимое увеличение времени реакции (579 мс против 589 мс,  $Z = -0.81$ ,  $p > 0.05$ ). Эффект отсрочки оказался незначимым, так как вероятность ошибки для «редких» стимулов не отличалась от вероятности ошибки для стимулов, предъявляемых чаще (критерий Вилкоксона,  $Z = -0.85$ ,  $p > 0.05$ ). С целью обнаружения взаимодействия длительности удержания информации в РП и нагрузки на РП были рассчитаны разности между эффективностью выполнения мнестической задачи в условиях с разным уровнем нагрузки для разных уровней отсрочки и с помощью критерия Вилкоксона оценена значимость различия полученных разностей. При 6 обновляемых элементах снижение точности с увеличением отсрочки было значимо более выражено, чем при 4 элементах ( $Z = 1.98$ ,  $p < 0.05$ ). Время отсрочки является фактором, селективно влияющим на эффективность удержания информации в активированной части ДВП, но не в регионе прямого доступа. Поэтому полученный результат свидетельствует о принципиально большей зависимости испытуемых от удержания обновляемых элементов в активированной части ДВП при необходимости обновления 6 элементов. Дисперсионный анализ времени реакции для агрегированных данных показал значимые эффекты нагрузки на РП ( $F(1, 3075) = 10.2$ ,  $p < 0.01$ ) и отсрочки ( $F(11, 3075) = 13.7$ ,  $p < 0.01$ ), а также – в соответствии с данными по точности – значимое

взаимодействие нагрузки на РП и отсрочки ( $F(11, 3075) = 2.79, p < 0.01$ ). Указанное взаимодействие характеризовалось увеличением времени реакции при увеличении отсрочки при нагрузке в 6 элементов, и постоянным уровнем времени реакции при увеличении отсрочки в случае удержания 4 элементов.

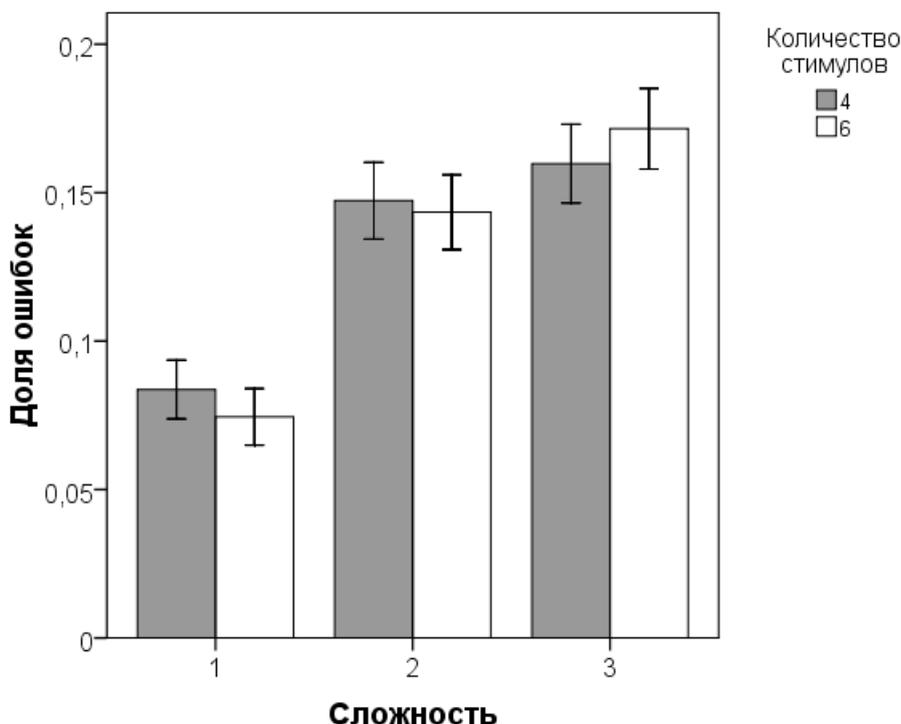


Рис 10. Зависимость точности выполнения задачи обновления счетчиков в серии №3 от сложности операции обновления и количества предъявляемых стимулов.

Обработка данных, полученных в серии № 3, не показала снижения точности выполнения задания при увеличении нагрузки на РП (16% ошибок и 15% ошибок, соответственно,  $Z=0.42, p > 0.1$ ). Время реакции увеличилось значимо при увеличении нагрузки на РП (650 мс против 670 мс,  $Z=-2.95, p < 0.1$ ). Увеличение сложности приводило к значимому увеличению количества ошибок (критерий Фридмана,  $\chi^2 = 31.3, p < 0.001$ ) и времени реакции ( $\chi^2 = 38.1, p < 0.001$ ). Для оценки наличия эффекта взаимодействия факторов нагрузки на РП и сложности переработки были рассчитаны разности показателей точности и времени реакции в условиях с разной нагрузкой на РП при разной сложности операции обновления. С помощью критерия Фридмана была определена статистическая значимость различий указанных разностей. Было обнаружено отсутствие значимого результата для показателя точности ответов ( $\chi^2 = 2.5, p > 0.1$ ) и времени реакции ( $\chi^2 = 0.7, p > 0.1$ ), что говорит об отсутствии взаимодействия факторов (рис. 10, 11).

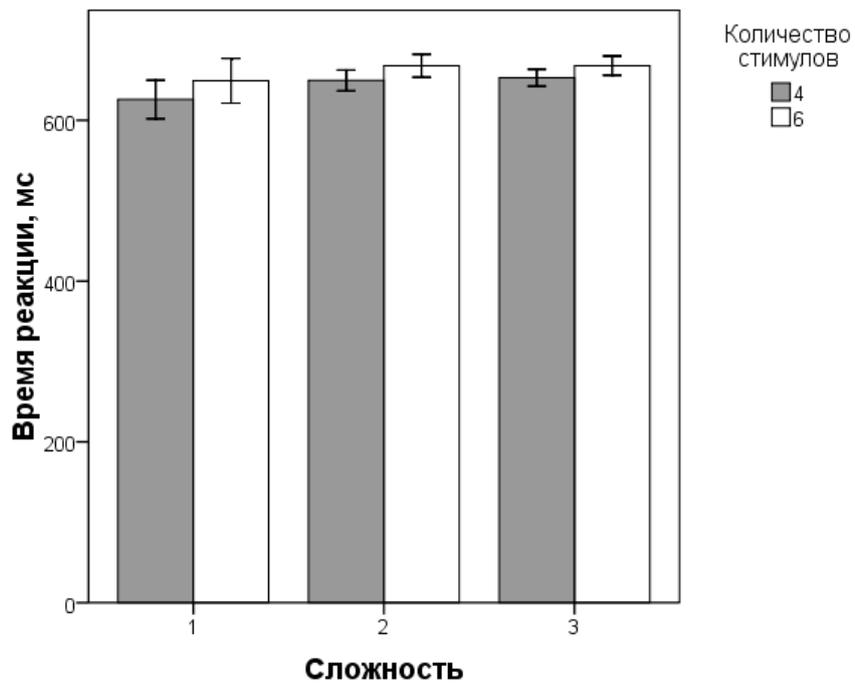


Рис. 11. Зависимость времени реакции в задаче обновления счетчиков в серии №3 от сложности операции обновления и количества предъявляемых стимулов.

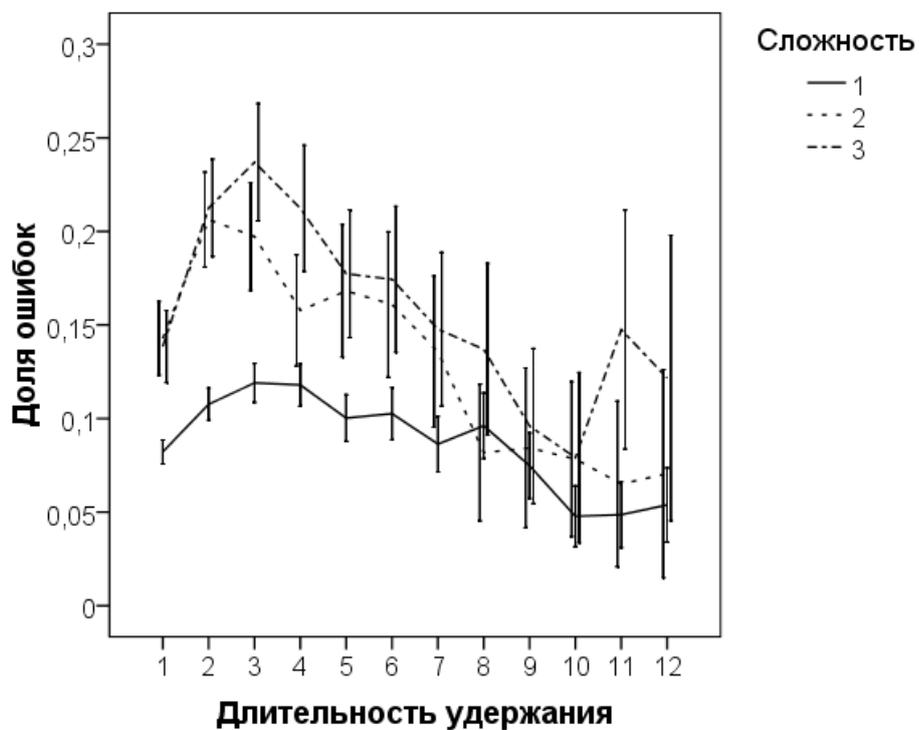


Рис. 12. Зависимость точности выполнения задания на обновление счетчиков в серии №3 от длительности удержания и сложности обновления.

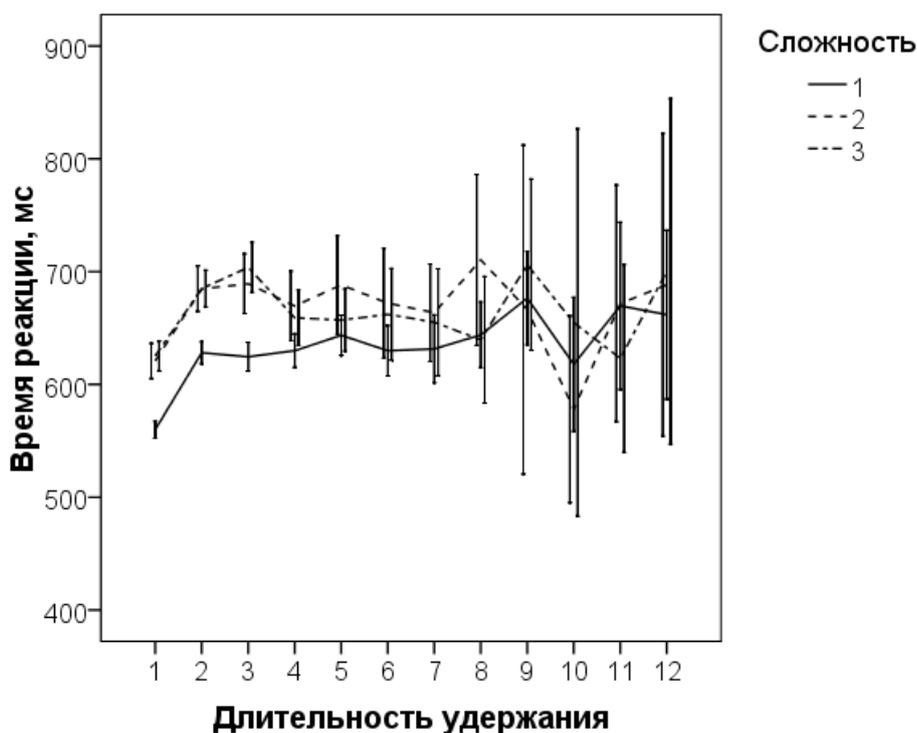


Рис. 13. Зависимость времени реакции при выполнении задания на обновление счетчиков в серии №3 от длительности удержания и сложности обновления.

Также было изучено, в какой мере взаимодействуют факторы сложности операции обновления и длительности удержания информации в РП. Анализ графиков (рис. 12 и 13) зависимости точности и скорости выполнения от сложности операции обновления и длительности удержания информации показывает, что такое взаимодействие может иметь место при длительности удержания 1-6 проб для показателя точности (критерий Фридмана,  $\chi^2(2) > 20$ ,  $p < 0,01$  для времени отсрочки 1-6, остальные  $p > 0,05$ ). Однако этот вывод не подтверждается результатами дисперсионного анализа скорости выполнения задания, в ходе которого были обнаружены значимые эффекты фактора длительности удержания ( $F(12,3580)=6,5$ ,  $p < 0,01$ ), фактора сложности ( $F(2,3580)=4,1$ ,  $p < 0,05$ ), но не их взаимодействия ( $F(23,3580)=0,98$ ,  $p > 0,05$ ). Таким образом, в частичном соответствии с гипотезой сложность не взаимодействует с длительностью удержания.

С целью выявления взаимодействия длительности удержания и количества предъявляемых стимулов были построены графики зависимости точности и скорости ответов от этих факторов (рис. 14, 15), а также проведен дисперсионный анализ скорости ответов. Визуальный анализ графиков показывает, что длительность удержания информации в РП оказывает нелинейное влияние на оба показателя. Для показателя

точности обнаруживается взаимодействие длительности удержания и нагрузки, проявляющееся в том, что при средних длительностях удержания точность ниже в условии с большей нагрузкой (6 элементов, критерий Вилкоксона,  $Z=-2.3$ ,  $p<0.01$ , для отсрочки 3, остальные  $p>0.05$ ). Эти выводы подтверждаются данными дисперсионного анализа, в котором не был обнаружен эффект нагрузки на РП ( $F(1,3580)=0,01$ ,  $p>0,05$ ), но в соответствии с гипотезой был обнаружен эффект взаимодействия нагрузки и времени удержания ( $F(12,3580)=1,8$ ,  $p<0,05$ ).

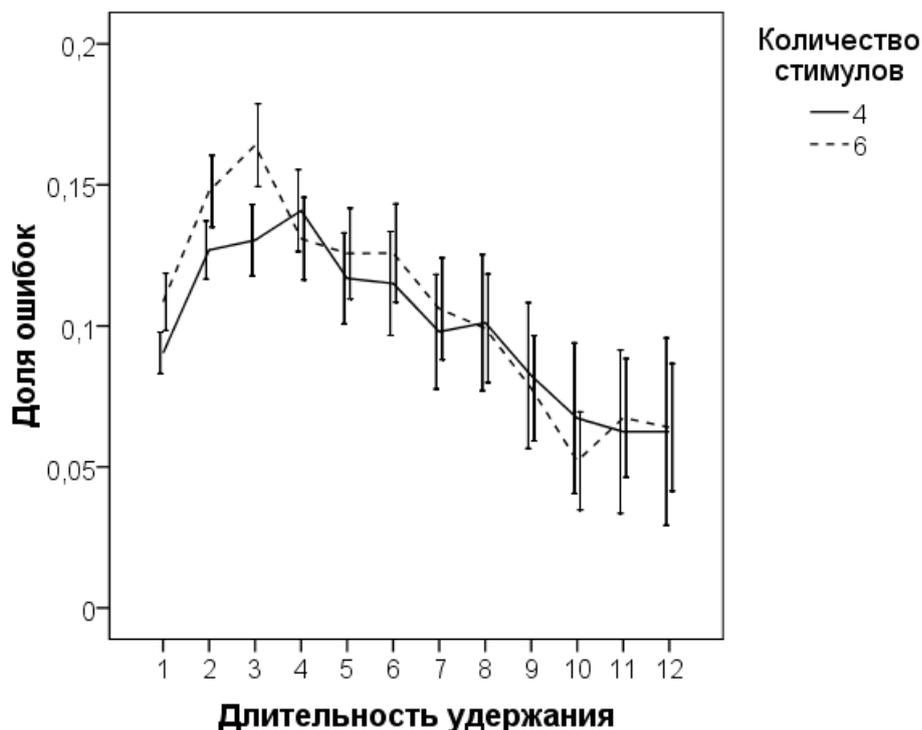


Рис. 14. Зависимость точности выполнения задания на обновление счетчиков в серии №3 от длительности удержания и количества предъявляемых стимулов.

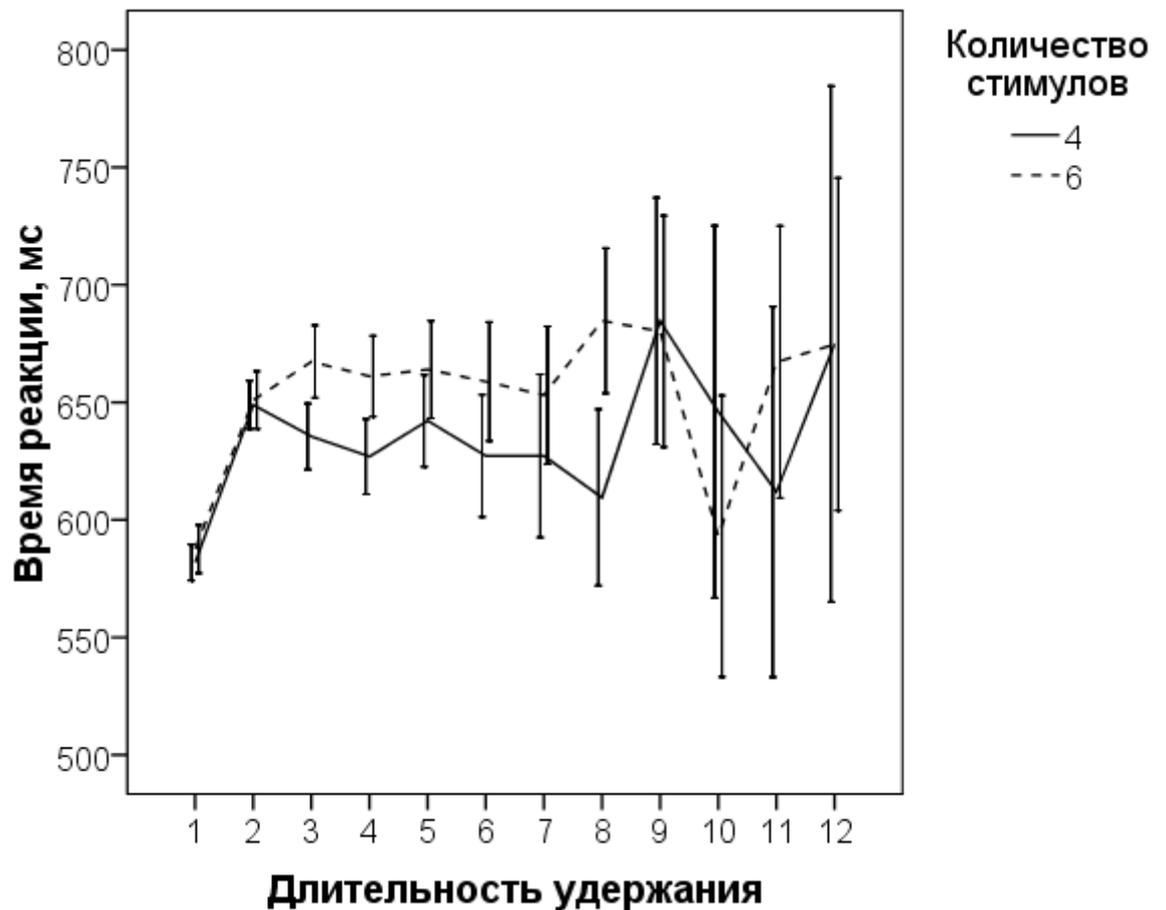


Рис. 15. Зависимость времени реакции при выполнении задания на обновление счетчиков в серии №3 от длительности удержания и количества предъявляемых стимулов.

#### 4.2.4. Эксперимент 2

*Участники.* 20 человек (12 женщин и 8 мужчин), студенты факультета психологии МГУ, в возрасте 19-26 лет.

*Задание.* Использовалось задание n-back с предъявлением символьной стимуляции. Испытуемые выполняли три варианта этого задания – задание 1-, 2- и 3-back. В каждом задании испытуемым последовательно предъявлялись цифры из диапазона от 1 до 9. В задании 1-back испытуемые должны были реагировать, если предъявляемая цифра совпадала с цифрой, предъявленной в предыдущей пробе. В задании 2-back испытуемые должны были реагировать, если предъявляемая цифра совпадала с цифрой, предъявленной за две пробы до текущей пробы. В задании 3-back испытуемые должны были реагировать, если предъявляемая цифра совпадала с цифрой, предъявленной за три пробы до текущей пробы. Всего предъявлялось 536 цифр, вероятность совпадения цифр согласно указанным

правилам составляла 1/3. В случае совпадения цифр, испытуемый должен был нажать клавишу «?» на клавиатуре компьютера, в противном случае – клавишу «Z».

*Переменные.* Манипуляция сложностью обработки осуществлялась путем изменения инструкции (2 уровня – низкая и высокая сложность). В условии с низкой сложностью испытуемые должны были реагировать непосредственно на совпадение цифр. В условии с высокой сложностью испытуемые должны были реагировать на совпадение цифр по четности/нечетности. Таким образом, в задании 1-back в условии с высокой сложностью переработки испытуемые должны были реагировать особым образом, если цифра в текущей пробе и цифра в предыдущей пробе были одновременно четными или нечетными. В задании 2-back аналогичное правило применялось, соответственно, к цифре в текущей пробе и к цифре, предъявленной за две пробы до текущей пробы. Можно предположить, что сложность сравнения цифр в условии с высокой сложностью переработки была увеличена за счет необходимости выполнять дополнительную по отношению к собственно операции сравнения операцию определения четности.

Манипуляция уровнем интерференции осуществлялась на основе того же принципа субъективной различимости чисел, что и в исследовании структуры РП с использованием сложных заданий на определение объема счета (Warma & Schwartz, 2011). В условии с низким уровнем интерференции предъявляемые цифры принадлежали множеству {1, 2, 5, 8, 9}. В условии с высоким уровнем интерференции предъявляемые цифры принадлежали множеству {5, 6, 7, 8, 9}. С помощью этой манипуляции планировалось достигнуть большей вероятности ошибочного определения цифр как одинаковых при их сравнении в силу их большего субъективного сходства в условии с высоким уровнем интерференции.

*Процедура.* Испытуемые выполняли задание сериям с разным уровнем нагрузки на РП в порядке 1-, 2-, 3-back. Внутри каждой серии экспериментальные условия чередовались систематически в порядке низкая сложность-низкая интерференция, высокая сложность-низкая интерференция, низкая сложность-высокая интерференция, высокая сложность-высокая интерференция.

*Результаты.* Показатели описательной статистики для зависимых переменных приведены в таблицах 6.

Таблица 6. Показатели дескриптивной статистики эффективности выполнения задания n-back для факторов нагрузки на РП, сложности операции обновления и уровня интерференции.

Факторы		Точность		Время реакции	
		М	SD	М	SD
Нагрузка	1	0,75	0,43	1100	786
	2	0,69	0,46	1285	957
	3	0,68	0,47	1207	912
Сложность	Низкая	0,81	0,39	1074	868
	Высокая	0,62	0,49	1340	935
Интерференция	Низкая	0,73	0,45	1201	921
	Высокая	0,70	0,46	1213	903

Увеличение нагрузки на РП привело к значимому снижению точности выполнения задания ( $\chi^2(2)=23.2$ ,  $p<0,001$ ) и его скорости ( $\chi^2(2)=6.2$ ,  $p<0,05$ , критерий Фридмана). Увеличение сложности операции обновления привело также к снижению точности ( $\chi^2(1)=201$ ,  $p<0,001$ ) и скорости ( $Z=-2.66$ ,  $p<0.01$ , критерий Вилкоксона) выполнения задания. Увеличение уровня интерференции также привело к значимому снижению точности ( $\chi^2(1)=4.4$ ,  $p<0,05$ ), но не скорости ( $Z=1.01$ ,  $p>0.05$ ) выполнения задания.

Обработка данных показала наличие взаимодействий между экспериментальными факторами. С целью оценки эффектов взаимодействий для данных о точности использовался критерий  $\chi^2$ , а для данных о времени реакции – дисперсионный анализ. Для показателя точности фактор сложности не взаимодействовал с фактором нагрузки, так как точность для разных уровней фактора сложности значимо и одинаково различалась во всех условиях (1-, 2 и 3-back, все  $\chi^2(1)>6.0$ ,  $ps<0,05$ , рис. 16). Однако это взаимодействие оказалось значимым для показателя скорости выполнения задания ( $F(2,4691)=18,3$ ,  $p<0,001$ ). Определяющим для этого взаимодействия является замедление времени реакции в условии 1- и 2-back (рис. 17).

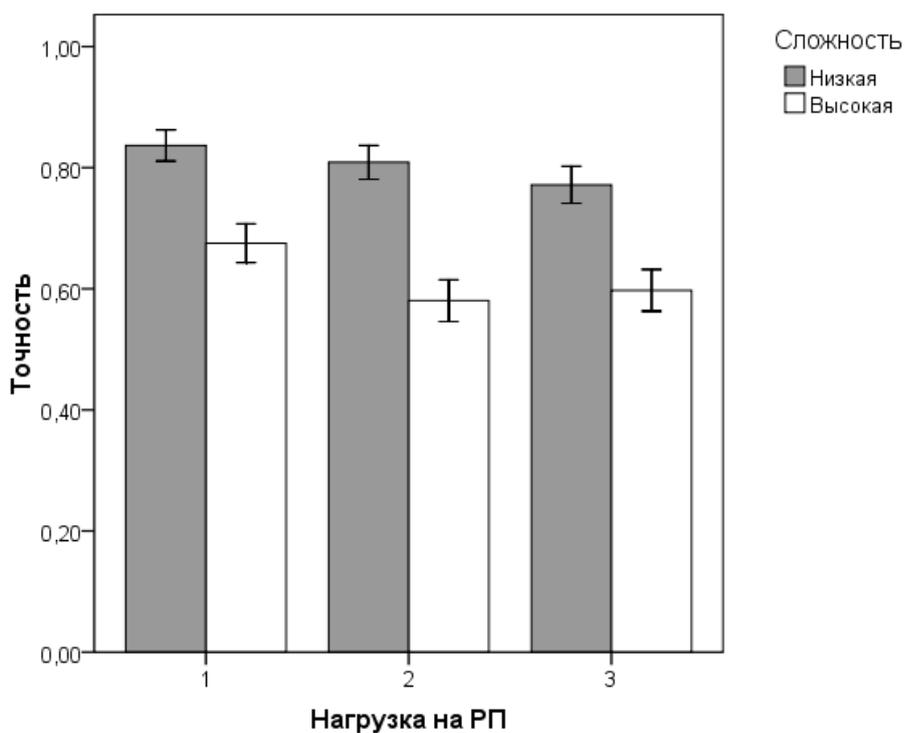


Рис. 16.

Зависимость точности выполнения задания n-back от сложности операции обновления и нагрузки на РП.

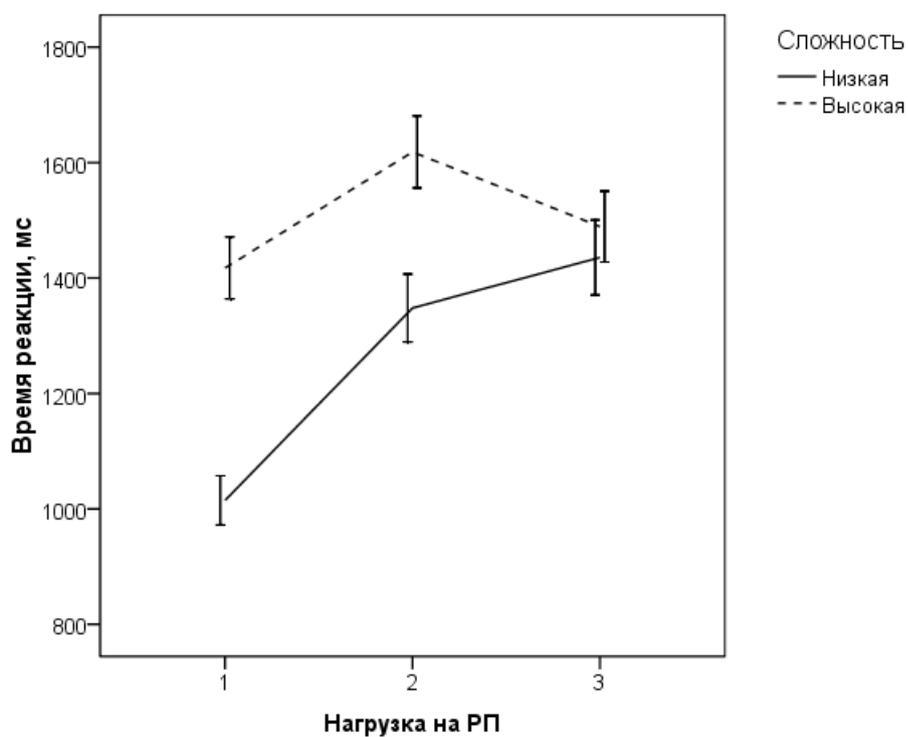


Рис. 17. Зависимость скорости выполнения задания n-back от сложности операции обновления и нагрузки на РП.

Фактор нагрузки взаимодействовал с фактором интерференции для показателя точности (значения  $\chi^2$  значимы только для условия 3-back,  $\chi^2(1)=6,3$ ,  $p<0,05$ , рис. 18). Для показателя скорости выполнения задания нагрузка также взаимодействовала с уровнем интерференции ( $F(4, 4691)=9,6$ ,  $p<0,001$ ). Это взаимодействие представлено на рис. 19, из которого видно, что оно связано с изменением соотношения скорости ответа при разных уровнях интерференции для разного уровня нагрузки на РП. В частности, при низкой нагрузке на РП время реакции ниже на низком уровне интерференции, а при высокой нагрузке на РП – при высоком уровне интерференции.

Тенденции к взаимодействию фактора сложности с фактором интерференции для показателя точности не наблюдалось. Это проявлялось в том, что в обоих условиях интерференции для низкой сложности обновления точность была выше, чем в условии с высокой сложностью (низкая интерференция,  $\chi^2(1)=132$ ,  $p<0,001$ , высокая интерференция,  $\chi^2(1)=76$ ,  $p<0,001$ , рис. 20). Для показателя скорости выполнения задания взаимодействие также не было обнаружено ( $F(2,4691)=0,58$ ,  $p>0,1$ ).

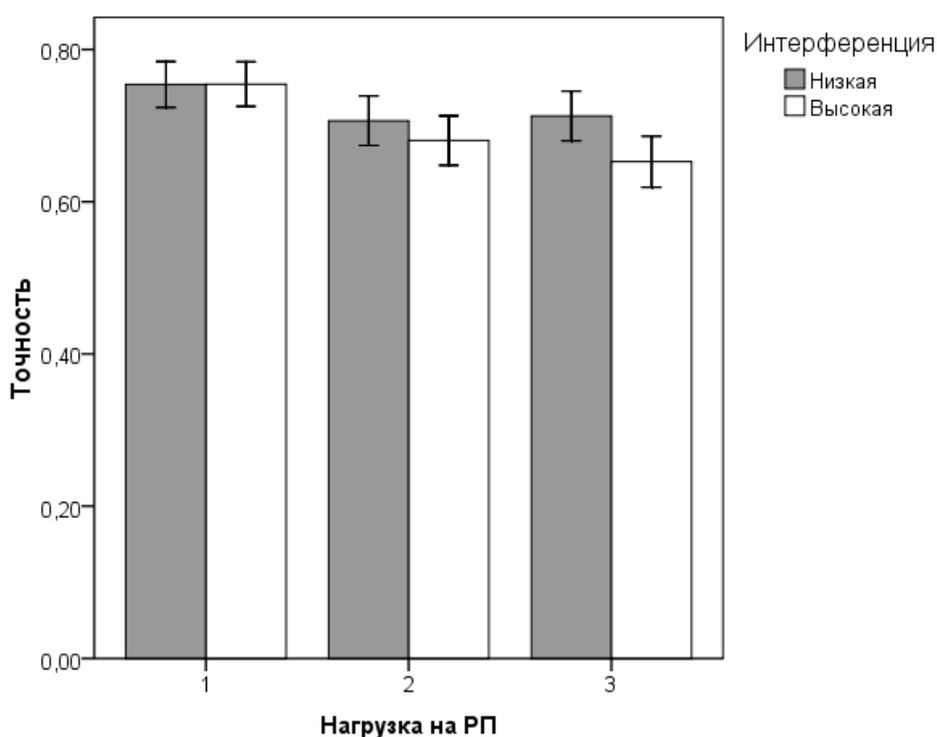


Рис. 18. Зависимость точности выполнения задания n-back от уровня интерференции и нагрузки на РП.

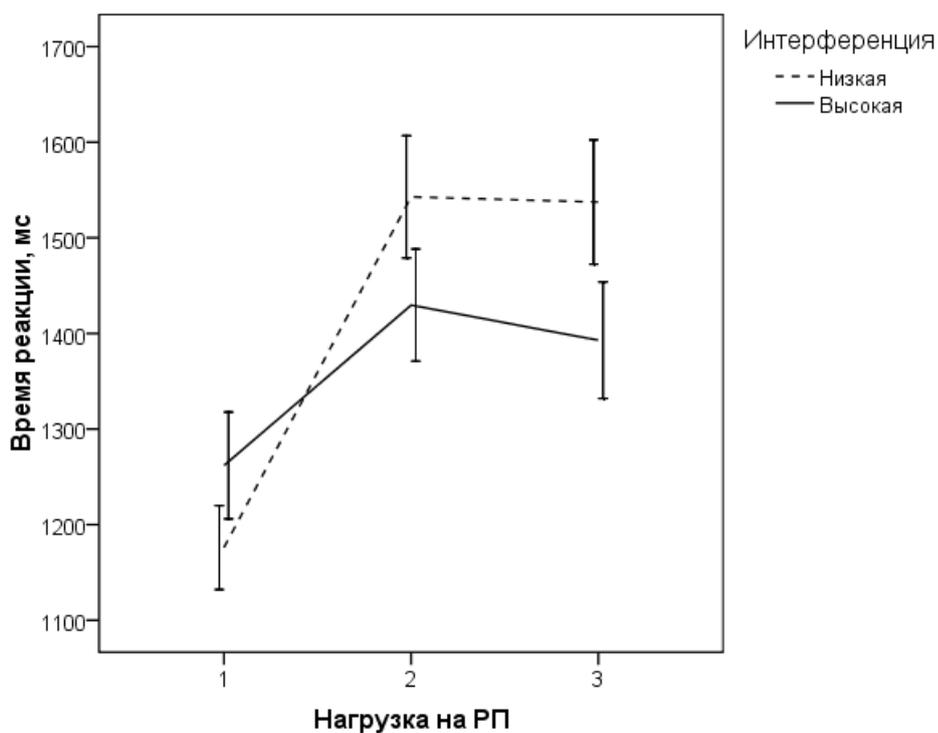


Рис. 19. Зависимость скорости выполнения задания n-back от уровня интерференции и нагрузки на РП.

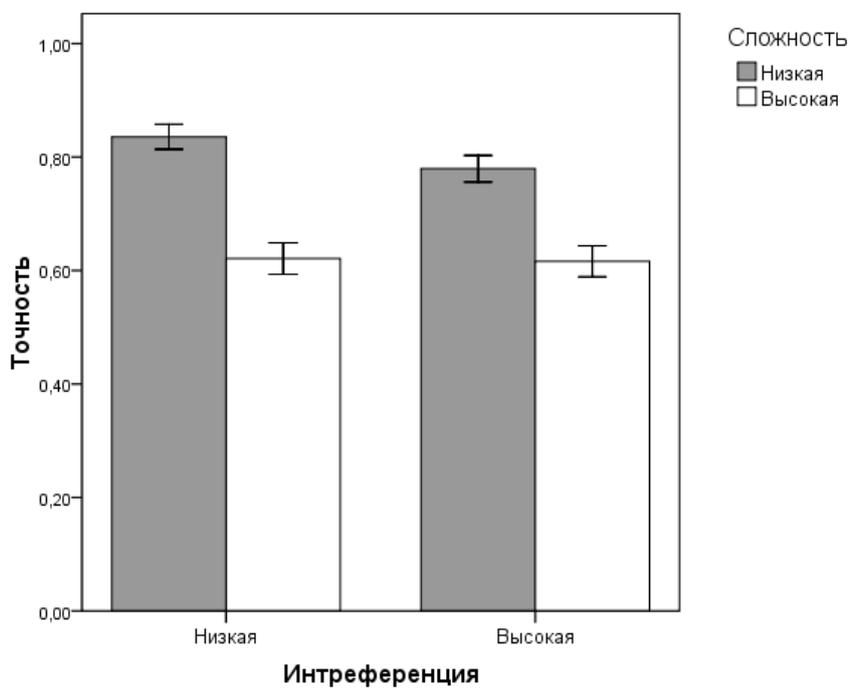


Рис. 20. Зависимость точности выполнения задания n-back от сложности операции обновления и уровня интерференции.

#### 4.2.5. Обсуждение результатов

В проведенной серии экспериментов была поставлена задача изучить взаимодействие факторов, селективно влияющих на компоненты РП, на материале заданий на обновление РП. Согласно логике метода аддитивных факторов, отсутствие значимых взаимодействий между такими факторами говорит о возможности выделения независимых этапов или структур переработки информации.

В обоих экспериментах было показано, что увеличение нагрузки на РП, длительности удержания информации в РП, интерференции и сложности операции обновления часто оказывает негативное влияние на эффективность выполнения экспериментальных заданий. Это свидетельствует о том, что задействованные в экспериментах факторы действительно влияют на функционирование РП. В частности, обнаруживаемый эффект нагрузки на РП может быть связан с тем, что при увеличении количества удерживаемых в РП элементов становится необходимым использовать системы хранения более низкого функционального уровня, чем регион прямого доступа, обеспечивающий быстрый и надежный доступ к небольшим объемам информации.

В эксперименте с заданием обновления счетчиков было установлено, что фактор сложности операции обновления не взаимодействует с фактором нагрузки на РП. Этот результат хорошо согласуется с выдвинутой при планировании данного исследования гипотезой об отсутствии взаимодействий фактора сложности и других экспериментально варьируемых факторов. Такая гипотеза мотивирована представлениями о существовании фокуса внимания как компонента РП, обеспечивающего переработку отдельных репрезентаций, удерживаемых в РП. В соответствии с гипотезой было обнаружено, что фактор сложности не взаимодействовал с длительностью удержания (для показателя времени реакции). Однако были получены свидетельства взаимодействия фактора сложности и фактора длительности отсрочки с возникновением эффекта сложности в интервале отсрочки примерно от 2 до 7 проб. Подобный эффект может быть связан с использованием особых стратегий выбора ответа в тех случаях, когда увеличение счетчика может с большой вероятностью привести к превышению порогового значения (+2, +3) и когда значение счетчика активировалось достаточно недавно, т.е. с большой вероятностью находится в регионе прямого доступа. Такие стратегии могут заключаться в большей сознательной верификации ответа, связанной также с необходимостью игнорировать значения счетчиков, соответствующих другим стимулам. В результате время реакции, равно как и вероятность ошибок могут увеличиваться для данного диапазона длительности удержания. В свою очередь, обнаруженный эффект повышения

точности и скорости доступа к элементам, последняя активация которых происходила достаточно давно, может быть связана с их выгрузкой в активированную часть ДВП, обеспечивающей их повышенную различимость относительно элементов, удерживаемых в регионе прямого доступа. Таким образом, данные о наличии специфического взаимодействия сложности обновления и длительности отсрочки не свидетельствуют против существования фокуса внимания как изолированного компонента РП, но говорят о возможности использования различных стратегий переработки в фокусе внимания в зависимости от того, в каком компоненте РП удерживается информация и насколько надежным является её хранение.

Для задания n-back фактор сложности не взаимодействовал с уровнем нагрузки (для показателя точности), что соответствует данным по заданию со счетчиками и соответствует гипотезе. Взаимодействие сложности и нагрузки, полученное для времени реакции, противоречит выдвинутой гипотезе, а также результатам, полученным в экспериментах с заданием на обновление счетчиков и в экспериментах со сложными заданиями на определение объема РП. Важным отличием задания n-back от этих заданий является то, что в задании n-back каждая операция обновления удерживаемого в памяти набора элементов должна включать в себя ряд микро-операций по добавлению к набору нового элемента, удалению из набора элемента, выходящего за пределы диапазона элементов, относительно которых проводится сравнение, а также изменению позиций всех остальных элементов в наборе. Таким образом, в отличие от других заданий на РП задание n-back включает в себя элементы последовательного сканирования набора элементов в памяти. Предполагая, что такое сканирование осуществляется с помощью фокуса внимания, можно сделать вывод о том, что наблюдаемое взаимодействие фактора сложности (как фактора, специфичного относительно фокуса внимания) и нагрузки на РП (т.е. длины набора) будет закономерным. На основе этих результатов, в частности, можно сделать вывод, что фокус внимания необходим для активации того элемента, который должен быть «удален» из РП. В целом, полученные результаты свидетельствуют в пользу существования фокуса внимания, функционирование которого осуществляется независимо от систем хранения информации в РП. При этом статистически независимость фокуса внимания проявляется ярче в заданиях с хорошо прогнозируемыми требованиями к удержанию информации в РП, а в заданиях с выраженной динамикой удерживаемого в РП набора элементов она становится менее однозначной.

В проведенных экспериментах были получены результаты относительно эффектов факторов, предположительно селективно влияющих на эффективность удержания

информации в активированной части ДВП. В соответствии с гипотезой было обнаружено, что длительность удержания взаимодействует с нагрузкой в задании обновления счетчиков (для показателя точности и времени реакции в серии №2, и для показателя точности в серии №3). Такое взаимодействие является ожидаемым, так как при достаточно высокой нагрузке на РП (6 удерживаемых элементов) фиксированные элементы информации удерживаются в активированной части ДВП, в то время как другие элементы удерживаются в регионе прямого доступа. Это особенно характерно для серии №2, где имеются «редкие» элементы, особенно подходящие для «выгрузки» в активированную часть ДВП. Отсутствие такого взаимодействия для времени реакции в серии №3 может быть связано с тем, что при выполнении этого задания не существует фиксированного распределения удерживаемых элементов по системам хранения и что в ходе предъявления отдельных стимулов соответствующие им элементы, удерживаемые в РП, переносятся в регион прямого доступа, вытесняя другие хранящиеся там элементы в активированную часть ДВП.

В эксперименте с заданием n-back фактором, селективно влияющим на активированную часть ДВП, являлась степень интерференции между удерживаемыми элементами. Следует отметить, что в этом задании использование активированной части ДВП для хранения информации представляется менее вероятным, так как даже при самой большой нагрузке (3-back) количество элементов, которые необходимо удерживать в РП, равняется 4 (что лежит в пределах «магического числа 7»). Можно предположить, что такое количество информации может быть удержано в регионе прямого доступа и необходимость в задействовании возможностей активированной части ДВП отсутствует. Несмотря на это, было обнаружено взаимодействие нагрузки и интерференции, что полностью соответствует гипотезе. При этом взаимодействие проявляется в снижении точности при высоком уровне интерференции в условии 3-back. Предположительно, в этом случае для удержания и обновления всех элементов в РП привлекается активированная часть ДВП, что говорит о сложном, многоступенчатом механизме выполнения задания n-back (Owen et al., 2005; Kane et al., 2007), не сводящихся к простому удержанию 4 элементов в регионе прямого доступа. В полном соответствии с гипотезой для задания n-back также было обнаружено отсутствие взаимодействия фактора сложности и интерференции, что еще раз подтверждает относительную независимость фокуса внимания от других компонентов РП.

В целом следует отметить, что полученные результаты согласуются с представлениями о существовании в составе РП двух систем хранения с разными

функциональными характеристиками. Специфика примененных заданий на обновление РП заключается в том, что при их выполнении происходит осуществление трансформаций информации, удерживаемой только в регионе прямого доступа, в силу чего иногда не происходит взаимодействия нагрузки и факторов, селективно влияющих на активированную часть ДВП. Сопоставление результатов экспериментов с заданиями на обновление РП и сложными заданиями на определение объема РП дает сходные результаты. В обоих случаях показано, что увеличение нагрузки на РП может приводить к выраженному снижению эффективности её работы. Это свидетельствует о возможных различиях функциональных возможностей систем, обеспечивающих реализацию функций РП при разном количестве удерживаемой информации. В обоих случаях показано, что сложность выполняемых операций – фактор, связанный с переработкой информации в фокусе внимания – в основном не взаимодействует с факторами, связанными с функционированием входящих в состав РП систем хранения. Это подтверждает гипотезу о самостоятельном статусе фокуса внимания как специализированной системы переработки информации в РП. В обоих исследованиях в основном получены результаты о взаимодействии нагрузки и фактора, селективно влияющего на активированную часть ДВП (отсрочка, интерференция). Полученные в обоих исследованиях результаты в целом не противоречат гипотезе о существовании в РП двух функционально различных систем хранения. Одной такой системой является регион прямого доступа, обеспечивающий надежное, устойчивое к действию угасания и интерференции хранение небольших объемов информации. Другой системой хранения является активированная часть ДВП, обеспечивающая менее надежное хранение неограниченных объемов информации. Таким образом, исследование структуры РП, впервые проведенное с привлечением заданий на обновление РП, позволяет прийти к выводам относительно организации РП, подобным тем, которые позволяет сделать описанное выше исследование с привлечением сложных заданий на определение объема РП.

### **4.3. Исследование структурных особенностей хранения информации в рабочей памяти при повышенном риске нарушений долговременной памяти**

#### **4.3.1. Постановка проблемы**

Результаты исследований, приведенные в разделах 4.1 и 4.2, свидетельствуют о возможной гетерогенности структуры РП. В частности, они свидетельствуют в пользу представлений о наличии в составе РП системы хранения, отождествляемой с подмножеством активированных репрезентаций ДВП. Ниже будут приведены результаты исследования эффективности выполнения заданий, требующих использования РП, в

случае, когда функционирование ДВП затруднено. С этой целью было проведено сравнение эффективности выполнения задания на обновление РП и сложного задания на определение объема РП у лиц, являющихся и не являющихся носителями аллеля  $\epsilon 4$  гена аполипопротеина E.

Носительство аллеля  $\epsilon 4$  гена аполипопротеина E (ApoE- $\epsilon 4$ ) является важным риск-фактором развития деменций альцгеймеровского типа (ДАТ, Raber, Huang, & Ashford, 2005; Величковский и др., 2012). ДАТ – это серьезное заболевание, которое характеризуется выраженными нарушениями когнитивной сферы, в первую очередь, эпизодической ДВП (Allain et al., 2013). Эти нарушения приводят к тому, что способность пациентов к самостоятельной жизнедеятельности снижается, а качество их жизни ухудшается. С растущей долей пожилого населения в развитых и развивающихся странах вероятность возникновения этого расстройства также увеличивается, приводя к росту прямых и косвенных расходов на лечение пациентов. Вероятность развития ДАТ у носителей ApoE- $\epsilon 4$  может превышать вероятность развития этого заболевания у не носителей в 10 раз (Raber et al., 2005).

Как было отмечено, ДАТ сопровождается различными когнитивными нарушениями, однако нарушения эпизодической ДВП являются для них очень характерными. Открытым остается вопрос о том, какие нарушения когнитивной сферы могут быть обнаружены у здоровых носителей ApoE- $\epsilon 4$ . Исследования в этой области привели к получению противоречивых результатов. Так, здоровые носители ApoE- $\epsilon 4$  могут показывать сниженные результаты в выполнении тестов на эпизодическую ДВП (De Blasi et al., 2009), но могут выполнять тесты на эпизодическую ДВП на уровне, сопоставимом с уровнем когнитивно-здоровых носителей других генотипов (Quintas et al., 2014; Mondadori et al., 2007). Кроме того, носители ApoE- $\epsilon 4$  могут показывать сниженные результаты выполнения тестов исполнительных функций и функций когнитивного контроля (Allain, Etchary-Bouyx, & Verny, 2013), но могут также не обнаруживать снижения эффективности выполнения этих тестов и могут даже выполнять эти тесты с повышенной эффективностью (Bondi et al., 1999). В силу противоречивости отдельных результатов значительную роль в установлении возможного когнитивного дефицита у носителей ApoE- $\epsilon 4$  играют мета-аналитические исследования.

Мета-аналитические исследования когнитивной сферы носителей ApoE- $\epsilon 4$  показывают (Wisdom, Callahan & Hawkins, 2011), что в этой популяции достоверно установлены нарушения эпизодической памяти. Для других когнитивных процессов

систематические свидетельства нарушений отсутствуют. Наличие специфических нарушений ДВП у носителей ApoE-ε4 позволяет использовать этих людей в качестве испытуемых в тех случаях, когда необходимо оценить роль ДВП в реализации различных видов когнитивной деятельности.

#### **4.3.2. Методика**

*Участники.* В исследовании приняли участие 13 носителей ApoE-ε4 (9 женщин, 4 мужчины), средний возраст 45,5 лет, и 22 не-носителя ApoE-ε4 (17 женщин, 5 мужчин), средний возраст 47,5 лет. Генотип носителей включал один аллель ε4 и один аллель ε3. Не носители являлись гомозиготами по аллелю ε3. Носители и не-носители не различались по возрасту ( $p > 0,05$ ). У всех участников имелся родственник (мать, отец, брат, сестра) с диагностированной ДАТ. Это позволило уравнивать выборки по фактору семейной истории ДАТ, который является еще одним важным риск-фактором развития этого заболевания. Все участники прошли комплексное нейропсихологическое обследование, проведенное специалистами Научного центра психического здоровья РАМН (Москва), которое подтвердило отсутствие деменции.

*Задания.* Задание на определение объема операций. В центре экрана в течение 6000 мс предъявлялся сложный стимул, состоящий из уравнения и согласной буквы, разделенных вертикальной чертой. Уравнение имело форму вида  $A \otimes B \oplus C = D$ . Первая операция ( $\otimes$ ) была мультипликативной (умножение или деление), а вторая операция ( $\oplus$ ) была аддитивной (сложение или вычитание). Одной из задач испытуемого было верифицировать уравнение, т.е. определить, равняется ли значение левой части уравнения (“истинный ответ”) и значению его правой частью уравнения (“предлагаемый ответ”, D). Другой задачей испытуемого было запомнить букву для последующего воспроизведения. Буквы требовалось воспроизводить в порядке предъявления после окончания предъявления стимуляции. Длина последовательности варьировала от 3 до 6. Последовательности предъявлялись в порядке возрастания длины, по 3 последовательности каждой длины. Регистрировались точность воспроизведения букв и точность верификации уравнений. Для каждой длины последовательности рассчитывалось среднее количество полностью верно воспроизведенных букв (т.е. букв, указанных верно и в правильном порядке). Кроме того, рассчитывался общий показатель объема РП, определяемый как среднее средних количеств букв, полностью верно воспроизведенных для последовательностей определенной длины.

Задание n-back. В центре экрана в течение 500 мс предъявлялась цифра из псевдослучайной последовательности. Испытуемый должен был идентифицировать те случаи («особые случаи»), когда предъявленная цифра совпадала с цифрой, предъявленной за одну пробы до текущей пробы (2-back). Ответ испытуемого ожидался в течение 2500 мс. Тренировочная серия включала 10 цифр с 3 особыми случаями, основная серия включала в себя 62 цифры с 15 особыми случаями.

Задание на антисаккаду. В центре экрана в течение 500 мс предъявлялась фиксационная точка, после которой в течение 225 мс в середине одной из половин экрана предъявлялся дистрактор – квадрат со стороной 1 угл. град. После предъявления дистрактора в середине противоположной стороны экрана в течение 150 мс предъявлялся стимул – стрелка, указывающая вправо или влево, заключенная в квадрат со стороной 2 угл. град. Задачей испытуемого было определить направление стрелки. Инструкция в явной форме требовала от испытуемого не смотреть на дистрактор, т.е. подавлять рефлекторную саккаду в направлении объекта, появляющегося в периферии поля зрения и, наоборот, инициировать саккаду в противоположном направлении (антисаккада). Испытуемые выполняли 4 тренировочные пробы и 100 проб в основной серии эксперимента. В основной серии эксперимента все комбинации положения и направления стимула-стрелки встречались равновероятно в случайной последовательности.

*Процедура.* Методики предъявлялись в следующем порядке: задание на антисаккаду, задание n-back, задание на определение объема операций. Перед каждым заданием испытуемому предъявлялась инструкция и давалась возможность выполнить тренировочное задание.

*Аппаратура.* Экспериментальная стимуляция предъявлялась на ЖК-экране с диагональю 15". Реакции испытуемого регистрировались с помощью клавиатуры. Предъявление стимулов и регистрация показателей точности и скорости ответов осуществлялось с помощью программного обеспечения Affect 4.0.

*Обработка данных.* При обработке данных рассчитывались показатели дескриптивной статистики, а также использовались непараметрические критерии сравнения средних и методы непараметрического корреляционного анализа.

### 4.3.3. Результаты

Показатели дескриптивной статистики эффективности выполнения заданий в выборке в целом, а также отдельно для группы носителей и не-носителей АроЕ-ε4 приведены в таблицах 7 и 8.

Таблица 7. Показатели дескриптивной статистики эффективности выполнения задания на антисаккаду и задания n-back в выборках носителей и не-носителей АроЕ-ε4 (BP – время реакции).

Выборка	Антисаккада				N-back			
	Точность		BP		Точность		BP	
	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD
Выборка в целом	0,74	0,15	675	135	0,89	0,06	807	252
Носители	0,75	0,14	703	158	0,90	0,06	778	232
Не-носители	0,74	0,17	657	120	0,88	0,06	826	270

Согласно критерию Колмогорова-Смирнова, распределение показателей не отличалось от нормального ( $Z$  от 0,33 до 2,08), за исключением двух случаев – количества верно воспроизведенных букв в задании на определение объема операций при длине последовательности, равной 3 элемента (для носителей и не-носителей АроЕ-ε4). В силу этого, а также учитывая небольшой объем выборок, сравнение значений показателей в группах носителей и не-носителей было проведено с помощью непараметрического критерия Манна-Уитни. Результаты сравнения показали отсутствие значимых различий между выборками носителей и не-носителей по всем показателям ( $U$  от 66 до 90,  $p$  от 0,21 до 0,89). Следовательно, носители АроЕ-ε4 не отличаются от не-носителей по эффективности выполнения использованных в исследовании заданий, хотя механизмы их выполнения могут различаться.

Таблица 8. Показатели дескриптивной статистики эффективности выполнения задания на определение объема операций в выборках носителей и не-носителей АроЕ-ε4.

Выборка	Объем операций											
	ТОО		ОО		ОО3		ОО4		ОО5		ОО6	
	М	SD	М	SD	М	SD	М	SD	М	SD	М	SD
Выборка в целом	0,87	0,09	3,7	0,66	2,9	0,32	3,3	0,73	4,2	0,89	4,5	1,4
Носители	0,85	0,10	3,6	0,51	2,9	0,23	3,3	0,65	4,1	0,82	4,3	1,1
Не-носители	0,89	0,08	3,8	0,76	2,9	0,38	3,6	0,81	4,2	0,95	4,6	1,6

Примечание. ТОО – точность верификации уравнений, ОО – общий показатель объема операций, ОО3-ОО6 – количество верно воспроизведенных букв при различной нагрузке на РП (от 3 до 6).

С целью детального изучения особенностей выполнения заданий носителями и не носителями АроЕ-ε4 был проведен корреляционный анализ на основе коэффициента корреляции Спирмена.

Для показателей эффективности выполнения задания на определение объема операций были обнаружены выраженные различия в структуре их корреляционных взаимосвязей у носителей и не-носителей АроЕ-ε4. У не-носителей количество верно воспроизведенных букв, полученное при разных длинах запоминаемой последовательности, коррелировало между собой. Так, количество верно воспроизведенных букв при длине последовательности 3 элемента коррелировало с количеством верно воспроизведенных букв при длине последовательности 5 элементов ( $r=0,53$ ,  $p<0,05$ ). При этом все эти показатели коррелировали с общим показателем объема воспроизведения. В группе носителей такие корреляции в большинстве случаев отсутствовали. В этой выборке были обнаружены только корреляции количества верно воспроизведенных цифр при длине последовательности 5 и 6 элементов с показателем объема операций ( $r=0,78$ ,  $p<0,01$  и  $r=0,81$ ,  $p<0,01$ ).

Для показателя эффективности выполнения задания n-back также были обнаружены различия корреляций этих показателей в выборках носителей и не-носителей ApoE-ε4. Точность и скорость выполнения задания n-back у не-носителей коррелировали с общим показателем объема операций (для точности  $r=0,6$ ,  $p<0,5$ ; для скорости  $r=-0,44$ ,  $p<0,1$ ). Они также коррелировали с количеством верно воспроизведенных элементов, полученных при достаточно высокой нагрузке на РП в 5 элементов (для скорости  $r=-0,59$ ;  $p<0,5$ ) и 6 элементов (для точности  $r=0,59$ ,  $p<0,05$ ). Такие корреляции отсутствовали в выборке носителей, где показатели эффективности выполнения задания n-back вообще не коррелировали с показателями эффективности выполнения других заданий.

Отличия носителей от не-носителей характерны и для корреляционных зависимостей между показателями эффективности выполнения задания на антисаккаду и заданий на РП. У не-носителей обнаруживается корреляция точности выполнения задания на антисаккаду и количества верно воспроизведенных букв при длине последовательности 4, 5 и 6 элементов в задании на определение объема операций ( $r$  между 0,39 и 0,66,  $p$  между 0,01 и 0,12), а также корреляция точности выполнения задания на антисаккаду и общего показателя объема операций ( $r=0,61$ ,  $p<0,01$ ). Такие корреляции полностью отсутствуют в выборке носителей. Различия между выборками носителей и не-носителей по связи показателя объема операций и точности выполнения задания на антисаккаду представлены на рис. 21. Единственным похожим результатом у носителей и не-носителей является наличие корреляции между точностью выполнения задания на антисаккаду и точностью выполнения задания n-back (у не-носителей,  $r=0,66$ ,  $p<0,01$ ) и корреляции между скоростью выполнения задания на антисаккаду и точностью выполнения задания n-back (у носителей,  $r=0,72$ ,  $p<0,05$ ).

Таким образом, проведенный корреляционный анализ показал наличие выраженных различий в структуре корреляционных взаимосвязей показателей эффективности выполнения заданий на РП и задания на антисаккаду у носителей и не-носителей генотипа, связанного с повышенном риском развития нарушений ДВП. При этом в группе не-носителей обнаруживалось большое количество взаимосвязей показателей эффективности выполнения задания на определение объема РП и показателей эффективности выполнения других заданий. Эти результаты должны получить объяснение с точки зрения возможных структурно-функциональных различий в организации РП у носителей и не-носителей ApoE-ε4.

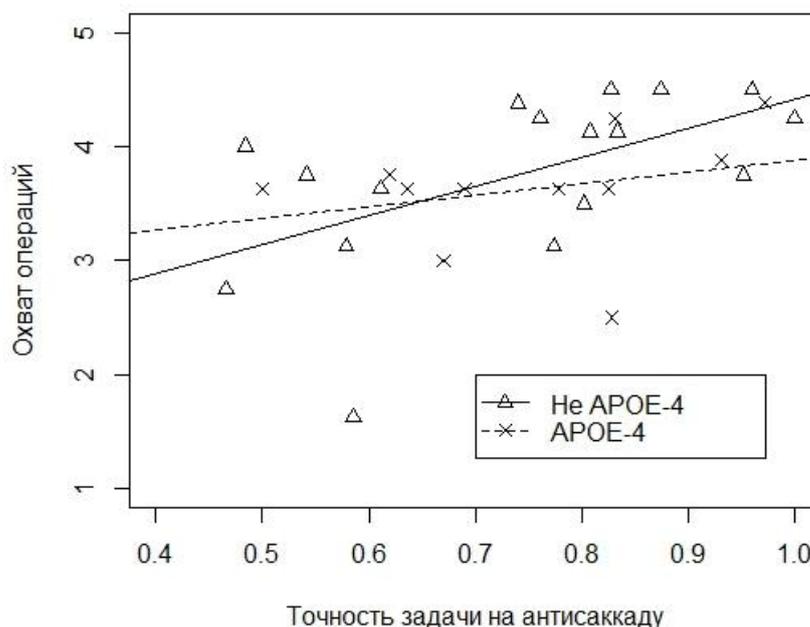


Рис. 21. Зависимость показателя объема операций от точности выполнения задания на антисаккаду в выборках носителей ApoE-ε4 и не-носителей.

#### 4.3.4. Обсуждение результатов

Результаты обработки данных о выполнении заданий на РП и задания на антисаккаду в выборках носителей и не-носителей ApoE-ε4 показывают две основные тенденции. Во-первых, выборки не различались по эффективности выполнения всех заданий, т.е. РП у представителей обеих популяций показывает одинаковый функциональный уровень. Отсутствие значимых различий в эффективности выполнения мнестического задания не означает, однако, тождества используемых при этом механизмов памяти. Равная эффективность выполнения заданий на РП может обеспечиваться использованием разных функциональных подсистем РП.

Вторая тенденция заключается в наличии систематических различий корреляций показателей эффективности выполнения заданий на РП и задания на антисаккаду у носителей и не-носителей ApoE-ε4. Наличие корреляций количества верно воспроизведенных букв в задании на определение объема операций при запоминании последовательности букв разной длины между собой у не-носителей говорит об использовании хорошо согласованного комплекса механизмов решения этой мнестической задачи в этой выборке испытуемых. При этом при различном уровне нагрузки на РП могут быть задействованы разные специальные механизмы удержания

запоминаемого материала. Так, при необходимости удерживать в РП 5 или 6 элементов для их оперативного удержания могут быть использованы ресурсы ДВП (т.е. при необходимости оперативного удержания информации, объем которой превышает типичный объем региона прямого доступа, часть информации будет «выгружаться» в активированную часть ДВП). Одновременно для удержания меньших по объему множеств элементов будут использоваться разнообразные ресурсы КВП (например, в форме использования ресурсов региона прямого доступа). Практически полное отсутствие таких корреляций в группе носителей свидетельствует о том, что удержание различных по объему множеств элементов у них обеспечивается разнородными стратегиями, за которыми не прослеживается согласованная система принципов активации различных компонентов РП. В частности, обоснованным представляется предположение, что при высокой нагрузке на РП будут использоваться различные мобилизационные стратегии, позволяющие решить задачу удержания этой информации с привлечением только функциональных возможностей компонентов кратковременного хранения. Таким образом, возможный дефицит ДВП у носителей АроЕ-ε4 может проявляться в том, что эта система памяти не будет использована при выполнении задания на определение объема операций, хотя при отсутствии такого дефицита использование ДВП представляется одним из возможных механизмов выполнения этого задания.

Не-носители также отличаются от носителей наличием корреляций между показателями эффективности выполнения задания на определение объема операций и задания n-back. При этом корреляция общего показателя объема операций с показателями эффективности выполнения задания n-back обусловлены их корреляциями с эффективностью выполнения задания на определение объема операций при достаточно высоком уровне нагрузки на РП (при 5 и 6 удерживаемых в РП элементах). Такие корреляции обусловлены тем, что нагрузка на РП при выполнении использованного варианта задания n-back (2-back) является достаточно высокой, вероятно, в силу необходимости динамического изменения состава удерживаемого в РП множества элементов. При этом наличие корреляций между показателями эффективности выполнения задания n-back и задания на определение объема операций у не-носителей свидетельствует об использовании ими единых механизмов решения заданий, требующих привлечения функциональных возможностей РП. У носителей такие корреляции отсутствуют, что свидетельствует о том, что для решения разных заданий привлекаются различные стратегии и механизмы, которые могут даже различаться в контексте выполнения одного задания при разном уровне нагрузки на РП. Таким образом,

полученные результаты свидетельствуют о различиях в стратегии выполнения заданий, требующих использования РП, у носителей и не-носителей, что может быть связано с возможно имеющимся у носителей дефицитом ДВП.

Этот общий вывод подтверждают результаты, полученные относительно корреляций эффективности выполнения заданий, требующих использования РП, и задания на антисаккаду. Хотя в выборке не-носителей показатели эффективности выполнения задания на антисаккаду коррелируют с показателями эффективности выполнения задания на определение объема операций, такие корреляции отсутствуют у носителей. Так как задание на антисаккаду является средством оценки эффективности контроля внимания и функций произвольного подавления, то наличие таких корреляций у не-носителей может свидетельствовать об участии этих функций в переработке информации или в удержании информации в ходе выполнения задания на определение объема операций. Последняя из указанных возможностей связана с тем, что одним из возможных механизмов РП является извлечение информации из ДВП под контролем процессов исполнительного внимания, позволяющих подавлять извлечение интерферирующих репрезентаций (Unsworth & Engle, 2007).

Характер полученных для задания на антисаккаду корреляций обнаруживает интересную диссоциацию носителей и не-носителей. У не-носителей обнаруживаются как корреляции показателей эффективности выполнения задания на определение объема операций с показателями эффективности выполнения задания на антисаккаду, так и корреляции показателей эффективности выполнения задания n-back с показателями эффективности выполнения задания на антисаккаду. У носителей обнаруживаются только корреляции последнего типа. Так как выполнение задания n-back в меньшей степени зависит от использования хранения информации в активированной части ДВП, но предъявляет высокие требования к функциям произвольного внимания, то эти результаты позволяют сделать два вывода. Во-первых, у носителей сохраняются возможности использования функций произвольного внимания, например, для решения задач переработки и удержания информации в РП на основе систем кратковременного хранения. Во-вторых, у носителей снижены возможности по использованию функций произвольного внимания при извлечении информации из ДВП. У носителей в меньшей степени, чем у не-носителей, к решению задачи удержания информации в РП привлекаются механизмы ДВП.

Полученные результаты в целом свидетельствуют о том, что носители используют стратегии решения задач, требующих привлечения РП, отличающиеся от стратегий используемых не-носителями. Кроме того, эти результаты показывают, что у носителей имеется система согласованных механизмов РП, обеспечивающих выполнение разнородных заданий, требующих использования функциональных возможностей РП, отличная от системы механизмов РП, имеющейся у не-носителей. В свете возможно присутствующего у носителей дефицита механизмов долговременного хранения можно предположить, что основным структурно-функциональным отличием РП носителей и не-носителей является отсутствие ДВП в составе РП носителей. Полученные результаты подтверждают, что РП имеет сложное строение, и что РП способна обеспечивать необходимые для решения задач переработки и хранения информации функциональные возможности при помощи различной структурной организации.

#### **4.4. Исследование позиционных эффектов в рабочей памяти**

##### **4.4.1. Постановка проблемы**

Позиционные эффекты (или эффекты края) - это различия в вероятности правильного воспроизведения элементов, находящихся в разных позициях запоминаемого списка элементов при его свободном воспроизведении. Как хорошо известно (Postman, Phillips, 1965), обычно обнаруживаются два вида позиционных эффектов – эффект первичности (primacy) и эффект недавности (recency). Первичность – это более успешное воспроизведение элементов в начале списка. Первичность связывают с более надежным хранением информации в ДВП, в которую первые элементы попадают из кратковременной памяти в результате проговаривания. Недавность – это более успешное воспроизведение элементов из конца списка. Элементы в конце списка попадают в КВП непосредственно перед моментом воспроизведения и не успевают распасться в силу угасания или действия интерференции.

Существование эффектов первичности и недавности является одним из наиболее сильных оснований для различения КВП и ДВП. Эффект недавности, но не эффект первичности, исчезает, если между предъявлением списка и воспроизведением испытуемый должен выполнять интерферирующую задачу. С другой стороны, эффект первичности отсутствует у больных с амнестическим синдромом, хотя эффект недавности у них сохраняется. Эффект первичности, в отличие от эффекта недавности, также снижается под влиянием возраста и распределения внимания – факторов, особенно сильно влияющих на эпизодическую ДВП (Howieson et al., 2011).

Позиционные эффекты могут наблюдаться не только при свободном воспроизведении списков элементов, но и при выполнении сложных заданий на определение объема РП. При выполнении таких заданий обнаруживается, например, что элементы из конца последовательности воспроизводятся лучше, чем элементы из середины последовательности – т.е. наблюдается эффект недавности (Morrison, Conway, Chein, 2014). При этом особенно высока вероятность правильного воспроизведения самого последнего элемента (McElree, Doshier, 1989). Также может наблюдаться выраженный эффект первичности – особенно при отсроченном воспроизведении списка (McCabe, 2008). Также показано, что наличие эффекта первичности может зависеть от когнитивной нагрузки, связанной с дополнительной задачей (Botto et al., 2014).

Обнаружение позиционных эффектов при выполнении заданий на РП говорит о том, что РП не сводима к КВП. Кроме того, неоднозначный характер позиционных эффектов при выполнении заданий на РП при воспроизведении информации из РП требует их более детального изучения. В настоящей работе в рамках двух исследований с использованием сложных заданий на определение объема РП будет проведен анализ позиционных эффектов, возникающих при удержании в РП последовательности элементов.

#### **4.4.2. Исследование 1**

##### **4.4.2.1. Методика**

Задания. Задание на определение «объема счета». Задание было разработано на основе задания на определение объема счета (Case et al., 1982). Испытуемому предъявлялась последовательность экранов, на которых в случайном порядке были расположены простые геометрические фигуры (круги и квадраты). Задача испытуемого состояла в подсчете количества целевых фигур (кругов) и игнорировании дистракторов (квадратов). После предъявления всех экранов в наборе испытуемый должен был воспроизвести количество целей на каждом из предъявленных экранов в порядке их предъявления. Таким образом, в этом задании задача подсчета целей сочеталась с задачей сохранения результатов подсчета. Стимуляция предъявлялась 4 сериями, в каждой из которых количество целевых фигур изменялось от 2 до 6 по схеме 2-3-4-5-6-6-5-4-3-2. Это и другие задания были реализованы в среде для программирования психологических экспериментов E-Prime 2.0.

Задание на определение «объема операций». Задание было разработано на основе задания на определение объема операций (Turner & Engle, 1989). 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. Стимуляция предъявлялась 4 сериями, в каждой из которых количество пар изменялось от 2 до 6 по схеме 2-3-4-5-6-6-5-4-3-2.

Задание на определение «объёма оценки четности». Задание было разработано на основе задания на определение объёма оценки четности (Lepine et al., 2005). 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. Стимуляция предъявлялась 4 сериями, в каждой из которых количество цифр в последовательностях изменялось от 2 до 6 по схеме 2-3-4-5-6-6-5-4-3-2.

*Аппаратура.* Предъявление стимуляции осуществлялось средствами программы E-Prime 2.0 на ЖК-экране диагональю 19 дюймов.

*Испытуемые.* В исследовании приняли участие 36 человек, студенты факультета психологии МГУ в возрасте от 18 до 25 лет (средний возраст – 21 год), 28 женщин, 8 мужчин. Задание на определение объёма счета выполняли 12 человек (8 женщин, 4 мужчины). Задание на определение объёма операций выполняли 12 человек (все – женщины). Задание на определение объёма оценки четности выполняли 12 человек (8 женщин, 4 мужчины).

*Процедура.* Перед выполнением задания испытуемые знакомились с инструкцией и выполняли тренировочное задание, в котором необходимо было удерживать в памяти 2 и 3 элемента.

#### 4.4.2.2. Результаты

Для задания на определение объёма счета был обнаружен позиционный эффект – влияние порядкового номера элемента на вероятность его воспроизведения,  $F(5, 1755)=2,68$ ;  $p<0,05$ . Как видно из рис. 22а, при выполнении этого задания возникают оба эффекта – и эффект недавности, и эффект первичности. Величина позиционного эффекта

изменялась при увеличении нагрузки на РП,  $F(10, 1741)=2,03$ ;  $p<0,05$ . Анализ результатов выполнения задания на определение объёма операций также выявляет позиционный эффект  $F(5, 1914)=7,12$ ;  $p<0,05$ . Однако в этом случае наблюдается только эффект недавности, т.е. лучшее воспроизведение элементов, предъявленных последними (рис. 22б). Эффект первичности – лучшее воспроизведение элементов, предъявленных первыми – полностью отсутствует. Точность воспроизведения первых элементов не отличается от точности воспроизведения элементов, предъявленных в середине последовательности. Величина позиционного эффекта также значительно изменяется при увеличении нагрузки на РП,  $F(10, 1900)=7,02$ ;  $p<0,001$ . Позиционный эффект был обнаружен и в задании на определение объёма оценки четности,  $F(5,2074)=12,5$ ;  $p<0,001$ . При этом наблюдался как эффект первичности, так и эффект недавности (рис. 22в). Увеличение нагрузки на РП также сопровождается изменением величины позиционного эффекта,  $F(10, 2060)=5,48$ ;  $p<0,001$ .

С целью количественного определения величины позиционных эффектов для всех заданий была рассчитана точность воспроизведения элемента 1, элемента 6, а также средняя точность воспроизведения элементов 3 и 4. Результаты приведены в таблице 9.

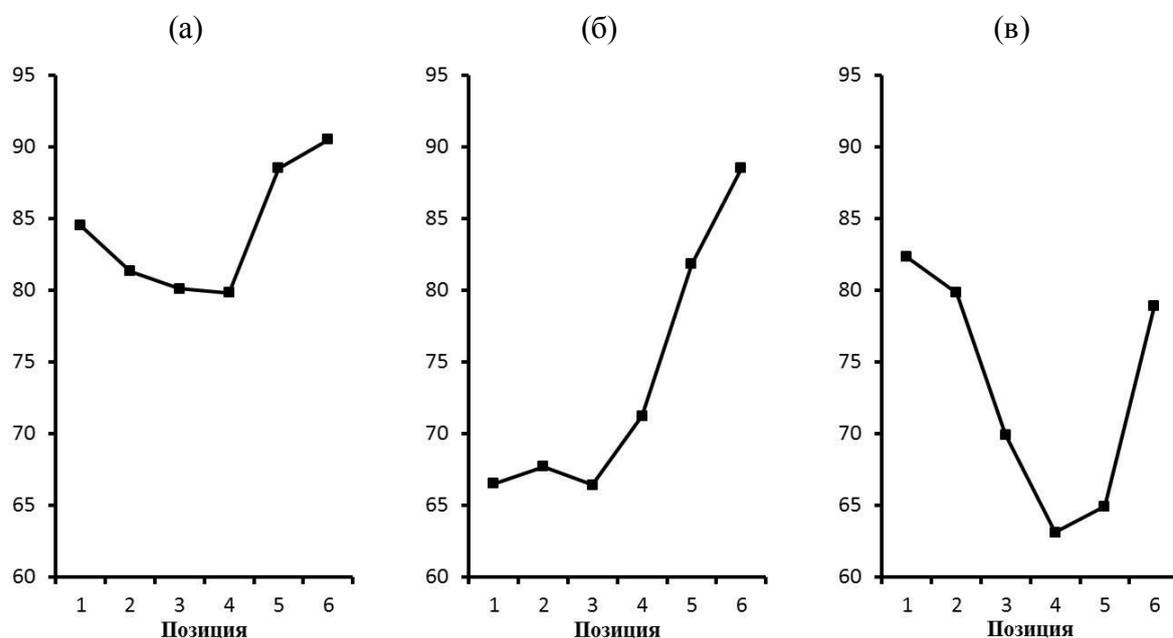


Рис. 22. Позиционные кривые (% верных воспроизведения в зависимости от позиции элемента в последовательности) для каждого из заданий, исследование 1: (а) – объём счета, (б) – объём операций, (в) – объём оценки четности.

Таблица 9. Точность воспроизведения крайних и промежуточных элементов, исследование 1.

Задание	Точность воспроизведения (%)		
	Элемент 1	Элементы 3,4	Элемент 6
Объём счета	84,5	80,0	90,5
Объём операций	66,5	68,8	88,5
Объём оценки четности	82,3	67,0	78,9

Разность точности воспроизведения первого элемента, для которого эффект первичности должен быть выражен максимально, и точности воспроизведения промежуточных элементов, для которых оба позиционных эффекта должны быть выражены минимально, представляет собой количественную оценку эффекта первичности. Аналогично, разность точности воспроизведения последнего элемента и точности воспроизведения промежуточных элементов представляет собой количественную оценку эффекта первичности. Оцененные таким образом позиционные эффекты представлены на рис. 23.

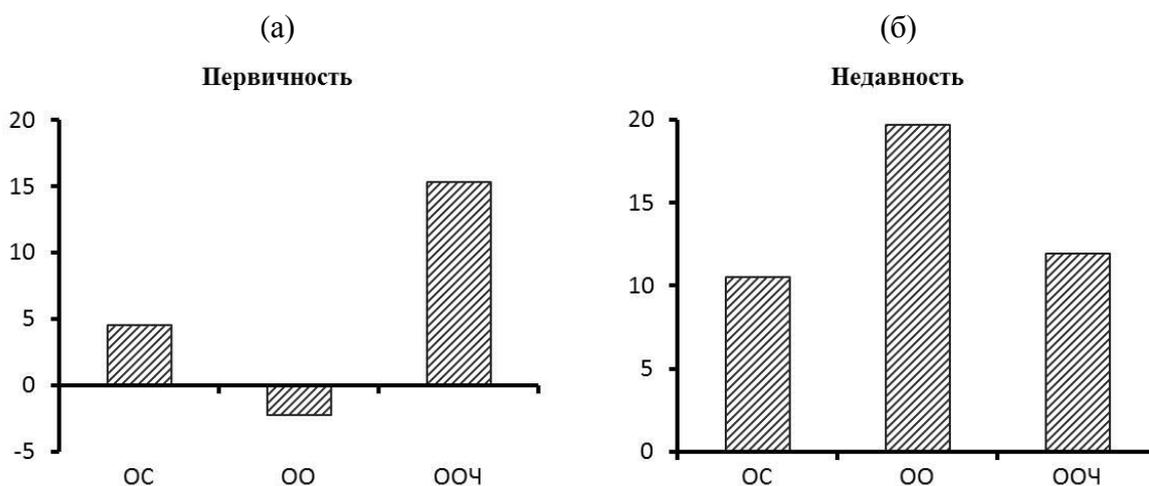


Рис. 23. Позиционные эффекты (разность % верных воспроизведений для крайних и промежуточных элементов, а – эффект первичности, б – эффект недавности), исследование 1. ОС – объем счета, ОО – объем операций, ООЧ – объем оценки четности.

Таким образом, анализ показателей воспроизведения информации из РП выявляет выраженные позиционные эффекты, характер которых различается в зависимости от содержания нагрузочного задания.

#### 4.4.3. Исследование 2

##### 4.4.3.1. Методика

Задания в исследовании 2 были аналогичны заданиям, использованным в исследовании 1, но отличались количеством проб - в каждом задании испытуемым предъявлялась только одна серия проб. В одной пробе количество удерживаемых в рабочей памяти элементов варьировало от 2 до 6 по схеме 2-3-4-5-6-6-5-4-3-2. Каждый испытуемый выполнил все задания в следующем порядке: задание на определение объёма счета, задание на определение объёма операций, задание на определение объёма оценки четности. Аппаратура и программное обеспечение были такими же, как в исследовании 1. В исследовании приняли участие 38 человек, студенты ВУЗов г. Москвы в возрасте от 18 до 30 лет (средний возраст – 21,8 лет), 25 женщин, 13 мужчин.

#### 4.4.3.2. Результаты

Анализ результатов выполнения задания на определение объёма счета свидетельствует о наличии значимого эффекта позиции –  $F(5, 1556)=5,32; p<0,001$ . Как видно из рис. 24а, для этого задания характерны как эффект недавности, так и эффект первичности. Величина позиционного эффекта изменяется при увеличении нагрузки на РП,  $F(10, 1542)=2,57; p<0,01$ . Анализ результатов выполнения задания на определение объёма операций также свидетельствуют о наличии позиционного эффекта  $F(5, 1634)=3,37; p<0,01$ . Как в исследовании 1, при выполнении этого задания наблюдается только эффект недавности, а выраженный эффект первичности отсутствует (рис. 24б). Величина позиционного эффекта в задании на определение объёма операций также значимо изменяется при увеличении нагрузки на РП,  $F(10, 1620)=2,65; p<0,01$ . Позиционные эффекты обнаруживаются и при выполнении задания на определение объёма оценки четности,  $F(5, 1594)=3,31; p<0,01$ . При этом наблюдался как эффект первичности, так и эффект недавности (рис. 24в). Увеличение нагрузки на рабочую память также сопровождается изменением величины позиционного эффекта,  $F(10, 1580)=2,18; p<0,05$ .

В таблице 10 приведены значения точности воспроизведения крайних и промежуточных элементов. На рис. 25 представлены эффекты первичности и недавности, возникшие при выполнении каждого из трех заданий. Как и в исследовании 1, обнаруживаются выраженные позиционные эффекты. Выполнение всех трех заданий сопровождается возникновением эффектов недавности, причем особенно выраженный эффект наблюдается при выполнении задания на определение объёма операций. Эффект первичности при выполнении задания на определение объёма операций выражен минимально. Выполнение заданий на определение объёма счета и объёма оценки четности

сопровождается возникновением высокого эффекта первичности. Качественный анализ результатов выполнения заданий в исследовании 2 свидетельствует об их полном совпадении с результатами выполнения заданий в исследовании 1.

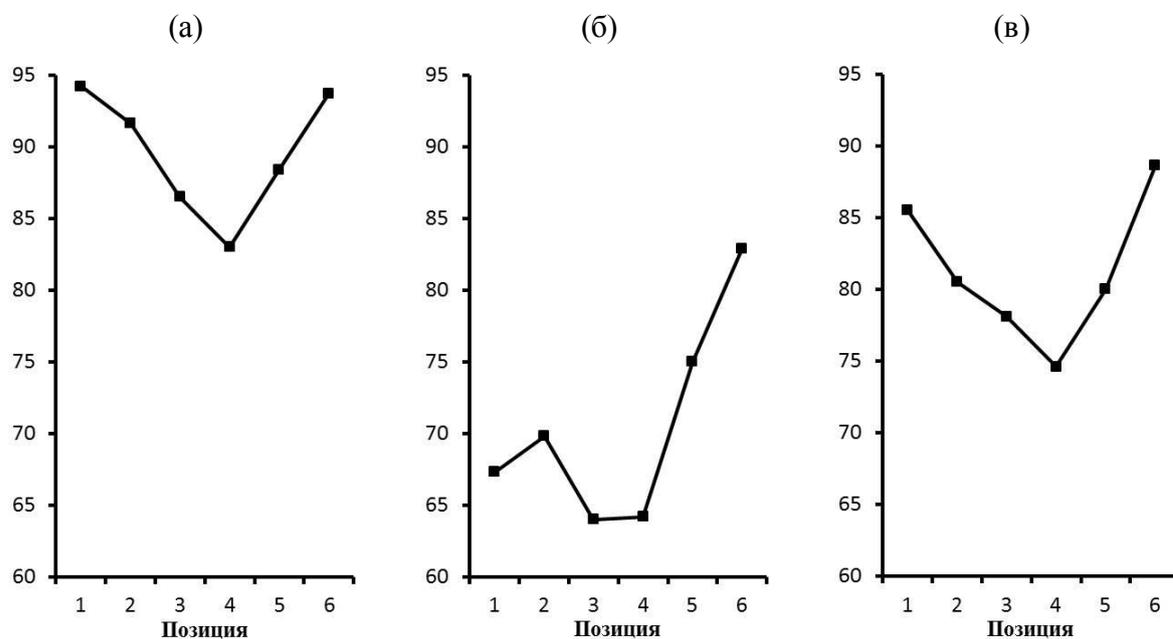


Рис. 24. Позиционные кривые (% верных воспроизведения в зависимости от позиции элемента в последовательности) для каждого из заданий, исследование 2: (а) – объём счета, (б) – объём операций, (в) – объём оценки четности.

Таблица 10. Точность воспроизведения крайних и промежуточных элементов, исследование 2.

Задание	Точность воспроизведения (%)		
	Элемент 1	«Средние» элементы	Элемент 6
Объём счета	94,2	85	93,7
Объём операций	67,3	64	82,9
Объём оценки четности	85,5	76	88,8

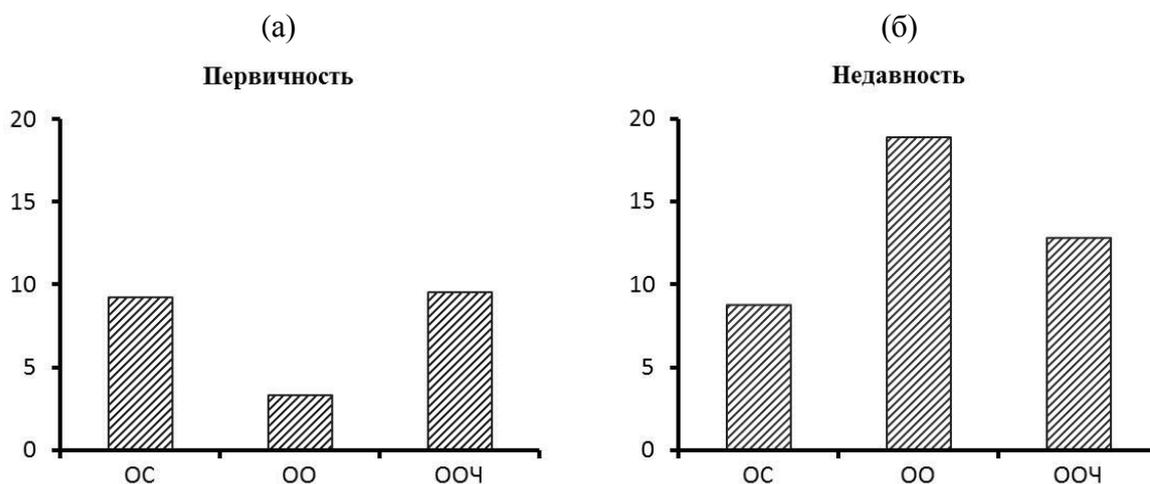


Рис. 25. Позиционные эффекты (разность % верных воспроизведений для крайних и промежуточных элементов, а – эффект первичности, б – эффект недавности), исследование 2. ОС – объём счета, ОО – объём операций, ООЧ – объём оценки четности.

#### 4.4.4. Обсуждение результатов

В исследовании 1 и 2 при выполнении испытуемыми различных сложных заданий на определение объёма РП были обнаружены позиционные эффекты – как эффекты недавности, так и эффекты первичности. Наличие эффектов обоих видов говорит об участии двух качественно различных систем хранения в оперативном удержании информации – КВП и ДВП. Таким образом, РП не является КВП, «дополненной» механизмами переработки, а является функциональным объединением различных систем памяти, обеспечивающим процессы текущей переработки доступом к необходимой информации.

На сегодняшний момент накоплены многочисленные свидетельства того, что оперативное хранение информации основывается на использовании двух разнородных механизмов (Величковский, 2013). Методами структурного моделирования показано, например, что существуют два независимых источника изменчивости показателей объёма РП – первичная и вторичная память (Unsworth, Spillers, Brewer, 2009). Нами было показано, что нагрузка на РП взаимодействует с проактивной интерференцией (Величковский, 2013). При этом негативный эффект интерференции возникает только при высокой нагрузке на РП. Эти результаты свидетельствуют о том, что при необходимости удержания в РП большого количества материала начинает использоваться система хранения, чувствительная к действию интерференции. Вероятно, такой системой является ДВП, для которой интерференция является основным фактором забывания. Нейрофизиологические исследования показывают, что при выполнении заданий на рабочую память часто наблюдается активация структур головного мозга, ассоциируемых с

функциями ДВП. Например, при выполнении задания на определение объема операций наблюдается активность гиппокампа (Faraco et al., 2011).

Полученные результаты о наличии эффектов первичности и недавности при выполнении заданий на РП хорошо согласуются с выводом об использовании механизмов кратковременного и долговременного хранения при реализации функций РП. Возникновение эффекта недавности связано с хранением небольшой части оперативно удерживаемой информации в системе хранения небольшого объема, обеспечивающей непосредственный доступ к своему содержимому (КВП). Эффект первичности возникает в результате «выгрузки» части информации в ДВП, для которой не существует ограничений объема хранения.

В работе (McCabe, 2008) сравнилась эффективность воспроизведения при выполнении заданий на определение простого и сложного объема РП. Задания этих двух видов различаются наличием/отсутствием необходимости совмещения удержания последовательности элементов в РП с выполнением дополнительной задачи. Было показано, что при непосредственном воспроизведении эффективность воспроизведения выше в задании на определение простого объема, однако при отсроченном воспроизведении его эффективность выше для задания на определение сложного объема. При этом обнаруживается выраженный эффект первичности – лучше всего воспроизводятся элементы из начала списка. Эти результаты интерпретируются как свидетельствующие в пользу хранения первых элементов последовательности во вторичной (долговременной) памяти и о поддержании их в активном состоянии за счет повторяющегося извлечения. Повторяющиеся попытки извлечения из ДВП создают эффект распределенного научения, который приводит к повышению вероятности правильного воспроизведения первых элементов последовательности. В заданиях на определение простого объема подобного эффекта не возникает, так как отсутствие необходимости выполнять дополнительную задачу позволяет удерживать все элементы в КВП.

Основным результатом настоящей работы представляется обнаружение систематического отсутствия эффекта первичности при выполнении задания на определение объема операций. Кроме того, при выполнении этого задания возникает эффект недавности, величина которого превышает величину этого эффекта, обнаруживаемую в случае выполнения двух других заданий. Чтобы понять природу этих различий, необходимо сравнить содержание этих заданий. В задании на определение

объёма счета используется более простое дополнительное задание (подсчет зрительных целей), чем в задании на определение объёма операций (верификация уравнений). Подсчет зрительных целей требует перцептивной идентификации объектов, а также удержания промежуточного результата подсчета. Результаты предыдущих подсчетов целей хранятся в КВП, а при необходимости – выгружаются в ДВП. В силу этого при выполнении задания на определение объёма счета возникают оба позиционных эффекта. Задача верификации уравнений, помимо перцептивной идентификации, требует выполнения арифметических операций и сохранения промежуточных результатов, т.е. является когнитивно более сложной. Как более сложная, эта задача требует привлечения значительных когнитивных ресурсов. Если предположить, что выгрузка информации в ДВП является активным процессом, требующим ресурсов внимания, то становится понятно, что она становится невозможной при выполнении сложной дополнительной задачи. Это приводит к исчезновению эффекта первичности при выполнении задания на определение объёма операций. Аналогичное исчезновение эффекта первичности при увеличении сложности дополнительной задачи показано (Botto et al., 2014) в случаях выполнения другого класса заданий на РП – заданий на обновление РП.

Сравнение содержания заданий на определение объёма операций и объёма оценки четности позволяет прийти к аналогичным выводам. В задании на определение объёма оценки четности используется достаточно простая дополнительная задача (реакция выбора). Хотя эта задача объективно является более сложной, чем задача подсчета целей, она, безусловно, проще задачи верификации уравнений. Кроме того, в отличие от верификации уравнений, цифры, четность которых должна быть определена, предъявляются в фиксированном темпе, что облегчает планирование распределения ресурсов внимания между выполнением дополнительной задачи, активацией элементов в КВП и выгрузкой элементов в ДВП. Таким образом, несмотря на то, что в задании на определение оценки четности используется нетривиальная дополнительная задача, в данном случае возникает эффект первичности.

В свою очередь, усиление эффекта первичности при выполнении задания на определение объёма операций может быть вызвано компенсаторным стремлением испытуемых увеличить общую эффективность выполнения задания в ситуации, когда использование ДВП для оперативного хранения информации не представляется возможным. Такое объяснение предполагает, что испытуемые могут гибко перераспределять неспецифические когнитивные ресурсы между переносом информации в ДВП и удержанием информации в КВП. Как показано в исследовании Моррисона с

соавторами (Morrison, Conway, Chein, 2014), соотношение эффектов первичности и недавности при выполнении заданий на РП не является фиксированным, а может изменяться в зависимости от инструкции – больший акцент на удержании первых элементов приводит к увеличению эффекта первичности, а больший акцент на удержании последних элементов приводит к увеличению эффекта недавности.

Полученные результаты подтверждают данные о том, что РП человека имеет сложную структуру и не опирается на работу только одной системы хранения информации. Обнаруженные позиционные эффекты показывают, что при выполнении заданий на РП используется как КВП, так и ДВП. Двухуровневые модели РП, предполагающие участие КВП и ДВП в реализации её функций, получают сегодня широкое распространение (Cowan, 1999; Unsworth, Spillers, Brewer, 2009). При этом роль каждой системы памяти при выполнении конкретного задания определяется условиями, в которых оно должно выполняться, а также требованиями самой задачи. Обнаруженная нами зависимость эффекта недавности от сложности дополнительной задачи показывает, что важным фактором, определяющим использование той или иной системы хранения, является доступность ресурсов внимания. Таким образом, успешность оперативного хранения информации зависит от эффективности работы КВП и ДВП, а также от эффективности работы процессов контроля внимания.

При удержании последовательности элементов в РП возникают позиционные эффекты – лучшее воспроизведение элементов, находящихся в начале или в конце последовательности. В данном исследовании показано, что при выполнении сложных заданий на определение объёма РП могут возникать как эффекты недавности, так и эффекты первичности. Возникновение эффекта первичности зависит от того, насколько сложной является дополнительная задача, сопровождающая выполнение основной задачи удержания информации. Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что при выполнении заданий на РП используются как КВП, так и ДВП. ДВП используется для хранения информации, которая не может быть удержана в имеющей ограниченный объём КВП. Перенос информации в ДВП является активным процессом, требующим привлечения ресурсов внимания. Невозможность использования ДВП может компенсироваться за счет увеличения эффекта недавности. В целом, полученные результаты говорят о том, что РП представляет собой объединение КВП и ДВП, а также механизма контроля внимания. Такое объединение обеспечивает эффективное хранение необходимой для решения текущих задач информации в условиях совмещения функций хранения и переработки.

## **5. Функциональные механизмы рабочей памяти при решении познавательных задач**

### **5.1. Структура корреляционных зависимостей между показателями эффективности выполнения разных классов заданий на рабочую память**

#### **5.1.1. Постановка проблемы**

Как уже неоднократно отмечалось выше, под *рабочей памятью* понимается система процессов, обеспечивающая оперативное хранение и изменение информации при решении человеком мыслительных задач (Бэддели, 2011). 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 и Козловский, 2012; Gutzwiller & Clegg, 2013).

Для оценки функций РП используются задания разных классов. В течение длительного времени общеупотребительным методом был расчет показателей объема КВП, 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 чаще применяются уже неоднократно упоминавшиеся (1) сложные задания на определение объема РП и (2) задания на обновление РП.

Сложные задания на определение объема РП (см. раздел 4.1.2) 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. Для обозначения объема РП, определяемого в условиях выполнения дополнительной когнитивной обработки, далее в этом разделе будет использоваться термин «объем РП». Показатели объема РП являются более надежными предикторами академической успеваемости и общего интеллекта, чем показатели объема КВП (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 ( $r=0.6—0.9$ ,  $p<0.001—0.04$ ). Корреляция среднего арифметического показателей объема с показателем общего интеллекта, полученным с помощью Прогрессивных матриц Равена, составила  $r=+0.7$  ( $p<0.01$ ), что сопоставимо с литературными данными (Unsworth et al., 2009).

Задания на обновление РП (см. раздел 4.2.1) 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 определение объема 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).

Ниже будет 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.

### 5.1.2. Методика

*Испытуемые.* Исследование проведено на выборке студентов МГУ (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.

### 5.1.3. Результаты

Для заданий на определение объема 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 таблице 11.

Таблица 11. Дескриптивные статистики 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 таблице 12.

Таблица 12. 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 <sup>?</sup>	0.48**					
ООЧ	0.34*	0.50**	0.35*				
СЧ	0.15	0.20	0.29 <sup>?</sup>	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 <sup>?</sup>	0.05	0.20	0.68**	0.26 <sup>?</sup>

*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 переработки и хранения информации, также связаны между собой; показатели эффективности текущей когнитивной переработки тесно связаны между собой.

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 объясняющие 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 таблице 13.

Таблица 13. 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 переработки 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 определение объема 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.

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 объемом 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 таблице 14, 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 14. 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*.

#### 5.1.4. Обсуждение результатов

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 переработки. 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 переработки (Unsworth et al., 2009). В проведенных нами экспериментальных исследованиях влияния сложности переработки 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 переработки и активного удержания информации в активированном состоянии не противоречат идее центрального резервуара ресурсов. Ресурсы могут разделяться между функциями хранения и переработки 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 (Bartouillet, Camos, 2007) также свидетельствуют о постоянном перенаправлении ресурсов внимания с задачи переработки 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 определение

объема РП говорят об использовании с этой целью механизмов как кратковременного, так и долговременного хранения (Величковский, 2013). 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 ДВП, 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 ДВП. 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 КВП.

При анализе корреляций между показателями эффективности выполнения заданий особый интерес может представлять корреляции 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 РП 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).

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

## **5.2. Исследование факторной структуры рабочей памяти**

### **5.2.1 Постановка проблемы**

Недостатком примененного выше метода эксплораторного факторного анализа является его зависимость от случайных связей между факторизуемыми переменными. Вследствие этого в результате применения этого метода могут быть получены факторные структуры, не отражающие реального (популяционного) соотношения индикаторных переменных и стоящих за ними факторов. В частности, данный метод может приводить к выделению нестабильной структуры факторов, которая будет изменяться при незначительном изменении данных. В этой связи полученная выше трехфакторная структура РП требует подтверждения с помощью применения методов, позволяющих количественно проверять гипотезы относительно соотношения латентных переменных. Таким методом является, например, метод структурного моделирования (Митина, 2010) и его разновидность — метод конфирматорного факторного анализа (Bollen, 1989). Ниже будут описаны результаты исследования факторной структуры РП с применением этих методов.

Для анализа факторной структуры РП методами структурного моделирования и конфирматорного факторного анализа были использованы данные исследования структуры корреляционных связей между показателями эффективности выполнения разных типов заданий на РП. Эти данные были получены при выполнении испытуемыми заданий на определение объема РП (сложных заданий на определение объема РП и упрощенных заданий на определение объема РП) и заданий на обновление РП. Методы структурного моделирования использовались для проверки гипотез о факторной структуре показателей эффективности выполнения разных типов заданий на РП в двух аспектах. Во-первых, количественно сопоставлялись гипотезы о числе и составе факторов, образующих структуру РП. Во-вторых, количественно сопоставлялись гипотезы о связях или о независимости выделенных факторов. Такой подход позволяет реализовать конфирматорную (т.е. подтверждающую) проверку гипотез о структуре РП и функциональных связях её компонентов. В силу этого полученные результаты будут обладать большей доказательной силой, чем результаты типичного для исследований корреляционных зависимостей факторного анализа.

Метод конфирматорного факторного анализа как частный случай метода структурного моделирования заключается в систематической проверке гипотез о структуре факторов, выделяемых на основе обработки корреляционных зависимостей между наблюдаемыми переменными, и гипотез о связях между ними. Проверка гипотез осуществляется на основе оценки качества структурных моделей (описывают состав факторов и связи между ними), которая осуществляется путем расчета индексов соответствия. Индексы соответствия представляют собой различные показатели, по-разному оценивающие соответствие между эмпирической и теоретической матрицей ковариаций наблюдаемых переменных. Сопоставление моделей может проводиться на основе сопоставления индексов соответствия. В данном исследовании для подгонки моделей и расчета индексов соответствия использовался пакет *sem*, реализованный в программной среде R (Fox, 2006).

### **5.2.3. Результаты**

Для проверки гипотезы о количестве и содержании факторов соответствующих компонентам РП, было проведено сопоставление нескольких моделей. По теоретическим соображениям (см., например, раздел 3.1.) и в соответствии с результатами проведенных исследований (см. разделы 4.1, 4.2, 4.3) сравнивались модели с 1, 2 и 3 факторами. При построении моделей в качестве индикаторных переменных использовались точностные и скоростные показатели эффективности выполнения разных классов заданий на РП,

описанные выше. Связи между факторами моделировались в виде свободных параметров. При сопоставлении моделей использовались индексы  $\chi^2$ , CFI, RMSE и SRMR.

Модель 1 предполагала выделение одного фактора, по которому были нагружены все показатели эффективности выполнения заданий на РП. Эта модель соответствует унитарным концепциям РП, в которых РП рассматривается как единый конструкт с однородной структурой. В модели 2 выделялись 2 фактора. Построение модели 2 происходило в 2 этапа. Сначала был построен двухфакторная модель с индикаторными переменными, имеющими свободные нагрузки по всем факторам, и осуществлена её подгонка. Затем была подогнана модифицированная модель 2, в которой отдельные индикаторные переменные были нагружены по тем факторам, для которых были обнаружены их значимые нагрузки в исходной модели. Та же методика была применена при построении модели 3, в которой выделялось 3 фактора. Структурные модели 1, 2, 3 с указанием значений параметров приведены на рис. 26-28. Результаты расчетов индексов соответствия для моделей 1, 2 и 3 приведены в таблице 15.

Таблица 15. Индексы соответствия для моделей с разным количеством выделяемых факторов, описывающих структуру корреляций различных показателей эффективности выполнения заданий на РП (описание моделей дано в тексте). Курсивом выделены значения индексов соответствия, лежащие в допустимых пределах.

Модель	$\chi^2$ (df)	CFI	SRMR	RMSEA
Модель 1	62,3 (20)	0,55	0,13	0,21
Модель 2	47 (18)	0,69	0,13	0,18
Модель 3	<i>19,6 (16)</i>	<i>0,96</i>	0,12	<i>0,07</i>
Модель 4	<i>18,1 (15)</i>	<i>0,97</i>	<i>0,1</i>	<i>0,07</i>
Модель 5	<i>18 (14)</i>	<i>0,96</i>	0,11	<i>0,08</i>

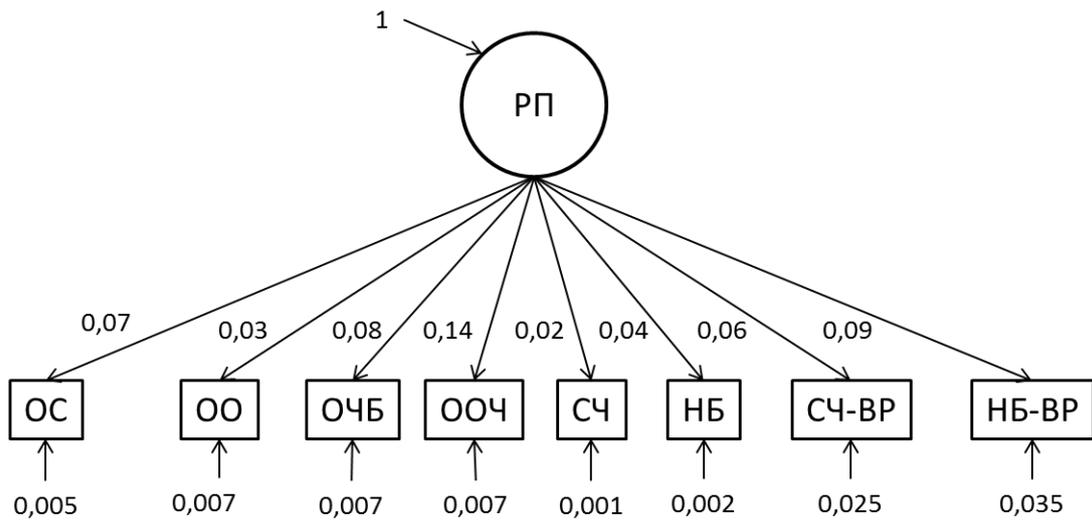


Рис. 26. Структурная модель 1 с одним фактором (РП – рабочая память, ОС — объем счета, ОО — объем операций, ОЧБ — объем чтения букв, ООЧ — объем оценки четности, СЧ — точность в задании обновления счетчиков, СЧ-ВР — время реакции в задании обновления счетчиков, НБ — точность в задании *n-back*, НБ-ВР — время реакции в задании *n-back*).

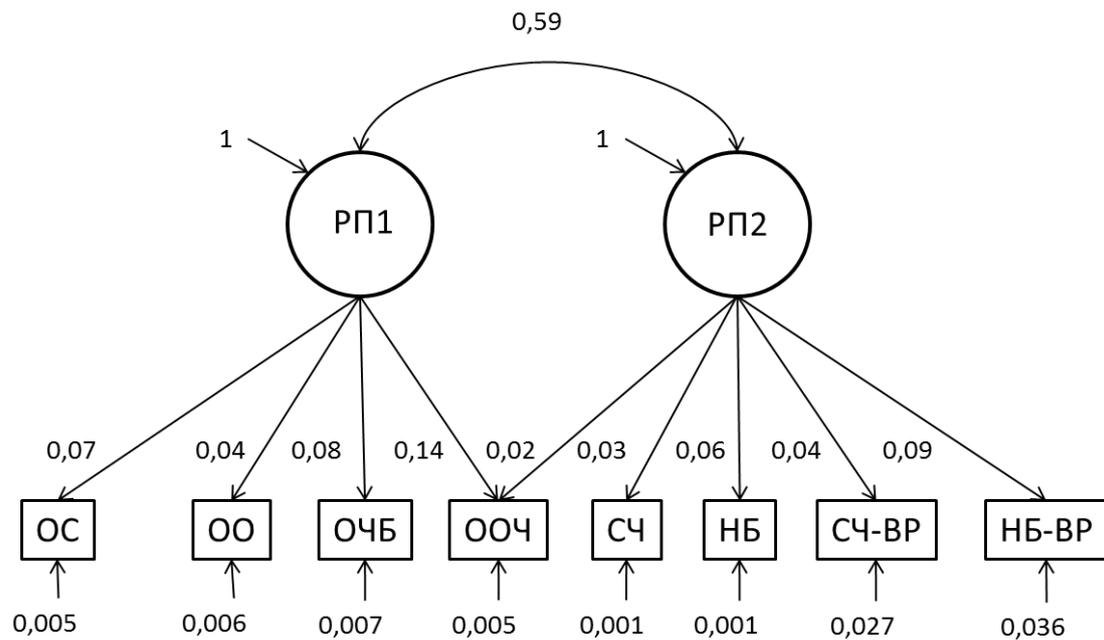


Рис. 27. Структурная модель 2 с двумя факторами (РП – рабочая память, ОС — объем счета, ОО — объем операций, ОЧБ — объем чтения букв, ООЧ — объем оценки четности, СЧ — точность в задании обновления счетчиков, СЧ-ВР — время реакции в задании обновления счетчиков, НБ — точность в задании *n-back*, НБ-ВР — время реакции в задании *n-back*).

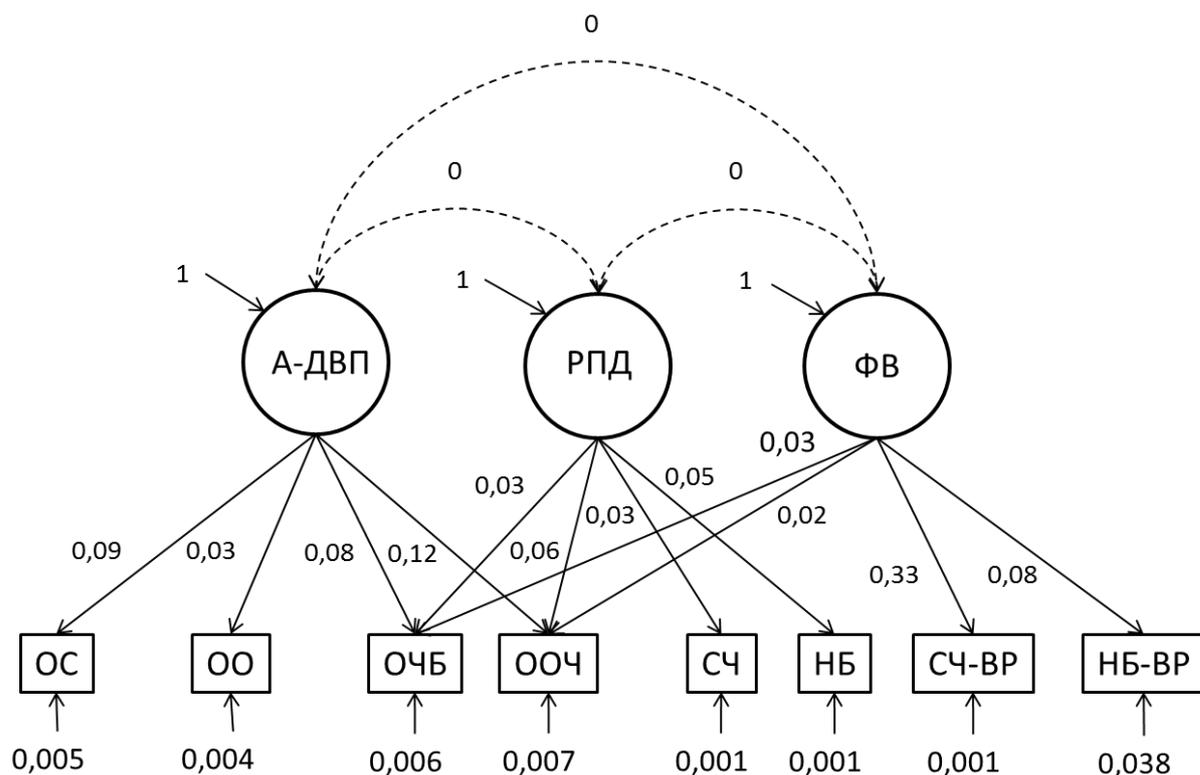


Рис. 28. Структурная модель 3 с тремя независимыми факторами (А-ДВП – активированная ДВП, РПД – регион прямого доступа, ФВ – фокус внимания, ОС — объем счета, ОО — объем операций, ОЧБ — объем чтения букв, ООЧ — объем оценки четности, СЧ — точность в задании обновления счетчиков, СЧ-ВР — время реакции в задании обновления счетчиков, НБ — точность в задании *n-back*, НБ-ВР — время реакции в задании *n-back*).

Модель 1 показывает неудовлетворительное соответствие эмпирическим корреляциям. Значение индекса  $\chi^2$  значительно отличалось от 0 ( $p < 0,01$ ), значение индекса CFI было значительно меньше порогового значения (0,9), значения индексов SRMR и особенно RMSEA также выходили за пределы оптимального интервала. Таким образом, модель с одним фактором не отражает структуру корреляционных зависимостей между показателями эффективности выполнения разных типов заданий на РП. Такой же вывод можно сделать и относительно модели 2, выделяющей 2 фактора. Для этой модели индекс  $\chi^2$  значительно отличался от 0 ( $p < 0,01$ ), индекс CFI был значительно ниже допустимых значений, а индексы SRMR и RMSEA выходили за пределы оптимального интервала. В отличие от моделей 1 и 2, модель 3 показала хорошее соответствие структуре корреляционных взаимосвязей индикаторных переменных. Индекс  $\chi^2$  не отличался значительно от 0 ( $p > 0,01$ ), что свидетельствует об отсутствии значимых различий между эмпирической и теоретической матрицами ковариаций индикаторных переменных. Индекс CFI находился в диапазоне допустимых значений, как и индекс RMSEA.

Единственное исключение составил индекс SRMR, который выходил за пределы допустимого интервала, однако его отличие от оптимальных значений не было очень выраженным. Полученные результаты говорят о том, что при последовательном увеличении количества факторов, выделяемых в структуре корреляционных связей показателей эффективности разных типов заданий на РП, удовлетворительным является факторное решение с 3 факторами.

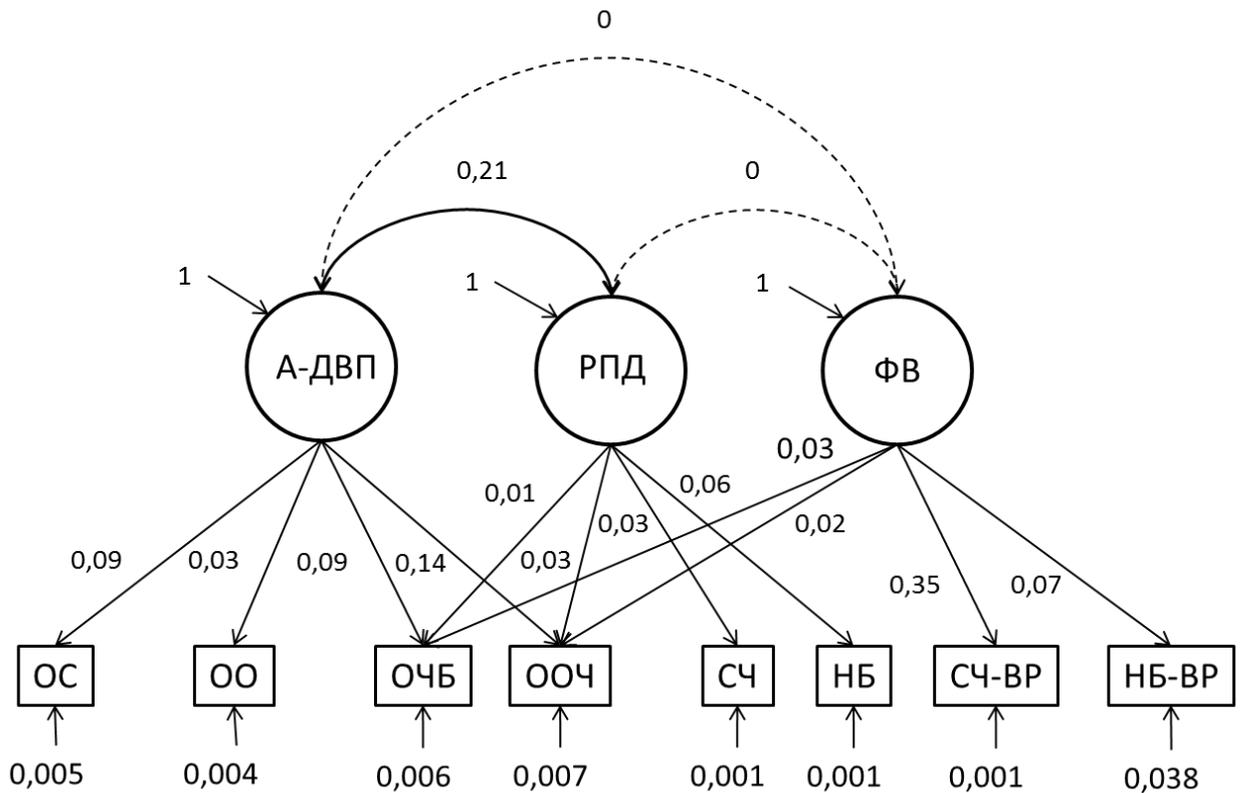


Рис. 29. Структурная модель 4 с тремя факторами и корреляцией факторов 1 и 2 (А-ДВП – активированная ДВП, РПД – регион прямого доступа, ФВ – фокус внимания, ОС — объем счета, ОО — объем операций, ОЧБ — объем чтения букв, ООЧ — объем оценки четности, СЧ — точность в задании обновления счетчиков, СЧ-ВР — время реакции в задании обновления счетчиков, НБ — точность в задании *n-back*, НБ-ВР — время реакции в задании *n-back*).

После установления количества и состава факторов, была проведена проверка гипотез о наличии связей между отдельными факторами. Наличие таких связей может быть обусловлено существованием механизмов, обеспечивающих взаимодействие компонентов РП, соответствующих отдельным выделяемым факторам. В связи с этим было проведено сопоставление моделей, допускающих и не допускающих существование ненулевых путей коэффициентов между отдельными факторами. Сравнивались 8

моделей, исчерпывающих все возможные варианты наличия связей между 3 факторами. В модели 3 факторы полагались независимыми друг от друга (Модель 3), также использовались 3 модели с единственными связями между 2 факторами, 3 модели с двумя связями между двумя факторами, а также 1 модель со связями между всеми 3 факторами.

Было обнаружено, что из 8 моделей только 3 конвергировали к устойчивому решению. Среди них была модель 3, а также модель 4 (допускающая связь факторов 1 и 2) и модель 5 (допускающая связь факторов 1 и 2 и факторов 1 и 3). При этом, как видно из таблицы 15, модель 4 показала улучшение значений индексов соответствия по сравнению с моделью 3. Индекс  $\chi^2$  не отличался значимо от 0 ( $p > 0,01$ ), индекс CFI был максимальным среди всех рассмотренных моделей, а индекс RMSEA был минимальным. Оба индекса находились в пределах интервала допустимых значений. Особое значение имеет индекс SRMR, который попадал в интервал допустимых значений только для модели 4. Модель 5, расширяющая модель 4 за счет связи между факторами 1 и 3 обнаружила некоторое ухудшение индексов соответствия (CFI, SRMR). Кроме того, регрессионный коэффициент между факторами 1 и 3 был очень близок к 0 (0,003), а вероятность его совпадения с 0 превышала 90%. Таким образом, модель 4, допускающая выраженную положительную связь между факторами 1 и 2 и утверждающую независимость остальных факторов, соответствовала данным в максимальной степени и отвечала всем критериям хорошо подогнанных моделей. Структурная модель 4 и значения параметров приведены на рис. 29.

#### **5.2.4. Обсуждение результатов**

Выше методами конфирматорного факторного анализа были получены результаты об особенностях факторной структуры РП. Проверка модели с одним фактором показала, во-первых, что все задания на РП были значимо положительно нагружены по этому фактору. Этот результат представляет интерес постольку, поскольку для построения этой модели использовались разные классы заданий на РП. Выполнение этих заданий может основываться на использовании различных механизмов, и в целом содержание заданий различных классов существенно отличается друг от друга. Тем не менее, полученные значимые однонаправленные нагрузки индикаторных переменных по единственному фактору говорят о том, что за фактом разделения части дисперсии между индикаторными переменными может стоять действие единой группы механизмов – механизмов РП. Вследствие этого выделяемый в модели 1 фактор может быть обозначен как фактор РП. Следует отметить, что наибольшую нагрузку по выделенному в модели 1 общему фактору РП показывает показатель объема оценки четности. Задание на определение объема

четности относится к классу упрощенных сложных заданий на определение объема РП и объединяет в себе задачу оперативного удержания набора элементов и быстрой переработки числового материала с элементами обновления. Таким образом, это задание является репрезентативным для различных классов заданий на РП и требует для своего выполнения использования целого спектра механизмов РП. В этой связи неудивительно, что нагрузка именно этого задания по фактору РП является максимальной. Другое задание того же типа, задание на определение объема чтения букв, как уже обсуждалось в разделе 5.1.4, включает в себя очень простую автоматизированную дополнительную задачу (называние букв), которая не предъявляет высоких требований к процессами обработки в РП, в частности, к процессам обновления содержащейся в РП информации, в силу чего репрезентативность этого задания для РП в целом невысока.

Тем не менее, уровень соответствия модели 1 эмпирическим данным является неудовлетворительным, и однофакторная модель не может рассматриваться как приемлемая модель корреляционной структуры показателей эффективности выполнения заданий на РП. Этот результат однозначно указывает на то, что РП не является однородным, гомогенным конструктом, что подтверждается и приведенными выше экспериментальными результатами. Выявление действительной структуры РП требует сравнения однофакторной модели с моделями, предполагающими выделение большего количества факторов.

Расширение модели 1 до модели 2, допускающей выделение двух факторов, привело к получению противоречивых результатов. С одной стороны, модель 2 больше соответствует эмпирической структуре корреляций показателей эффективности выполнения разных типов заданий на РП, что подкрепляет необходимость выделения в составе РП нескольких факторов. Было получено легко интерпретируемое разделение различных заданий на РП по выделенным факторам, при котором задания на определение объема РП были отнесены к одному фактору, а задания на обновление РП были отнесены к другому фактору. Также следует отметить, что задание на определение объема четности было отнесено к обоим факторам, что соответствует результату, полученному для модели 1, и подтверждает высокую репрезентативность этого задания как средства оценки особенностей функционирования РП в целом. С другой стороны, значения индексов соответствия для модели 2 были неудовлетворительными, что заставляет искать альтернативные факторные структуры, объясняющие дисперсию показателей эффективности выполнения заданий на РП. Увеличение уровня соответствия при увеличении количества факторов в модели показывает, что оптимизация факторной

структуры может быть достигнута при дальнейшем увеличении числа факторов. В этой связи следует отметить, что факторы модели 2 выраженно позитивно коррелируют между собой. Это может отражать наличие остаточной дисперсии, разделяемой между различными заданиями на РП, но может отражать и существование дополнительного фактора, обуславливающего связанность некоторых заданий на РП, не описанную адекватно в модели 2.

Расширение модели 2 до модели 3, допускающей выделение трех факторов, позволило получить удовлетворительное соответствие модели данным, так как большинство индексов соответствия находилось в допустимых пределах. По фактору 1 нагруженными были задания на определение объема РП (сложные и упрощенные сложные). Задания на определение объема РП, особенно сложные задания этого типа, предъявляют особенно высокие требования к хранению информации в ДВП, так как регион прямого доступа и фокус внимания при выполнении этих заданий преимущественно обеспечивают выполнения дополнительной задачи по переработке информации. В этой связи представляется возможным интерпретировать фактор 1 как соответствующий такой гипотетической подсистеме РП как активированная часть ДВП.

По фактору 2 нагруженными были упрощенные задания на определение объема РП и точностные показатели эффективности выполнения заданий на обновление РП. Для хранения информации при выполнении упрощенных заданий на РП возможно использование как активированной части ДВП, так и региона прямого доступа, так как в этих заданиях регион прямого доступа задействован для выполнения дополнительной задачи в меньшей степени в связи с её низкой сложностью. Задания на обновление РП также преимущественно используют регион прямого доступа, так как в этом случае объем хранимой и перерабатываемой информации обычно лежит в пределах типичных объемов региона прямого доступа. В этой связи представляется возможным интерпретировать фактор 2 как соответствующий региону прямого доступа.

По фактору 3 нагруженными были упрощенные задания на определение объема РП, а также временные показатели эффективности выполнения заданий на обновление РП. Так как реализация функций хранения информации при выполнении упрощенных заданий на определение объема РП описаны их нагрузками по факторам 1 и 2, то нагрузку этих заданий по фактору 3 возможно ассоциировать с реализацией функций переработки при решении дополнительной задачи. Таким образом, фактор 3 может рассматриваться как соответствующий фокусу внимания. С такой интерпретацией согласуются данные о

нагрузка временных показателей заданий на обновление по этому фактору. При выполнении заданий этого типа необходимо постоянное осуществление скоростных операций обновления, вследствие чего именно временные характеристики будут связаны с переработкой информации в фокусе внимания. Однако корректность выполнения заданий на обновление РП зависит не столько от скорости выполнения операций обновления, сколько от корректности удерживаемой в РП информации, в силу чего точностные показатели выполнения заданий на обновление являются нагруженными не по фактору 3, а по фактору 2. Следует отметить, что подобное разделение точностных и скоростных показателей эффективности выполнения заданий на РП обнаруживается и в некоторых других исследованиях (Unsworth, Redick et al., 2009). В целом следует отметить, что вывод о возможности выделения трех факторов, соответствующих компонентам РП, хорошо согласуется с выводами, полученными на основе применения методов эксплораторного факторного анализа. Однако дополнительные возможности метода конфирматорного факторного анализа позволяют раскрывать более сложные зависимости между факторами и индикаторными переменными. В особой мере это относится к возможности установления фактов нагрузки индикаторных переменных сразу по нескольким факторам, что приводит к возможности делать более обоснованные выводы о содержательной интерпретации выделяемых факторов.

Другим важным результатом проведенного исследования стало обнаружение высокого путевого коэффициента между факторами 1 и 2 в модели 4. Для модели 4 характерны оптимальные значения индексов соответствия, и уровень её соответствия структуре корреляций показателей эффективности выполнения заданий на РП следует оценить как высокий. В отличие от модели 4, модель 5, допускающая корреляцию всех факторов друг с другом, не привела к выявлению новых зависимостей между факторами. Таким образом, результаты проведенного моделирования показывают, что факторы, соответствующие компонентам РП, частично являются независимыми. Однако факторы, соответствующие активированной части ДВП и региону прямого доступа могут коррелировать между собой. Это обособляет их от фактора, соответствующего фокусу внимания. Зависимость факторов 1 и 2 может основываться на общей функции соответствующих им компонентов как систем оперативного хранения и на существовании связывающих их механизмов обмена информацией. Полученные результаты, таким образом, свидетельствуют о возможности выделения в составе РП компонентов хранения информации с различными функциональными свойствами и возможностью обмена информацией между ними, и компонента, обеспечивающего переработку информации в

фокусе внимания. В целом, полученные результаты свидетельствуют о гетерогенности структуры РП, обусловленной гетерогенностью решаемых с помощью РП задач хранения и переработки информации.

### **5.3. Влияние особенностей когнитивного контроля на реализацию функций рабочей памяти**

#### **5.3.1 Постановка проблемы**

Под когнитивным контролем понимается система мета-когнитивных функций, обеспечивающих настройку отдельных познавательных процессов человека таким образом, чтобы обеспечить достижение им актуальных целей с учетом особенностей ситуации (Сергиенко, 2009; Monsell & Driver, 2000, Notebaert & Verguts, 2008). Процессы когнитивного контроля обеспечивают инициацию, координацию, упорядочивание и завершение когнитивных действий, гибкое изменение соотношений стимулов и реакций, мониторинг качества когнитивной деятельности (Grange & Houghton, 2014). Процессы когнитивного контроля не приводят к созданию того или иного психического продукта, но осуществляют настройку параметров познавательной сферы на реализацию направленной когнитивной деятельности по достижению цели в определенном ситуативном контексте. При таком понимании когнитивного контроля становится ясно, что эта система мета-психических процессов играет важную роль в обеспечении целенаправленной деятельности человека в целом. Поэтому неудивительно, что реализация функций когнитивного контроля связывается с активностью префронтальных отделов коры головного мозга (Egner, 2009).

Соотношение когнитивного контроля и РП является двояким. С одной стороны, РП может пониматься как элемент системы функций когнитивного контроля. Такие взгляды поддерживаются определением РП как системы оперативного хранения и переработки информации, обеспечивающей текущую деятельность человека. В частности, важную роль РП может играть как система удержания в активном состоянии иерархии целей, ориентирующей выполнения последовательности действий и необходимой для успешной реализации функций когнитивного контроля (D'Esposito & Postle, 2015). Пересечение функций РП и функций когнитивного контроля поддерживается наличием частичным совпадением нейрофизиологического субстрата (префронтальные отделы коры), а также совпадающей возрастной динамикой (согласованное развитие в детском возрасте и согласованное угасание в пожилом возрасте).

С другой стороны, в свете имеющихся концепций РП и когнитивного контроля более обоснованным представляется подход, рассматривающих РП как систему оперативного хранения, управляемую процессами когнитивного контроля. Эмпирические факты, поддерживающие рассмотрение РП и когнитивного контроля как пересекающихся функций, поддерживают и такую точку зрения. При указанном подходе функции когнитивного контроля используются для поддержки функционирования РП, обеспечивая адекватное текущим задачам извлечение информации из ДВП, поддержание её в активном состоянии и её переработку. В этой связи встает вопрос, какие именно функции когнитивного контроля связаны с реализацией функций РП при выполнении различных заданий на РП.

Сегодня существует различные классификации функций когнитивного контроля (Miyake et al., 2000; Grange & Houghton, 2014). Две контрольные функции могут представлять особенный интерес при изучении функционирования РП. Во-первых, это функция произвольного подавления, о роли которой в реализации функций РП (в частности, в подавлении интерферирующей информации) уже говорилось выше (см. раздел 2.4). Возможность произвольного подавления отдельных репрезентаций позволяет контролировать доступ иррелевантной информации в РП, за счет чего ресурсы РП высвобождаются для удержания релевантной информации. В силу этого в условиях наличия иррелевантной интерферирующей информации возникает возможность оптимального использования ограниченных функциональных возможностей РП для удержания информации, важной для решения актуальных задач. Подавление может также играть роль, например, в деактивации информации, которая потеряла актуальность, хотя и была релевантной ранее. Для успешного решения многих динамических задач (как реалистичных, так и лабораторных) такая функциональность имеет большое значение. Таким образом, функция подавления поддерживает систему процессов РП в удержании именно той информации, которая необходима для решения текущих задач в условиях, когда в РП может удерживаться только ограниченный объем информации.

Конструкт подавления не является однородным, но репрезентирует систему взаимосвязанных функций (Friedman & Miyake, 2004; Nee & Jonides, 2008). К ним относятся, в частности, функции подавления иррелевантной сенсорной информации, подавления иррелевантных умственных репрезентаций и подавления пре-активированных тенденций моторного ответа. Следует отметить, что часто используемая в исследованиях РП задача на антисаккаду (отражающей способность к подавлению импульсивной саккады в направлении дистрактора) эмпирически плохо согласуется с подобными

классификациями, занимая обособленное место в факторных структурах функций подавления. В связи с неоднородностью конструкта подавления, вопрос о роли подавления в реализации функций РП может быть уточнен до вопроса о роли частных видов подавления в функционировании РП.

Другой функцией когнитивного контроля, возможно влияющей на РП, является функция переключения. Под переключением в исследованиях когнитивного контроля понимается смена целей действий и правил их реализации при смене стоящей перед человеком задачи (Rogers & Monsell, 1995). Важной характеристикой качества когнитивного контроля является гибкость процессов переключения, а от возможности нахождения оптимального баланса между гибкостью и ригидностью переключения зависит успешность адаптации человека к изменяющейся среде (Goschke, 2008). Нарушения переключения являются характерным симптомом возрастных нарушений когнитивного контроля (Величковский, 2009). При реализации функций РП особую роль переключение может выполнять при обеспечении переключения фокуса внимания между удерживаемыми в РП умственными репрезентациями. Как уже упоминалось выше, такие переключения фокуса внимания обеспечивают как ре-активацию удерживаемых репрезентаций, так и их переработку согласно актуальным для человека задачам.

В данном исследовании были изучены эмпирические связи эффективности функций когнитивного контроля – подавления и переключения - и РП. Роль функций подавления оценивалась отдельно для подавления иррелевантной сенсорной информации (использовалась фланговая задача Эриксонов), моторного подавления (задание Go-No Go), также общего контроля внимания (задание на антисаккаду). Роль функций переключения оценивалась с помощью переключения со случайной и прогнозируемой сменой задач. Оценка функций РП проводилась на основе задания n-back, относящегося к классу заданий на обновление РП. С помощью этого широко распространенного задания можно оценить эффективность функционирования РП при необходимости удерживать и динамически обновлять средние относительно объема РП объемы информации.

### **5.3.2.Методика**

*Испытуемые.* В исследовании приняли участие 60 испытуемых, студенты факультета психологии МГУ им. М.В. Ломоносова, в возрасте от 18 до 21 года (8 мужчин, 52 женщины).

*Задания.* Задание Эриксонов. Стимулами являлись 5 горизонтально расположенных стрелок и знаков «-», составленных конгруэнтно (>>>>>, <<<<<), неконгруэнтно (>><<>),

<<<<) или нейтрально ( - - > - -, - - < - -). Задача испытуемого заключалась в идентификации средней стрелки и нажимать на клавиатуре «Z», когда стрелка была направлена влево, или «/», когда стрелка была направлена вправо. Предъявлялась тренировочная серия – 36 предъявлений (каждая комбинация предъявляется по 6 раз) и основная серия – 4 блока, в котором каждое уникальное условие предъявлялось 36 раз. Межстимульный интервал составил 1 с. Время предъявления: максимум 1,5 с. Если испытуемый не успевал ответить за отведенное время, то это засчитывалось как неправильный ответ. Измерялись показатели: среднее время реакции; процент правильных ответов в пробе каждого типа; разность времени реакции и точности между конгруэнтными и неконгруэнтными пробами.

Задание Go/No-go. Стимулы: целевой стимул – X (80% предъявлений); остальные стимулы - А, Г, Е, И, К, Л, М, Н, П, Т, О, Э, Ю, Я. Предъявление стимулов было рандомизировано. Задача испытуемого заключалась в том, чтобы при предъявлении целевого стимула нажимать на кнопку своей ведущей рукой и воздерживаться от моторного ответа при предъявлении других стимулов. Время предъявления стимула составляло 300 мс. Межстимульный интервал составлял 700 мс (итого 1000 мс на ответ). Если испытуемый не успевал ответить за отведенное время, то это засчитывалось как неправильный ответ. Предъявлялась тренировочная серия (20 предъявлений, 16 – целевой стимул, 4 – остальные) и основная серия (200 предъявлений, 160 – целевой стимул, 40 – остальные). Фиксировались следующие показатели: среднее время реакции для правильных ответов; процент правильных ответов (всего), процент «правильных обнаружений», процент «ложных тревог».

Задание на антисаккаду. Стимулы: сначала в середине экрана предъявляется точка фиксации в течение разного количества времени (от 1500 до 3500 мс с интервалом в 250 мс). Затем на одной стороне экрана (например, левой) появляется визуальный дистрактор ( $0,4^\circ$ ) в течение 200 мс, сопровождаемый предъявлением на противоположной стороне целевого стимула ( $2,0^\circ$ ) в течение 100 мс, который затем закрывается серой штриховкой. Визуальный дистрактор – черный квадрат, целевой стимул – стрелка в квадрате. Сигнал и стимул оба расположены на 8,5 см от точки фиксации (но на противоположных сторонах). Предъявлялась тренировочная серия (16 проб) и основная серия (96 проб). Задача испытуемого заключалась в том, чтобы указать направление стрелки (влево или направо) нажатием соответствующей кнопки, не переводя взора на стимул-дистрактор. Фиксировались следующие показатели: время реакции; процент правильных ответов.

Задание на переключение (чередование). Стимулы: экран монитора, разделенный на 4 квадрата (2 сверху, 2 снизу). В квадратах предъявляется пара число-буква: четные (2; 4; 6; 8) и нечетные (3; 5; 7; 9) числа; согласные (Г, К, М, Р) и гласные (А, Я, Е, И) буквы.

Тренировочная серия – 24 предъявления пары число-буква во всех частях экрана по часовой стрелке (из верхнего левого квадрата к нижнему правому). В первой половине тренировочного теста испытуемый получает обратную связь в случае неправильного ответа – пара число-буква окрашивается в красный цвет. Межстимульный интервал между ответом испытуемого и следующим предъявлением составлял 500 мс. В основной серии предъявлялось 128 проб. Все стимулы находятся на экране до тех пор, пока испытуемый не даст ответ. Задача испытуемого: если пара предъявляется в одном из двух верхних квадратов экрана – определить нажатием кнопки, было ли число четным или нечетным; если пара в двух нижних частях экрана – определить, была ли буква согласной или гласной. Испытуемый реагировал нажатием на клавишу “/” или “z”. Фиксировались следующие показатели: время реакции и точность в пробах с переключением, время реакции и точность в пробах с повторением, разность времени реакции и точности в пробах с переключением и в пробах с повторением («стоимость переключения»).

Задание на переключение (случайное предъявление). Стимулы: четные (2, 4, 6, 8) и нечетные (3, 5, 7, 9) числа, гласные (А, Я, Е, И) и согласные (Г, К, М, Р) буквы; Каждая пара стимулов демонстрировалась в прямоугольнике 7,5x7,5 см, обведенном тонкой черной линией в центре светло-серого экрана. Цвет фона прямоугольника – сигнал задачи; фоновые цвета - синий и зеленый. Интервал между сигналом (фоном) и стимулом составлял 600 мс. Интервал между ответом и стимулом составлял 500 мс. Все стимулы находились на экране до ответа испытуемого. Предъявлялась тренировочная серия (24 пробы) и основная серия (128 проб). Половина всех предъявлений была на задачу переключения (текущая задача не совпадает с предыдущей - цвет не совпадает: синий/зеленый, зеленый/синий), половина – на задачу повторения (актуальная задача совпадает с предыдущей - цвет прямоугольника одинаков, синий/синий, зеленый/зеленый). Если прямоугольник был окрашен в синий цвет, испытуемый должен был оценить четность чисел, если в зелёный – гласность букв. Ответ осуществлялся с помощью нажатия клавиши “/” (нечетные числа, согласные буквы) или “z” (четные числа, гласные буквы). Фиксировались следующие показатели: время реакции и точность в пробах с переключением, время реакции и точность в пробах с повторением, разность времени реакции и точности в пробах с переключением и в пробах с повторением («стоимость переключения»).

Задание n-back. Стимулы: цифры 1,2,3,4,5,6,7,8. Стимульные пары не перекрывались (например, 2-5 и 4-6), но могли соприкасаться (3-5 и 6-8). Задача испытуемого заключалась в том, чтобы определять, совпадает ли цифра с цифрой, которая была 2 предъявления назад. Ответ с помощью нажатия клавиши “?” (да) или “Z” (нет). Предъявлялась тренировочная серия (40 предъявлений) и основная серия (3 блока по 48 предъявлений каждый). Каждая цифра появлялась в списке 6 раз, один раз – как целевая. Итого в блоке - 8 целевых стимулов (16,67 % предъявлений) и 40 стимулов-дистракторов. Время предъявления стимула составляло 500 мс, межстимульный интервал - 2000 мс. Фиксировались следующие показатели: доля верных обнаружений, пропусков, время реакции в пробах разного типа.

*Аппаратура.* Экспериментальные задания были реализованы в системе Практика-МГУ (автор программного обеспечения – А.Е. Кремлев). Предъявление экспериментальных заданий осуществлялось с помощью персональных компьютеров с ЖК-мониторами диагональю 19”. Регистрация ответов испытуемых осуществлялась с помощью клавиатуры.

*Процедура.* После предъявления общей инструкции испытуемые выполняли задания в индивидуальном режиме. Задания предъявлялись в следующем порядке: задача на переключение (случайное), задача на переключение (прогнозируемое), задача на антисаккаду, фланговая задача, задача Go-No Go, задача n-back.

### **5.3.3 Результаты**

Для оценки влияния отдельных функций когнитивного контроля на особенности выполнения задания на обновление РП был проведен корреляционный анализ (с расчетом коэффициента корреляции Спирмена в силу отличия распределения некоторых переменных от нормального). Результаты корреляционного анализа представлены в таблицах 16-20. В указанных таблицах показатели эффективности выполнения задания n-back обозначены следующим образом:  $V_{CP}$  – среднее время реакции,  $T_{CP}$  – средняя точность,  $V_O$  – время реакции при правильной реакции («попадание»),  $V_{ЛТ}$  – время реакции при ложной тревоге,  $V_{ВО}$  – время реакции при верном отвержении,  $V_{П}$  – время реакции при пропуске,  $T_O$  – точность при правильной реакции («попадание»),  $T_{ЛТ}$  – точность при ложной тревоге,  $T_{ВО}$  – точность при верном отвержении,  $T_{П}$  – точность при пропуске.

Таблица 16. Значения коэффициентов корреляции Спирмена между показателями эффективности выполнения задания n-back и задания на переключение со случайной сменой задач.

	В <sub>СР</sub>	Т <sub>СР</sub>	В <sub>О</sub>	В <sub>ЛТ</sub>	В <sub>ВО</sub>	В <sub>П</sub>	Т <sub>О</sub>	Т <sub>ЛТ</sub>	Т <sub>ВО</sub>	Т <sub>П</sub>
T <sub>AV</sub>	<b>,313*</b>	<b>-,217?</b>	<b>,332*</b>	,173	<b>,314*</b>	,184	-,094	<b>,333*</b>	<b>-,326*</b>	,123
A <sub>AV</sub>	-,115	-,117	-,052	-0,057	-,100	,028	0,035	<b>-,209?</b>	,180	-,133
T <sub>COST</sub>	-,015	-,037	,023	,125	-,028	,065	-,029	,086	-,076	-,073
E <sub>COST</sub>	,096	-,023	,090	,167	,063	,135	-,172	-,146	,101	,001

Примечание. T<sub>AV</sub> – среднее время реакции, A<sub>AV</sub> – средняя точность, T<sub>COST</sub> – стоимость переключения (по времени реакции), E<sub>COST</sub> – стоимость переключения (по количеству ошибок).

Результаты корреляционного анализа связей между показателями эффективности выполнения задания n-back и задания на переключение со случайной сменой задач показывают наличие выраженных связей между скоростью выполнения задания на переключение и эффективностью выполнения n-back (таблица 16). Эта зависимость является генерализованной, но в то же время для остальных показателей эффективности переключения таких зависимостей не было обнаружено. В частности, это касается показателей «стоимости» переключения, которые являются основным специфическим индикатором эффективности смены правил выполнения задач в процессе произвольного контроля поведения. Таким образом, эффективность переключений при случайной смене задач в целом оказывается связанной с эффективностью выполнения задания на обновление РП, однако специфических связей с эффективностью переключения в этом случае не обнаруживается. Скорее, можно говорить о генерализованной связи эффективности выполнения задания n-back с гибкостью сенсо-моторных и когнитивных установок.

Таблица 17. Значения коэффициентов корреляции Спирмена эффективности выполнения задания n-back и задания на переключение с прогнозируемой сменой задач.

	В <sub>СР</sub>	Т <sub>СР</sub>	В <sub>О</sub>	В <sub>ЛТ</sub>	В <sub>ВО</sub>	В <sub>П</sub>	Т <sub>О</sub>	Т <sub>ЛТ</sub>	Т <sub>ВО</sub>	Т <sub>П</sub>
T <sub>AV</sub>	,147	-,156	,142	-,009	,147	-,016	-,136	,186	-,197	,124
A <sub>AV</sub>	-,199	<b>,423*</b>	<b>-,270*</b>	,012	-,183	-,109	,199	<b>-,452*</b>	<b>,457*</b>	<b>-,477*</b>
T <sub>COST</sub>	-,135	-,075	-,093	-,197	-,134	-,161	-,002	,100	-,118	,137
E <sub>COST</sub>	<b>,263*</b>	<b>-,292*</b>	<b>,411*</b>	<b>,340*</b>	<b>,240?</b>	,208	<b>-,235?</b>	,197	-,206	,169

Примечание.  $T_{AV}$  – среднее время реакции,  $A_{AV}$  - средняя точность,  $T_{COST}$  – стоимость переключения (по времени реакции),  $E_{COST}$  - стоимость переключения (по количеству ошибок).

Другой характер зависимостей между эффективностью выполнения задания n-back и эффективностью переключения наблюдается в случае переключений с прогнозируемой сменой задач (таблица 17). Во-первых, в этом случае обнаруживается связь общей точности выполнения задания на переключение с различными временными и точностными показателями задания n-back. Во-вторых, обнаруживается специфическая связь стоимости переключения, выраженной в изменении количества ошибок, временных показателей выполнения n-back, общей точности задания n-back и точности верных реакций на сигнальное событие. Многочисленные связи показателей n-back и точности выполнения задания на переключение говорят о тесном влиянии эффективности переключения в случае прогнозируемой смены задач на обновление РП. Этот вывод подтверждается результатами, полученными для стоимости переключения. Когда стоимость переключения увеличивается, то наблюдается генерализованное снижение скорости выполнения задания n-back. Увеличение стоимости переключения также приводит к снижению общей точности n-back и, в частности, к снижению количества правильных ответов – важнейшего показателя эффективности обновления информации в РП. Следует отметить, что увеличение количества ошибок в пробах с переключением является особенно ярким свидетельством затруднений в реализации функций когнитивного контроля в условиях необходимости переключений. Поэтому обнаруженные закономерные связи свидетельствуют о специальной роли функции переключения в обновлении информации в РП. Это роль может быть обусловлена зависимостью скорости переключения фокуса внимания между обновляемыми репрезентациями.

Таблица 18. Значения коэффициентов корреляции Спирмена между показателями эффективности выполнения задания n-back и задания на антисаккаду.

	$V_{CP}$	$T_{CP}$	$V_O$	$V_{ЛТ}$	$V_{ВО}$	$V_{П}$	$T_O$	$T_{ЛТ}$	$T_{ВО}$	$T_{П}$
$T_{AV}$	,179	,001	,102	,009	,197	-,094	,008	,058	-,045	,029
$A_{AV}$	,001	<b>,363*</b>	-,026	-,092	,035	,019	,178	<b>-,365*</b>	<b>,376*</b>	<b>-,395*</b>

Примечание.  $T_{AV}$  – среднее время реакции,  $A_{AV}$  - средняя точность.

Для задания на подавление – задания на анитисаккаду – было обнаружено генерализованное влияние точности выполнения этого задания на точность выполнения задания n-back (таблица 18). Это касалось как общей точности n-back, так и точности

отдельных видов ответов. Временные характеристики выполнения задания на антисаккаду не были связаны с показателями эффективности выполнения задания n-back. Это свидетельствует о том, что обнаруженная связь задания n-back и задания на антисаккаду носит не обобщенный характер сходства сложных двух заданий, требующих привлечения ресурсов когнитивного контроля, а является признаком взаимного соответствия механизмов, используемых при решении обеих задач. Полученный результат говорит о том, что реализация функций РП (в той мере, в какой они проявляются при выполнении заданий на обновление РП) зависит от эффективности контрольной функции произвольного подавления.

Таблица 19. Значения коэффициентов корреляции Спирмена между показателями эффективности выполнения задания n-back и фланговой задачи Эриксонов.

	В <sub>СР</sub>	Т <sub>СР</sub>	В <sub>О</sub>	В <sub>ЛТ</sub>	В <sub>ВО</sub>	В <sub>П</sub>	Т <sub>О</sub>	Т <sub>ЛТ</sub>	Т <sub>ВО</sub>	Т <sub>П</sub>
Т <sub>AV</sub>	,101	,018	,163	-,057	,100	-,125	,060	,052	-,042	,064
А <sub>AV</sub>	-,053	<b>,315*</b>	-,026	,010	-,027	-,102	,141	<b>-,357*</b>	<b>,338*</b>	<b>-,261*</b>
Т <sub>INT</sub>	,057	<b>-,224?</b>	,142	-,091	,027	,029	-,180	,117	-,101	,117
Е <sub>INT</sub>	-,120	<b>,327*</b>	-,121	,089	-,091	-,135	,230	<b>-,283*</b>	<b>,256*</b>	<b>-,212?</b>

Примечание. Т<sub>AV</sub> – среднее время реакции, А<sub>AV</sub> - средняя точность, Т<sub>COST</sub> – эффект интерференции (по времени реакции), Е<sub>COST</sub> - эффект интерференции (по количеству ошибок).

Более детальное заключение о роли подавления в функционировании РП позволяют сделать результаты, полученные для другого задания на подавление – фланговой задачи Эриксонов (таблица 19). Для этого задания на подавление были получены результаты, свидетельствующие о связи общей точности выполнения этого задания с большинством показателей точности выполнения задания n-back. Следует отметить, что этот результат полностью воспроизводит результат, полученный для задания на антисаккаду. Таким образом, наблюдается генерализованная зависимость точности подавления и точности обновления РП. Полученные результаты также показывают, что в основе связи эффективности подавления и обновления информации в РП может лежать эффективность преодоления интерференции со стороны irrelevantных воздействий. Таким образом, эффективное подавление интерференции со стороны произвольно инициируемых процессов когнитивного контроля является фактором, обуславливающим эффективность выполнения заданий на обновление РП и реализации функций РП в целом.

Таблица 20. Значения коэффициентов корреляции Спирмена между показателями эффективности выполнения задания n-back и задачи Go-No Go.

	В <sub>СР</sub>	Т <sub>СР</sub>	В <sub>О</sub>	В <sub>ЛТ</sub>	В <sub>ВО</sub>	В <sub>П</sub>	Т <sub>О</sub>	Т <sub>ЛТ</sub>	Т <sub>ВО</sub>	Т <sub>П</sub>
T <sub>AV</sub>	,140	-,033	,179	<b>,268*</b>	,116	-,126	-,168	-,027	,068	-,066
A <sub>AV</sub>	-,020	<b>,408*</b>	,010	,101	-,015	-,111	,106	<b>-,375*</b>	<b>,405*</b>	<b>-,458*</b>
A <sub>H</sub>	<b>-,280*</b>	,178	<b>-,285*</b>	-,188	<b>-,290*</b>	-,175	-,119	<b>-,333*</b>	<b>,366*</b>	<b>-,369*</b>
A <sub>FA</sub>	,007	<b>-,398*</b>	-,031	-,125	,001	,128	-,118	<b>,346*</b>	<b>-,377*</b>	<b>,435*</b>

Примечание. T<sub>AV</sub> – среднее время реакции, A<sub>AV</sub> - средняя точность, A<sub>H</sub> – среднее количество верных реакций («попаданий»), A<sub>FA</sub> - среднее количество ложных тревог.

Полученные выше результаты относительно связи между эффективностью такого компонента когнитивного контроля как произвольное подавление подтверждаются и в контексте выполнения заданий на подавление пре-активированного моторного ответа (задание Go-No Go, таблица 20). Хотя это задание содержательно отличается от других заданий на подавление и представляет специализированную функцию подавления, было обнаружено, что и в этом случае точность подавления систематически связана с различными показателями точности выполнения задания n-back. Этот результат полностью соответствует результатам, полученным на материале заданий на антисаккаду и фланговой задачи Эриксонов. Таким образом, подтверждается факт наличия генерализованной зависимости точности обновления от эффективности произвольного подавления. Наличие такой связи и её генерализованный характер подтверждается наличием связи между различными показателями точности выполнения задания n-back и отдельных показателей точности выполнения задания Go-No Go. Также обнаруживается, что точность верных реакций на сигнальное событие прямо связана с различными показателями скорости выполнения обновления (со средней скоростью, скоростью верных реакций на сигнальное событие и со скоростью верного отвержения). Такая связь, противоречащая обычному компромиссу скорости и точности работы, говорит о том, что высокая эффективность подавления сверх-активированной моторной тенденции (в задании Go-No Go это тенденция давать моторный ответ) тесно связан с общей эффективностью выполнения задания на обновление РП. В основе такой связи могут лежать общие процессы управления вниманием на основе механизмов подавления интерференции, необходимые для выполнения заданий обоих типов.

#### 5.3.4. Обсуждение результатов

Полученные результаты свидетельствуют, во-первых, о возможном влиянии функций когнитивного контроля на функции РП. Признаком такого влияния является то, что эффективность выполнения всех заданий, требующих привлечения функций когнитивного контроля, коррелирует с эффективностью выполнения задания на РП. Это прослеживается для всех типов заданий на когнитивный контроль - как для заданий на переключение, так и для заданий на произвольное подавление. Тесные эмпирические связи показателей эффективности выполнения заданий на когнитивный контроль и репрезентативного задания на РП говорят о возможной роли процессов когнитивного контроля в реализации функций РП. Специальные механизмы влияния процессов когнитивного контроля на функционирование РП могут быть достаточно разнообразными. Существующие теоретические построения подчеркивают роль процессов контроля внимания (как частного случая процессов когнитивного контроля) в реализации функций исполнительного компонента РП. Однако процессы когнитивного контроля могут влиять и на реализацию функций оперативного хранения информации.

Другим результатом проведенного исследования является обнаружение закономерных связей между эффективностью переключения и эффективностью выполнения задания n-back. Особенностью этих связей является то, что эффективность переключения тесно связана со скоростными показателями задания n-back. Связь с точностью выполнения n-back обнаруживается только для переключений с предсказуемой сменой задачи. Такой дифференциальный эффект требует, безусловно, объяснения. Следует отметить, что точность выполнения n-back скорее связана надежностью хранения обновляемой информации в РП. Действительно, для выполнения этого задания необходимо удерживать и последовательно обновлять n предъявленных последними элементами. Если n-ый элемент будет утерян в результате угасания активации или действия интерференции, то верный ответ на вопрос о его совпадении с актуально предъявляемым стимулом может быть получен только случайным образом. Точность выполнения задания n-back в этом случае закономерно снизится. Скорость ответов при выполнении n-back, напротив, тесно связана со скоростью переработки предъявляемого стимула, а также со скоростью выполнения операций по обновлению удерживаемого (предположительно, в регионе прямого доступа) набора из n элементов. Выполнение этих операций, как можно предположить, зависит от переключения фокуса внимания между элементами, которые должны быть сохранены и элементами, которые потеряли свою актуальность. Поэтому обнаруживаемая связь скорости выполнения задания n-back и общей эффективности переключений представляется обусловленной именно

использованием общего для обоих заданий механизма управления вниманием и его переключения.

Для связей эффективности выполнения задания n-back с эффективностью выполнения заданий на подавление наблюдается противоположная конфигурация корреляций. В этом случае эффективность подавления для всех без исключения тестов на подавление связана с точностью n-back. Как упоминалось выше, точность выполнения задания n-back преимущественно связана с функцией хранения. В силу этого обнаруженные закономерные связи могут получить объяснение, основанное на роли подавления интерференции для надежного хранения информации в РП. Возможная роль интерференции как фактора забывания в РП приводит к тому, что в условиях экзогенной и эндогенной активации интерферирующей информации эффективное функционирование процессов произвольного подавления становится важной предпосылкой оперативного хранения информации в течение интервалов времени, необходимых для её успешного использования. Процессы произвольного подавления, таким образом, имеют значение для реализаций функций хранения в РП, в то время как процессы переключения важны для реализации функций переработки. Эта дихотомия прослеживается в различных концепциях РП и принципиально важным является тот факт, что роль процессов когнитивного контроля в реализации функций РП не сводится только к управлению процессами внимания при оперативном хранении и переработке информации.

Отдельного рассмотрения требует факт существенных различий конфигураций связей с эффективностью выполнения задания n-back, обнаруживаемых для заданий на переключение со случайной и прогнозируемой сменой задач. В последнем случае обнаруживаются связи не только с временными показателями эффективности выполнения задания n-back, но и с его точностными показателями. Более выраженные связи задания с прогнозируемыми переключениями и задания n-back по сравнению с заданием со случайными переключениями проявляется и в том, что они наблюдаются и для показателей «стоимости» переключения, а не только для обобщенных показателей эффективности переключения. Эти тесные связи могут быть объяснены тем, что задание с прогнозируемыми переключениями содержит компоненты, требующие обновления информации в РП (а именно обновления счетчика текущей позиции, относительно которой осуществляется прогноз смены или повтора задачи). На этом примере видно, что не только процессы когнитивного контроля оказывают влияние на функционирование РП, но и РП влияет на реализацию функций когнитивного контроля.

Другой специальный результат, полученный в данном исследовании, свидетельствует о наличии закономерной связи между показателями эффективности подавления моторного ответа в задании Go-No Go и скорости выполнения задания n-back. Этот результат может говорить о том, что реализация функций произвольного подавления важна и при управлении фокусом внимания при обновлении удерживаемой в РП информации. Такая связь будет обеспечиваться механизмами снижения активации иррелевантных и повышения активации релевантных репрезентаций, что повышает эффективность переработки последних.

В целом, полученные результаты говорят о наличии выраженного влияния функций когнитивного контроля на реализацию функций РП. Показатели эффективности выполнения заданий на когнитивный контроль обнаруживают систематические генерализованные зависимости с показателями эффективности выполнения задания на обновление РП. Также обнаружены свидетельства обратного влияния – функции РП могут использоваться при реализации функций когнитивного контроля. Таким образом, когнитивный контроль и РП могут образовывать функциональную макро-единицу, лежащую в основе произвольного управления деятельностью человека на основе переработки когнитивных репрезентаций. Частные результаты, полученные в данном исследовании, свидетельствуют о наличии дихотомии функций РП. Функции оперативного хранения информации демонстрируют специализированную связь с эффективностью подавления, в основе которой лежат механизмы повышения надежности хранения за счет подавления интерферирующих воздействий. Функции переработки и обновления информации в РП обнаруживают специализированную связь с функциями произвольно управляемого переключения внимания. Таким образом, РП представляется гетерогенной системой оперативного хранения и переработки информации, обнаруживающей дифференциальные связи с функциями когнитивного контроля.

## **5.4. Исследование влияния нагрузки на вербальную рабочую память на глазодвигательную активность при зрительном поиске**

### **5.4.1. Постановка проблемы**

Несмотря на значительное количество концепций структуры РП, основной моделью РП до сих пор является мультикомпонентная модель А. Бэддели (Baddeley, 1986). В этой модели РП представляется в виде иерархически организованной системы компонентов, в которой выделяется управляющий компонент («центральный исполнитель») и несколько подчиненных ему систем хранения. Системы хранения обеспечивают удержание информации в течение непродолжительных интервалов

времени, причем поддержание активации отдельных репрезентаций осуществляется с помощью специализированных процессов «обновления» информации. Различные системы хранения предназначены для удержания информации разных типов. В экспериментальных исследованиях А. Бэддели хорошо документировано различие между системами хранения вербальных и зрительных репрезентаций. Вербальная информация удерживается в т.н. фонологической петле, а зрительная – в т.н. зрительно-пространственном блокноте (хранение репрезентаций объектов и их пространственных положений осуществляется раздельно). Хранение информации прочих модальностей (например, кинестетической) осуществляется в других системах хранения.

Экспериментальное выделение в структуре РП компонентов, связанных с переработкой вербальной и зрительно-пространственной информации подтверждается результатами корреляционных исследований (Giofre et al., 2013). В частности, обнаруживается, что латентные факторы, соответствующие вербальному и зрительно-пространственному компоненту, практически ортогональны друг другу (Shah & Miyake, 1996). Таким образом, функционирование этих компонентов оказывается независимым. Такая изоляция вербального и зрительно-пространственного компонентов имплицитно предполагается и в модели А. Бэддели. Тем не менее, вопрос о взаимовлиянии вербального и зрительно-пространственного компонентов остается открытым. Теоретическое значение этого вопроса заключается в том, что его решение связано с решением вопроса о роли доменно-неспецифических когнитивных ресурсов в функционировании РП. Если вербальный и зрительно-пространственный компонент оказывают влияние друг на друга, то справедливо предположение о существенном вкладе неспецифических ресурсов в реализацию функций РП. Установление справедливости этого предположения позволяет проследить связь между функциями РП и функциями сознательного контроля когнитивной деятельности человека (Миллер и др., 1965).

В этом исследовании была поставлена задача проследить, в какой мере вербальный компонент хранения влияет на работу зрительно-пространственного компонента. Для этого следует изучить, в какой мере необходимость удержания информации в вербальном компоненте определяет особенности выполнения задачи, требующей использования зрительно-пространственного компонента. В качестве такой задачи была выбрана задача зрительного поиска (Treisman & Gelade, 1980). В литературе неоднократно предполагалось, что зрительный поиск осуществляется с привлечением ресурсов зрительно-пространственной РП, в частности, для сравнения обследуемых объектов с эталоном и для удержания информации о пространственном положении объектов

(Bundesen, 1990; Woodman & Luck, 2004). Так как влияние нагрузки на вербальную РП на скорость и точность зрительного поиска может быть нейтрализовано такими факторами как мотивация или мобилизация, влияющими на поддержания заданного уровня эффективности деятельности, то было также изучено, как под влиянием нагрузки на РП изменяется характер глазодвигательной активности, сопровождающей зрительный поиск. Параметры движений глаз, сопровождающих решение многих зрительных и вербальных задач, являются информативными показателями особенностей психологических процессов, лежащих в основе их выполнения (Барабанщиков, Жегалло, 2014).

Показано, что нагрузка на зрительно-пространственную РП может влиять на осуществление зрительного поиска. Манипулируя нагрузкой на пространственную РП, Woodman & Luck (2004) обнаружили, что эффективность зрительного поиска уменьшалась под её влиянием. При этом нагрузка на РП приводила не только к увеличению времени поиска в среднем, но и к увеличению наклона поисковой кривой, что говорит о снижении эффективности процессов поиска, а не только процессов, связанных с кодированием стимуляции и реализацией моторного ответа. В исследовании Oh & Kim (2004) также было обнаружено, что нагрузка на пространственную РП, в отличие от нагрузки на объектную память, приводит к снижению эффективности зрительного поиска. Используя задачу зрительного поиска с реалистичной стимуляцией (обнаружение пешеходами опасных объектов), Kovesdi & Barton (2013) показали, что нагрузка на зрительную и пространственную РП объясняет значимую долю дисперсии показателей процессов зрительного поиска. Общий вывод, который может быть сделан из этих исследований, заключается в том, что выполнение зрительного поиска и хранение информации в пространственной РП требует использования одного и того же когнитивного механизма с ограниченной пропускной способностью.

Исследования влияния нагрузки на вербальную РП на эффективность зрительного поиска крайне редки. В этих исследованиях сравнивается влияние вербальной и невербальной РП. В работе (Anderson et al., 2008) было обнаружено, что нагрузка на вербальную РП снижает эффективность контролируемого зрительного поиска в той же мере, в какой её снижает нагрузка на пространственную РП. Примечательно, что оба вида нагрузки не влияли на эффективность автоматического зрительного поиска. Используя реалистичный экспериментальный сценарий (обнаружение периферических объектов во время вождения в симуляторе), Charatto et al. (2007) также обнаружили, что эффективность зрительного поиска снижается как под воздействием нагрузки на пространственную РП, так и под влиянием нагрузки на вербальную РП. Таким образом,

нагрузка на вербальную рабочую память может оказывать негативное влияние на выполнение задачи, требующей использования ресурсов зрительно-пространственной РП. Эти результаты свидетельствуют в пользу того, что на выполнение зрительного поиска влияют процессы, общие для вербальной и зрительно-пространственной РП.

Нагрузка на РП может приводить не только к изменениям показателей эффективности выполнения различных когнитивных задач (таких как задача зрительного поиска), но и к специфическим изменениям глазодвигательной активности (Lehtonen et al., 2012; MacNamara et al., 2012). Например, в работе Lehtonen et al. (2012) было показано, что при управлении автомобилем на дороге с поворотами нагрузка на РП приводит к снижению вероятности антиципирующих движений глаз, направленных на мониторинг точек окклюзии – ближайших к водителю точек дороги, за которым дорога скрыта от наблюдения. Таким образом, нагрузка на РП приводит к повышению экономичности движений глаз, известному обеднению их динамики, их концентрации на элементах, непосредственно необходимых для выполнения текущей задачи (в данном примере – на элементах, мониторинг которых необходим для поддержания оптимальной траектории движения). Примечательно, что данный эффект был получен в ситуации повышенной нагрузки на РП, вызванную выполнением задания, не имеющего выраженного зрительно-пространственного или моторного компонента. В работе MacNamara et al. (2012) было продемонстрировано, что нагрузка на РП приводит к увеличению количества фиксации на предъявляемых испытуемому эмоционально-значимых лицах, т.е. к изменению стратегий распределения и концентрации внимания. В целом, эти и другие исследования показывают, что использование ресурсов рабочей памяти может приводить к изменению характера движений глаз, отражающему изменения в когнитивных стратегиях решения актуально стоящих перед человеком задач.

В данной работе было изучено влияние нагрузки на вербальную РП на глазодвигательную активность при выполнении зрительного поиска в реалистичных зрительных сценах (поиск фигур людей на фотографиях городских ландшафтов). Предполагалось обнаружить изменения характера движений глаз, связанных с тем, что необходимость использовать ресурсы вербальной РП приводит к снижению доступности когнитивных ресурсов и, как следствие, к увеличению когнитивной нагрузки при выполнении задачи зрительного поиска. Такие изменения могут наблюдаться для различных показателей глазодвигательной активности, включая как характеристики фиксации, так и характеристики саккад. Обнаружение изменений глазодвигательной активности при выполнении задачи зрительного поиска, требующей привлечения

ресурсов зрительно-пространственной РП, под влиянием нагрузки на вербальную рабочую память, позволит опровергнуть предположение о независимости вербального и зрительно-пространственного компонента РП и сделать новые выводы о функциональной организации РП.

#### **5.4.2. Методика**

Испытуемые. В эксперименте приняли участие 16 человек, студенты факультета психологии МГУ, 14 женщин и 2 мужчин в возрасте от 20 до 25 лет, с нормальным или скорректированным зрением.

Аппаратура. Предъявление зрительной стимуляции осуществлялось с помощью 19” ЖК-монитора, расположенного на расстоянии 60-65 см от испытуемого. Ответы испытуемого фиксировались с помощью клавиатуры. Программирование экспериментальных заданий было осуществлено в программной среде ExperimentBuilder производства SR Research (Канада). Регистрация движений глаз осуществлялась с помощью системы бесконтактной видеорегистрации движений глаз EyeLink 1000 производства SR Research (Канада) с частотой 250 Гц. Выделение фиксации осуществлялось на основе обработки данных о скорости и ускорении движений глаз.

Схема эксперимента. Основной задачей испытуемых было определение наличия изображений людей на фотографиях городских сцен. Фотографии были отобраны случайным образом из набора фотографий, описанного в (Ehringer et al., 2009). Указанный набор содержит фотографии городских сцен, уравниваемые по наличию изображений людей, их пространственному расположению, средней яркости фотографий и используется для разработки алгоритмов компьютерного зрения, позволяющих автоматически выделять области, непроизвольно привлекающие внимание испытуемых. Из 912 фотографий, содержащихся в этом наборе, для предъявления были отобраны 50 фотографий, содержащие изображения людей, и 50 фотографий, не содержащие изображения людей. Нужно указывать, что получено разрешение на использование стимульного материала.

Было использовано 2 экспериментальных условия – условие с нагрузкой на вербальную РП и условие без нагрузки на вербальную РП. В условии с нагрузкой на вербальную РП испытуемые во время выполнения основного задания должны были удерживать в РП набор из 4 случайно отобранных цифр. С этой целью перед предъявлением каждого зрительного кадра, для которого следовало определить наличие или отсутствие изображений людей, испытуемым в течение 5 секунд зрительно

предъявлялся набор из 4 цифр. После выполнения основной задачи – определения наличия или отсутствия изображений людей на предъявленном зрительном кадре – испытуемым предъявлялась цифра и они должны были определить, содержалась ли она в предъявленном ранее наборе цифр. Ответы испытуемых фиксировались при помощи клавиатуры («да» - клавиша «?», «нет» - клавиша «z»). Аналогично фиксировались ответы испытуемого при выполнении основного задания. Зрительные кадры основного задания предъявлялись случайным образом.

В условии без нагрузки на вербальную РП испытуемые выполняли только основное задание, определяя наличие изображений людей в серии зрительных кадров. Порядок предъявления экспериментальных условий был сбалансирован между испытуемыми (по схемам АВ и ВА).

Регистрируемые показатели. В ходе эксперимента фиксировались точность выполнения задачи зрительного поиска (доля правильных ответов при определении наличия изображений людей) и удержания информации в РП (доля правильных ответов при опознании цифр). Регистрировался ряд показателей глазодвигательной активности, включая характеристики фиксаций и саккад:

- Длительность фиксаций
- Амплитуда саккад
- Средняя скорость саккад
- Пиковая скорость саккад

В качестве показателя умственной нагрузки также регистрировался размер зрачка (Канеман, 2006). Обработка данных производилась с помощью t-критерия Стьюдента для зависимых выборок. При анализе длительности фиксаций производилось построение индивидуальных эмпирических распределений длительности фиксаций и их подгонка к экспоненциально-гауссовскому распределению с применением методов нелинейной оптимизации, реализованных в пакете GAMLSS программной среды R. Полученные таким образом индивидуальные распределения длительности фиксаций описывались с помощью трех параметров ( $\mu$ ,  $\sigma$ ,  $\tau$ ), с использованием которых проводился дальнейший статистический анализ. Два параметра –  $\mu$  и  $\sigma$  – характеризуют, соответственно, среднее и стандартное отклонение гауссовского компонента экспоненциально-гауссовского распределения, а параметр  $\tau$  характеризует степень смещения экспоненциального компонента экспоненциально-гауссовского распределения вправо. Моделирование распределения длительности фиксаций с помощью экспоненциально-гауссовского

распределения получили сегодня определенное распространение (см., например, Staub & Benatar, 2013). Особый интерес при использовании этого метода представляет анализ параметра  $\tau$ , отражающего долю «сверх-долгих фиксаций», связанных с процессами сознательной, фокальной зрительной обработки (Velichkovsky et al., 2005).

### 5.4.3. Результаты

Данные о точности выполнения задачи зрительного поиска показывают, что нагрузка на вербальную РП приводит к её изменению. Согласно тесту Колмогорова-Смирнова, показатели точности выполнения зрительного поиска (% правильных ответов) были распределены в соответствии с нормальным распределением (в условии без нагрузки на РП -  $Z=0,98$ ,  $p>0,05$ ; в условии с нагрузкой на РП –  $Z=0,92$ ,  $p>0,05$ ), что делает правомерным применение параметрического критерия сравнения средних при их сопоставлении. В условии без нагрузки средняя точность зрительного поиска составила 93%, а в условии с нагрузкой - 97,6%. Это различие оказывается значимым,  $t(15)=3,54$ ,  $p<0,01$ . Точность выполнения задачи на РП (опознание цифр) составила 97%. Индивидуальные значения точности зрительного поиска показывают, что указанный эффект является достаточно общим (рис. 30).

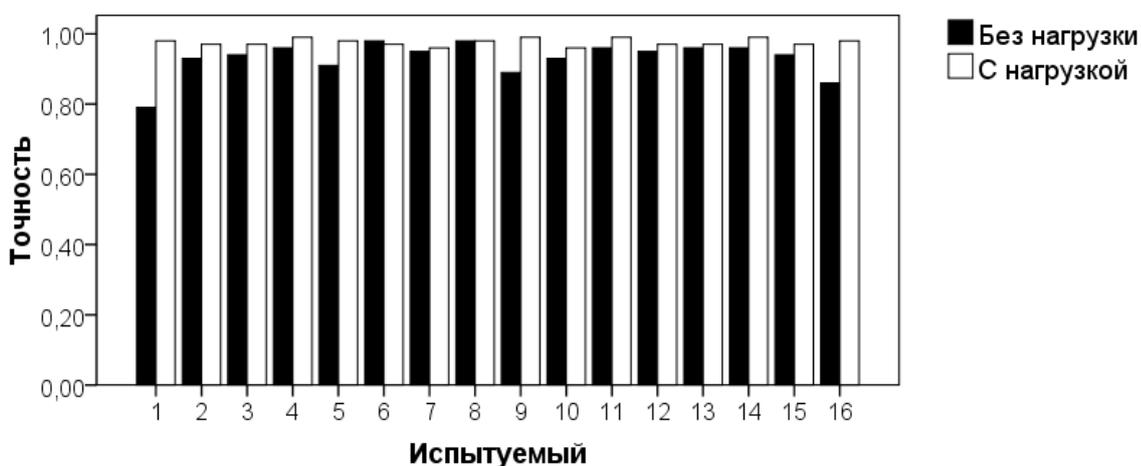


Рис. 30. Индивидуальная точность зрительного поиска (% правильных ответов) в зависимости от нагрузки на вербальную РП.

Данные о параметрах глазодвигательной активности дают неоднозначную картину их изменения под влиянием нагрузки на вербальную РП. Во-первых, для показателя средней длительности фиксаций не было обнаружено влияния нагрузки на РП. Распределения длительности фиксации в разных экспериментальных условиях соответствовали нормальному закону ( $Z=0,52$ ,  $p>0,05$  в условии без нагрузки на РП;  $Z=0,84$ ,  $p>0,05$  в условии с нагрузкой на РП). В условии без нагрузки на рабочую память

средняя длительность фиксаций составила 259 мс, а в условии с нагрузкой на рабочую память она составила почти идентичные 257 мс. Это различие не является значимым,  $t(15)=-0,39$ ,  $p>0,05$ . Отсутствие различий между средней длительности фиксаций в условиях с нагрузкой на РП и без неё является неожиданным результатом, так как длительность фиксаций является достаточно надежным показателем уровня когнитивной нагрузки. В силу этого был проведен дополнительный анализ распределений длительности фиксаций, описанный ниже.

Во-вторых, для различных параметров саккадических движений глаз – амплитуды саккад, средней скорости саккад и пиковой скорости саккад - было обнаружено влияние нагрузки на вербальную РП. Распределение параметров саккад соответствовало нормальному распределению. Для амплитуды саккад значения критерия Колмогорова-Смирнова составили  $Z=0,47$  ( $p>0,05$ ) и  $Z=0,62$  ( $p>0,05$ ) в условии без нагрузки на РП и с нагрузкой на РП, соответственно; для средней скорости саккад значения критерия Колмогорова-Смирнова составили  $Z=0,52$  ( $p>0,05$ ) и  $Z=0,64$  ( $p>0,05$ ); для пиковой скорости саккад –  $Z=0,57$  ( $p>0,05$ ) и  $Z=0,67$  ( $p>0,05$ ). Средняя амплитуда саккад в условии без нагрузки на РП составила 5,7 градусов, а в условии с нагрузкой на РП – 6,2 градуса. Это различие является значимым,  $t(15)=-8,33$ ,  $p<0,001$ . Средняя скорость саккад в условии без нагрузки на РП составила 161 градусов/секунду, а в условии с нагрузкой на РП – 171 градусов/секунду. Такое увеличение средней скорости саккад является значимым,  $t(15)=-7,8$ ,  $p<0,001$ . Пиковая скорость саккад в условии без нагрузки на РП составила 190 градусов/секунду, а в условии с нагрузкой на РП – 202 градуса/секунду. Это различие является значимым,  $t(15)=-6,2$ ,  $p<0,001$ .

Нагрузка на РП ожидаемым образом приводила и к изменению размера зрачка. Распределение значений размера зрачка соответствовало нормальному закону ( $Z=0,66$ ,  $p>0,05$  в условии без нагрузки на РП,  $Z=0,59$ ,  $p>0,05$  в условии с нагрузкой на РП). В условии без нагрузки на РП размер зрачка составил 357 условных единиц, а в условии с нагрузкой на РП – 325 условных единиц. Это различие является значимым,  $t(15)=3,24$ ,  $p<0,01$ .

Таким образом, были получены результаты, свидетельствующие об изменении параметров саккад в условии с нагрузкой на РП, а также результаты об отсутствии изменения длительности фиксаций в этом условии. Такие результаты представляются противоречивыми, так как использованные параметры саккад, размер зрачка, а также длительность фиксаций являются показателями, чувствительными к увеличению нагрузки

на центральные элементы системы переработки информации у человека (Дегтяренко, Леонова, 2012; Величковский, Морозов, 2012; Iqbal et al., 2004; Ahlstrom & Fredman-Berg, 2006; DiStasi et al., 2010; Marquart et al., 2015). В этой связи был проведен дополнительный анализ индивидуальных распределений длительности фиксации с целью выявления изменений параметров распределения длительности фиксации под влиянием нагрузки на вербальную РП.

Для каждого испытуемого в каждом экспериментальном условии была осуществлена подгонка распределения длительности фиксации к экспоненциально-гауссовскому распределению и определены оптимальные параметры этого распределения ( $\mu$ ,  $\sigma$ ,  $\tau$  - см. раздел Методика). Для всех параметров были обнаружены значимые различия между условием с нагрузкой на вербальную РП и условием без нагрузки на вербальную РП. Среднее значение параметра  $\mu$  в условии без нагрузки на РП составило 128, а в условии с нагрузкой на РП – 135. Это различие является значимым,  $t(14)=-2,33$ ,  $p<0,05$ . Среднее значение параметра  $\sigma$  в условии без нагрузки на РП составило 3,87, а в условии с нагрузкой на РП – 3,96. Это различие является значимым,  $t(14)=-3,95$ ,  $p<0,05$ . Среднее значение параметра  $\tau$  в условии без нагрузки на РП составило 4,86, а в условии с нагрузкой на РП – 4,78. Это различие также является значимым,  $t(14)=2,34$ ,  $p<0,05$ . Таким образом, нагрузка на РП не приводит к изменению среднего значения длительности фиксации, но приводит к изменению параметров моделирующих распределения фиксации экспоненциально-гауссовских распределений. Гауссовские компоненты этих распределений смещаются вправо и характеризуется увеличенным разбросом значений, а экспоненциальные компоненты распределений под влиянием нагрузки на РП несколько смещаются влево. Последний результат можно интерпретировать как свидетельство снижения доли «сверх-долгих» фиксации при осуществлении зрительного поиска в условии с нагрузкой на вербальную рабочую память.

#### **5.4.4. Обсуждение результатов**

Проведенное исследование было посвящено вопросу о том, в какой мере нагрузка на вербальную РП влияет на выполнение задачи, требующей привлечения ресурсов зрительно-пространственной РП. В частности, в исследовании был поставлен вопрос о том, приводит ли нагрузка на вербальную РП к изменению характеристик глазодвигательной активности при выполнении такой задачи. Полученные результаты показывают, что нагрузка на вербальную РП влияет на выполнение задачи зрительного поиска и сопровождающую его глазодвигательную активность.

Во-первых, было обнаружено значимое увеличение точности выполнения зрительного поиска в условии с нагрузкой на вербальную РП. Такой результат может быть объяснен различиями в уровне мобилизации когнитивных ресурсов, характерном для работы в разных экспериментальных условиях. В условии без нагрузки на вербальную РП задача зрительного поиска высокочетких фигур людей является достаточно простой для испытуемых, в силу чего при её выполнении у них может развиваться состояние монотонии. Такие состояния приводят к увеличению количества ошибок при выполнении простой деятельности с высокой скоростью (Леонова, 1984). В условии с нагрузкой на вербальную РП необходимость выделять когнитивные ресурсы на удержание информации в РП приводит к увеличению сложности деятельности, которое сопровождается повышением уровня энергетического и ресурсного обеспечения (Канеман, 2006). Усложнение условий деятельности может приводить к мобилизации процессов когнитивной сферы, косвенным следствием которой является повышение точности зрительного поиска.

Полученный результат является парадоксальным. Ожидалось, что создание нагрузки на РП приведет к снижению эффективности зрительного поиска. Ряд исследований влияния нагрузки на зрительно-пространственную РП на эффективность зрительного поиска, действительно, показывает снижение его скорости (Woodman & Luck, 2004; Oh & Kim, 2004). Однако полученные выше результаты свидетельствуют об увеличении эффективности поиска, по крайней мере, с точки зрения его точности. Альтернативным объяснением такого эффекта может быть повышение степени автоматизации зрительного поиска (см. ниже), однако это не объясняет, почему в случае увеличения участия сознательного контроля в зрительном поиске (в условии без нагрузки на РП) точность зрительного поиска снижается.

Во-вторых, между условиями с нагрузкой на вербальную РП и без нагрузки на вербальную РП были обнаружены значимые различия в ряде характеристик глазодвигательной активности, сопровождающей зрительный поиск. Такие различия обнаружены для амплитуды саккад, а также средней и пиковой скорости саккад. Показано (Ahlstrom & Friedman-Berg, 2006), что увеличение этих показателей является индикатором увеличения когнитивной нагрузки – умственного усилия, которое необходимо приложить для решения когнитивной задачи (Канеман, 2006). Полученные результаты могут свидетельствовать о том, что нагрузка на вербальную РП приводит к использованию неспецифических когнитивных ресурсов, т.е. таких когнитивных ресурсов, которые обеспечивают решение любых когнитивных задач.

Вывод об увеличении когнитивной нагрузки и возникающей вследствие этого мобилизации когнитивных ресурсов под влиянием нагрузки на вербальную РП подтверждается изменениями параметров длительности фиксации. Эти изменения касаются трех аспектов индивидуальных распределений длительности фиксации – среднего значения гауссовского компонента распределений длительности фиксации, их стандартного отклонения, а также среднего значения экспоненциального компонента распределений длительности фиксации. Эти результаты, с одной стороны, показывают, что для основной массы фиксации (представленной гауссовским компонентом распределения) их длительность, а также разброс длительности вокруг среднего значения увеличивается. Такие результаты могут свидетельствовать о том, что при выполнении задания с нагрузкой на вербальную РП увеличивается сложность работы, которая проявляется в замедлении глазодвигательной активности и снижении степени сознательного контроля над её осуществлением. С другой стороны, полученные результаты свидетельствуют о том, что экспоненциальный компонент распределения длительности фиксации смещается влево, т.е. о том, что длительность фиксации, соответствующих этому компоненту, уменьшается. Экспоненциальному компоненту могут соответствовать «долгие» фиксации (обычно более 300-500 мс), связанные с сознательной зрительной переработкой. При увеличении сложности заданий доля таких фиксации обычно увеличивается, что может быть связано с увеличением уровня сознательного контроля за осуществляемой деятельностью (Velichkovsky et al., 2005; Meghanathan et al., 2014; Walshe & Nuthmann, 2014). Наблюдаемое в данном случае изменение среднего экспоненциального компонента свидетельствует о снижении доли «долгих» фиксации, что может говорить о снижении уровня сознательного контроля над выполнением задачи зрительного поиска.

Задача зрительного поиска, выполняемая испытуемыми в данном исследовании, содержит как автоматические, так и сознательно контролируемые компоненты. В частности, показано, что при поиске объектов в экологически валидных сценах целенаправленные процессы организации зрительного поиска, учитывающие содержание сцен и вероятное расположение целевых объектов, позволяют существенно уменьшить зону поиска и снизить время нахождения цели (Wolfe et al., 2011). С другой стороны, изолированные фигуры людей являются объектами с высокой значимостью, обнаружение которых обеспечивается автоматизированными механизмами обнаружения. Обнаруженные в данном исследовании изменения параметров глазодвигательной активности говорят о том, что нагрузка на вербальную РП приводит (1) выполнению

задачи зрительного поиска в условиях увеличенной когнитивной нагрузки и (2) к снижению роли сознательного контроля над выполнением задачи зрительного поиска и увеличению степени его автоматизации. Саккадические движения глаз становятся более длинными и осуществляются с более высокой скоростью, а для фиксации характерно некоторое замедление в среднем и увеличенный разброс длительности фиксации (признак зависимости от низкоуровневых, перцептивных признаков рассматриваемого изображения). Кроме того, снижается вероятность длительного сознательного рассматривания объектов. Такие движения глаз соответствуют автоматическому режиму обработки информации, при котором зрительный поиск осуществляется в ускоренном темпе с ориентацией на низкоуровневые, перцептивные особенности изображений, а не на медленное, стратегически контролируемое рассматривание изображений.

Полученные результаты позволяют сделать выводы о взаимодействии вербального и зрительно-пространственного компонентов РП. Как уже отмечалось выше, в литературе высказываются различные предположения о характере такого взаимодействия (Shah & Miyake, 1999; Kane et al., 2004; Unsworth et al., 2009; Giofre et al., 2013). В частности, эти предположения могут быть столь различными как предположение о полной независимости модально-специфичных компонентов (Alloway et al., 2006) и как предположение об их влиянии друг на друга. В последнем случае возникает вопрос о том, какой механизм обеспечивает возникновение такого влияния. Этот вопрос сводится к вопросу о роли неспецифических ресурсов в функционировании РП. В рамках этих представлений предполагается, что хранение информации в модально-специфичных компонентах РП обеспечивается ограниченными разделяемыми ресурсами (Shah & Miyake, 1999; Kane et al., 2004; Jarrold et al., 2011).

В пользу предположения об обеспечении модально-специфического хранения разделяемыми неспецифическими ресурсами говорят уже упоминавшиеся выше результаты (см. раздел 2.6). Так, в исследовании Kane et al. (2004) было показано, что тесты на рабочую память сильнее коррелировали между собой, чем тесты на кратковременную память. Учитывая значительно большую роль управляющего внимания в РП по сравнению с КВП, это говорит о повышенной роли неспецифических ресурсов в реализации функций рабочей памяти. С использованием методов структурного моделирования также было показано большее соответствие имеющимся данным модели с единственным доменно-неспецифичным фактором по сравнению с моделью с двумя коррелирующими доменно-специфическими факторами вербальной и зрительно-пространственной рабочей памяти (Kane et al., 2004; Unsworth et al., 2009). Аналогичный

вывод о роли разделяемых неспецифических ресурсов в осуществлении оперативного хранения информации позволяет сделать обнаруженный (Vergauwe et al., 2012) эффект, зависимости эффективности хранения от сложности переработки, а также зависимость относительной эффективности опознания вербального и зрительно-пространственного материала от мотивационных факторов (Morey et al., 2011), влияющих на динамическое распределение единого резервуара ресурсов.

Результаты, полученные в нашем исследовании, могут быть интерпретированы как подтверждающие эту точку зрения. Создание нагрузки на вербальную РП приводило к изменению эффективности выполнения зрительного поиска как задачи, требующей использования зрительно-пространственной РП. При этом наблюдались признаки увеличения когнитивной нагрузки, т.е. уменьшения количества когнитивных ресурсов, доступных для решения задачи зрительного поиска. В этих усложненных условиях деятельности мобилизация испытуемых приводила к повышению эффективности зрительного поиска, однако изменения параметров глазодвигательной активности показывают общее замедление скорости работы и снижение степени сознательного управления поисковой глазодвигательной активностью. Такое увеличение доли автоматических процессов также свидетельствует о снижении количества ресурсов, обеспечивающих функционирование зрительно-пространственной РП. Таким образом, реализация функций вербального и зрительно-пространственного компонентов РП обеспечивается ограниченными ресурсами, разделяемыми между ними. Интерпретируя полученные выше результаты, можно предположить, что разделение неспецифических ресурсов является механизмом, обеспечивающим влияние модально-специфических компонентов РП друг на друга.

Таким образом, в данном исследовании было изучено влияние нагрузки на вербальную РП на особенности выполнения зрительного поиска – относительно простого задания, требующего использования ресурсов зрительно-пространственной РП. Было обнаружено, что нагрузка на вербальную РП, с одной стороны, приводит к повышению эффективности обнаружения целей. С другой стороны, результаты анализа глазодвигательной активности при зрительном поиске показывают, что выполнение этого задания в условиях нагрузки на РП сопровождается увеличением когнитивной нагрузки и повышением степени автоматизации поиска. Полученные результаты свидетельствуют о взаимодействии вербального и зрительно-пространственного компонентов РП на основе разделения единого резервуара неспецифических когнитивных ресурсов. Перераспределение ресурсов может осуществляться динамически в соответствии с

требованиями текущей мнестической задачи. Сделанное предположение не исключает обеспечения вербального и зрительно-пространственного оперативного хранения также и модально-специфическими ресурсами. Представляется, что конкретное сочетание характеристик модально-специфических и неспецифических ресурсов определяется внешними (энергетическими, мотивационными и стратегическим) и внешними (требования мнестической задачи) условиями.

## **5.5. Исследование влияния нагрузки на рабочую память пользователя на эффективность навигации в меню мобильного устройства**

### **5.5.1. Постановка проблемы**

Разнообразные мобильные вычислительные устройства – мобильные телефоны, смартфоны, карманные персональные компьютеры, планшетные компьютеры и др. – широко используются сегодня в личной и профессиональной жизни людей. Начиная с 2007 г., в мире ежегодно продается свыше 1 миллиарда мобильных устройств (Gartner, 2007). Важной сопутствующей тенденцией является совершающийся сегодня во многих отраслях переход к «мобильной работе». Мобильная работа предполагает, что работник имеет доступ ко всем необходимым ему информационным и вычислительным ресурсам вне стационарного рабочего места. Таким образом, важной практической задачей сегодня становится выявление принципов проектирования удобных в использовании интерфейсов мобильных устройств. Полноценное решение этой задачи невозможно без изучения факторов, влияющих на эффективность взаимодействия пользователя с мобильным устройством.

Для организации взаимодействия с пользователем в интерфейсах стационарных и мобильных устройств часто используются различные виды меню. Меню предоставляет доступ к функциям вычислительного устройства посредством выбора элементов меню. Выбор элемента приводит либо к необходимости выбора другого элемента, либо к выполнению одной из функций устройства. Таким образом, взаимодействие с помощью меню сводится к осуществлению пользователем целенаправленного «перемещения» из текущего положения в структуре меню к «целевой» функции путем выбора элементов меню. В этой связи можно говорить о «навигации» в меню.

Эффективность навигации в меню может быть оценена на основе различных критериев. Например, можно измерять скорость навигации - время, затрачиваемое пользователем на выбор заданного элемента меню. Также можно измерять точность навигации - количество переходов между элементами меню, "лишних" по сравнению с

минимально необходимым количеством. Как показывают исследования, на эффективность навигации влияют различные факторы: «ширина» и «глубина» меню, его симметричность, критерии распределения элементов внутри меню и многие другие (Norman, 1991; Paar & Cooke, 1997). Важным психологическим фактором эффективности навигации являются индивидуальные возможности РП пользователя.

При навигации в меню РП может выполнять различные функции. В частности, ресурсы РП необходимы для удержания структуры ("карты") меню и для определения оптимального «маршрута движения» с учетом исходного положения и цели движения. Кроме того, в ходе самой навигации РП необходима для оперативного удержания и обновления "текущего положения" в меню для отслеживания успешности продвижения к цели. Поэтому ограничения РП могут влиять и на эффективность навигации. Например, если глубина (т.е. количество уровней) меню превышает объем РП пользователя, то высока вероятность потери пользователем ориентации в структуре меню. Следствием является совершение пользователем избыточных переходов между элементами меню, т.е. "ошибок навигации".

Особенности мобильных устройств и контекста их использования сами по себе могут приводить к увеличению нагрузки на РП. Как следствие, это может приводить к еще большему снижению эффективности навигации в меню. Например, небольшие размеры экранов мобильных устройств заставляют проектировщиков использовать достаточно глубокие меню. Ограничения размеров экранов мобильных устройств также приводят к тому, что пользователи должны удерживать большее количество информации в РП, что еще больше увеличивает нагрузку на неё. Кроме того, взаимодействие с мобильными устройствами обычно осуществляется одновременно с выполнением других - возможно, нетривиальных - действий. Для выполнения каждого из них также может использоваться РП. В результате навигация в меню мобильного устройства может значительно усложняться.

Результаты эмпирических исследований подтверждают сделанные выше предположения. Навигация в меню мобильных устройств обычно менее эффективна, чем навигация в функционально подобных меню стационарных устройств (Parush & Yuviler-Gavish, 2004). Такое снижение эффективности обусловлено меньшими размерами экранов мобильных устройств, что приводит к увеличению глубины меню и усложнению их структуры. На эффективность навигации в меню мобильных устройств также влияют индивидуальные особенности пользователей, прямо или косвенно связанные с

доступностью ресурсов РП - её объем, имеющийся у пользователей опыт взаимодействия с мобильными интерфейсами, возраст пользователей (Sanchez & Branaghan, 2011; Ziefle & Bay, 2004). Эти результаты позволяют предположить, что уровень нагрузки на РП пользователя при навигации в меню мобильного устройства оказывает большое влияние на её эффективность. На этом основании можно предположить, что функциональная организация РП определяет особенности навигации пользователя в меню мобильных устройств. Роль РП в обеспечении навигации в меню мобильных устройств может быть связана с извлечением из ДВП «ментальной карты» организации меню, формирования «маршрута движения» и актуальной позиции в структуре меню в целевую позицию структуры меню, а также с мониторингом успешности перемещения в структуре меню в направлении целевой функции. При этом различные компоненты РП будут играть различную роль при выполнении этих частных задач. Выявление механизмов навигации в меню мобильных устройств с привлечением РП может быть использовано для создания более эффективных структур меню и средств навигации в них. Следует отметить, что использование РП при навигации в меню мобильных устройств выступает как пример динамической настройки функциональной организации РП на решение экологически валидных, когнитивно сложных задач.

### **5.5.2. Методика**

*Стимульный материал.* На базе лаборатории психологии труда факультета психологии МГУ им. М.В.Ломоносова автором была создана интерактивная модель современного смартфона, исполняемая на персональном компьютере. Программирование симуляционной модели было осуществлено в среде для создания поведенческих экспериментов E-Prime 2.0. На экране ПК с сохранением размеров условно воспроизводился внешний вид моделируемого устройства. На экране находились интерактивные кнопки, соответствующие пунктам меню. Выбор определенного пункта меню осуществлялся с помощью мыши. Выбор пункта меню сопровождался зрительной (подсветка) и звуковой («щелчок») обратной связью.

В модели были реализованы три меню («телефон», «календарь», «контакты»). Для каждого меню был составлен список заданий, соответствующих типичным сценариям использованию смартфонов. Для меню «календарь» было составлено 15 заданий («Создайте новое событие», «Удалите событие из списка», «Установите ежемесячный повтор события» и т.п.). Для меню «контакты» было составлено 23 задания («Создайте новый контакт», «Добавьте контакт в избранное», «Добавьте номер телефона к контакту»

и т.п.). Для меню «телефон» было составлено 11 заданий («Наберите номер телефона», «Просмотрите пропущенные вызовы», «Удалите последний вызов» и т.п.). Чтобы выполнить задание, испытуемый должен был перейти к соответствующему пункту меню. Выбор испытуемым нужного пункта сопровождался звуковым сигналом.

Для манипуляции уровнем нагрузки на РП испытуемого использовалась методика дополнительной задачи (Баддли и др., 2011). Методика предполагает сравнение эффективности работы испытуемого в двух экспериментальных условиях. В одном условии испытуемый выполняет только одну – основную – задачу, для которой необходимо доказать использование ресурсов РП. В другом условии испытуемый одновременно выполняет две задачи – основную и дополнительную. Дополнительная задача конструируется так, что её выполнение создает дополнительную нагрузку на РП испытуемого. Заметное ухудшение эффективности работы испытуемого в условии с дополнительной задачей трактуется как доказательство вовлечения РП в выполнение основной задачи.

В нашем эксперименте дополнительная задача заключалась в необходимости отслеживать звуковые сигналы («телефонные звонки») и реагировать нажатием определенной клавиши при каждом третьем «звонке». В случае ошибки (т.е. при нажатии клавиши при недостаточном количестве прозвучавших сигналов или при пропуске трех сигналов) испытуемому давалась звуковая обратная связь. После каждой верной и каждой ошибочной реакции отсчет «звонков» начинался заново. Дополнительное задание являлось вариантом заданий на обновление РП.

*Процедура эксперимента.* Испытуемый знакомился с письменной инструкцией, после чего экспериментатор на примерах пояснил работу модели устройства и отвечал на возможные вопросы. Испытуемые выполняли 3 блока экспериментальных заданий, по одному блоку для каждого меню. Использовался фиксированный порядок блоков («контакты» – «телефон» – «календарь»). Задания в блоке предъявлялись в случайном порядке, каждое задание предъявлялось 2 раза. Текст задания отображалась в верхней части экрана в течение всего времени выполнения одной пробы. В ходе эксперимента испытуемые выполняли две серии блоков – серию без выполнения нагрузочной задачи, а также серию с выполнением нагрузочной задачи. Порядок выполнения серий был сбалансирован между испытуемыми: половина испытуемых сначала выполняла серию без нагрузочной задачи, а половина – серию с нагрузочной задачей. При выполнении каждой

пробы регистрировались следующие показатели эффективности навигации (все временные показатели измерялись в миллисекундах):

- Общее время, потраченное на переход к целевой команде.
- Среднее время перехода от одного пункта меню к другому.
- Время первого перехода после предъявления нового задания.
- Количество переходов, совершаемых испытуемым для достижения целевой команды.

*Испытуемые.* В исследовании приняли участие 22 человека (12 женщин), студенты 5 курса факультета психологии МГУ им. М. В. Ломоносова, в возрасте от 21 до 22 лет.

### 5.5.3. Результаты

С целью очистки данных для каждого испытуемого были исключены значения, отклоняющиеся от индивидуального среднего более чем на 3 индивидуальных стандартных отклонения. Средние и стандартные отклонения очищенных показателей эффективности навигации в условиях с дополнительной нагрузкой на РП и без неё приведены в таблице 21. Перед анализом данных значения всех показателей были подвергнуты логарифмической трансформации с целью нормализации их распределений.

Оценка статистической значимости влияния фактора нагрузки на эффективность навигации проводилась методом дисперсионного анализа. Под влиянием дополнительной нагрузки на РП статистически значимо увеличивается общее время навигации. Значение F-критерия составило  $F(1, 1511) = 21.9$ , вероятность ошибки 1-го рода  $p$  была меньше 0.001. Также статистически значимо увеличилось среднее время одного перехода,  $F(1, 1511) = 41.9$ ,  $p < 0.001$ , и время, необходимое для выполнения первого перехода,  $F(1, 1511) = 9.1$ ,  $p < 0.01$ . Дополнительная нагрузка на РП не приводит к значимому изменению количества совершаемых испытуемыми переходов,  $F(1, 1511) = 0.1$ ,  $p > 0.05$ .

Также был проведен анализ влияния дополнительной нагрузки на РП, при котором учитывалось необходимое количество переходов. Под необходимым количеством переходов понимается минимальное количество переходов, которое позволяло достигнуть заданного пункта меню из того положения в структуре меню, в котором испытуемый оказался после выполнения предыдущего задания. Необходимое количество переходов, по сути, задает «дистанцию», которую необходимо «преодолеть», чтобы достигнуть целевого

пункта меню. Очевидно, что при увеличении расстояния до целевого объекта навигация может затрудняться, и роль РП в этом случае может проявиться особенно отчетливо.

Таблица 21. Средние и стандартные отклонения (в скобках) показателей эффективности навигации в зависимости от нагрузки на РП.

Нагрузка	Эффективность навигации			
	Общее время, мс	Среднее время, мс	Время первого перехода, мс	Количество переходов
Нет	4468 (3402)	1703 (896)	2314 (1424)	2.65 (1.16)
Есть	5110 (3552)	1965 (959)	2502 (1394)	2.63 (1.14)

На основе экспериментальных протоколов для каждого задания было определено необходимое количество переходов (диапазон значений от 1 до 4). Средние и стандартные отклонения показателей эффективности навигации для разных уровней нагрузки и разного необходимого количества переходов приведены в таблице 22. Для оценки статистической значимости влияния необходимого количества переходов и его взаимодействия с нагрузкой на РП был проведен двухфакторный дисперсионный анализ. Увеличение необходимого количества переходов естественным образом приводит к значимому увеличению общего времени навигации,  $F(1, 1509) = 637.6, p < 0.001$ . Оно также приводит к значимому снижению среднего времени одного перехода,  $F(1, 1509) = 21.6, p < 0.001$ . Таким образом, при увеличении «расстояния», которое необходимо преодолеть в меню, испытуемые увеличивают скорость выполнения переходов.

Наибольшей интерес для нас представляло существование статистического взаимодействия факторов дополнительной нагрузки и необходимого количества переходов. Это взаимодействие является значимым для общего времени навигации,  $F(1, 1509) = 4.2, p < 0.05$ . Оно обусловлено тем, что в условиях с нагрузкой общее время навигации при большом необходимом количестве переходов (3 и - особенно отчетливо – 4, рис. 31а) увеличивается больше, чем в условиях без нагрузки.

Таблица 22. Средние и стандартные отклонения (в скобках) показателей эффективности навигации в зависимости от нагрузки на РП и необходимого количества переходов.

Нагрузка	Необходимое количество переходов	Эффективность навигации			
		Общее время, мс	Среднее время, мс	Время первого перехода, мс	Количество переходов
Нет	1	2436 (1781)	2099 (1176)	2188 (1226)	1.19 (0.67)
	2	3786 (2653)	1717 (860)	2289 (1289)	2.18 (0.64)
	3	5142 (3075)	1585 (819)	2347 (1574)	3.21 (0.71)
	4	7709 (5830)	1594 (793)	2470 (1637)	4.54 (1.27)
Есть	1	2636 (1556)	2386 (1093)	2398 (1103)	1.12 (0.51)
	2	4111 (2286)	1937 (1023)	2553 (1556)	2.13 (0.52)
	3	5919 (3066)	1833 (799)	2389 (1193)	3.20 (0.65)
	4	10125 (6282)	2106 (923)	2933 (1684)	4.70 (1.28)

Взаимодействие нагрузки и необходимого количества переходов для среднего времени перехода не значимо, но приближается к значимому на уровне тенденции,  $F(1, 1509)=2.3$ ,  $p=0.13$ . Примечательно, что при дополнительной нагрузке на РП характерное увеличение скорости навигации при большом (4) необходимом количестве переходов прекращается. В условии без нагрузки такого эффекта не наблюдается (рис. 31б). Для времени первого перехода взаимодействие нагрузки и необходимого количества переходов не является незначимым и не приближается к значимому на уровне тенденции,  $F(1, 1509)=0.02$ ,  $p>0.2$ .

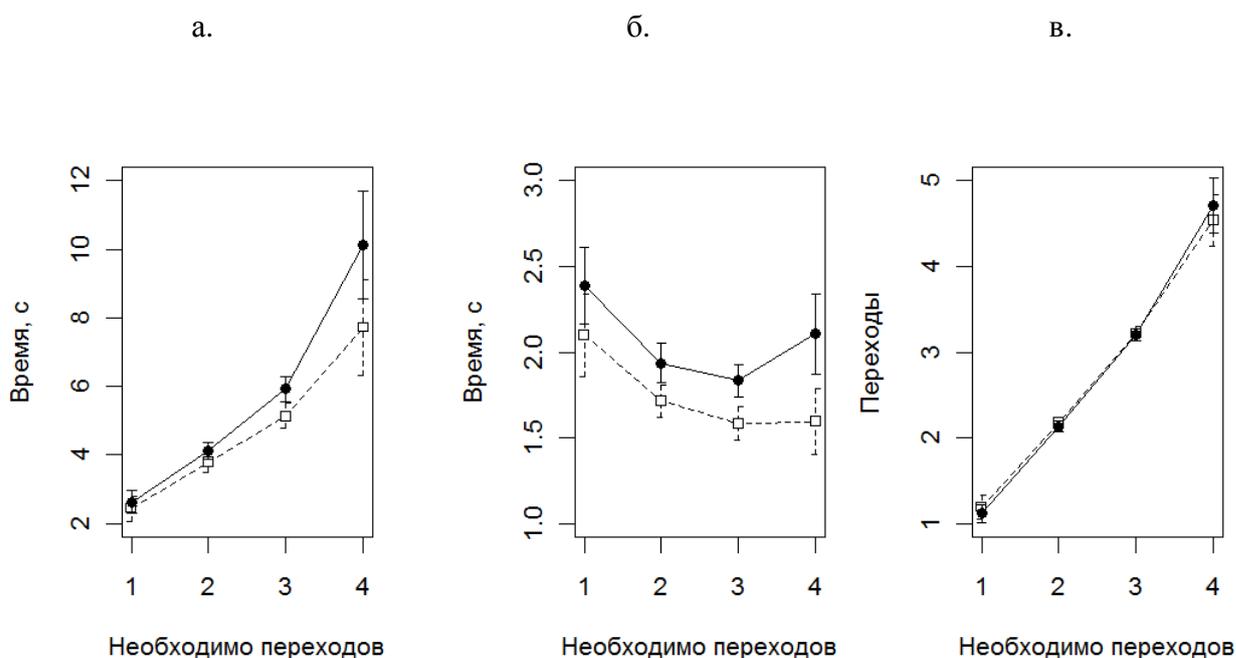


Рис. 31. Зависимость эффективности навигации от нагрузки на РП испытуемого и необходимого количества переходов (а – общее время навигации, б – среднее время одного перехода, в – количество выполненных переходов.). Условие с нагрузкой – сплошная линия, без нагрузки – штрихованная линия.

Взаимодействие нагрузки и необходимого количества переходов для количества реально выполненных переходов не значимо, но приближается к значимому на уровне тенденции,  $F(1, 1509) = 2.53$ ,  $p=0.11$ . Наблюдающаяся тенденция к взаимодействию факторов обусловлена тем, что при 4 необходимых переходах в условии с нагрузкой на РП наблюдается увеличение количества выполняемых переходов по сравнению с условием без нагрузки (рис. 31в).

#### 5.5.4. Обсуждение результатов

Полученные результаты свидетельствуют о наличии влияния дополнительной задачи на скорость навигации в меню симулированного мобильного устройства. Необходимость выполнять дополнительную задачу приводит к выраженному увеличению общего времени выполнения задания. Увеличивается количество времени, которое испытуемые тратят на выполнение каждого перехода в среднем. Это может быть свидетельством того, что испытуемые вынуждены осуществлять навигацию медленнее, чаще сталкиваясь с необходимостью сознательного припоминания того, какой пункт меню должен быть выбран следующим. Также увеличивается количество времени, которое необходимо испытуемым для осуществления первого перехода. Это может быть свидетельством трудностей, которые испытуемые испытывают с припоминанием

структуры меню и формированием корректного маршрута к целевой команде. Обе функции требуют активного использования ресурсов РП, и полученные результаты подкрепляют предположение о важной роли РП в осуществлении навигации в мобильном меню.

Дополнительная задача не оказывает статистически значимого влияния на другой важный показатель эффективности навигации – общее количество совершенных переходов. Увеличение количества реально совершаемых испытуемыми переходов свидетельствует об «ошибках навигации». При выполнении многих видов задач типичной реакцией на усложнение условий работы или повышение трудности задачи является снижение скорости работы с целью сохранения субъективно приемлемого уровня ошибок. Представляется, что полученные результаты связаны со стремлением испытуемых поддерживать высокую точность работы за счет большего напряжения и низкой скорости.

Обнаруженное взаимодействие между нагрузкой на РП и количеством переходов, минимально необходимых для достижения целевой команды, представляется еще одним свидетельством влияния ограничений РП на эффективность навигации в меню мобильного устройства. Этот эффект может быть связано как с усложнением планирования навигации, так и с усложнением её непосредственного выполнения. Если ресурсы РП используются при выполнении навигации, и если дополнительная задача уменьшает доступность ресурсов РП, то дополнительная задача должна оказывать более выраженное негативное влияние на эффективность навигации при навигации на «большие расстояния». Обнаруженное нами для общего времени навигации статистически значимое взаимодействие нагрузки на РП и необходимого количества переходов полностью соответствует этому предположению. С ним также согласуется и наблюдающаяся тенденция к существованию аналогичного взаимодействия для среднего времени одного перехода и для количества реально выполненных переходов.

Полученные результаты свидетельствуют о важной роли РП пользователя в успешном выполнении навигации в меню мобильного устройства. Такая интерпретация поддерживается и результатами указанных выше зарубежных исследований. Она имеет значение для анализа взаимодействия пользователей с мобильными устройствами в реальных условиях, а также для разработки удобных в использовании мобильных устройств.

При реальном использовании мобильных устройств степень распределения ресурсов РП может быть очень высокой. Это связано с самим контекстом использования

подобных устройств. Оно часто осуществляется в динамичной, потенциально опасной среде, требующей постоянного мониторинга изменений ситуации и быстрых реакций на них. Использование мобильного устройства также часто происходит на фоне выполнения другой деятельности. Эта деятельность сама по себе может создавать нагрузку на РП. Поэтому в реальных условиях при навигации в меню (и взаимодействии с мобильным устройством в целом) нагрузка на РП пользователя может быть значительно выше, чем в относительно стабильных условиях лабораторного тестирования.

Такое положение дел усугубляется тем, что мобильные устройства не предполагают систематического обучения пользователя. Они также не предполагают постоянного долговременного использования в неизменном контексте. Это препятствует формированию автоматизированных навыков использования, которые минимизируют потребность в сознательном контроле действий и в привлечении ресурсов РП. Другим негативным фактором являются выраженные индивидуальные и возрастные различия в возможностях РП. Если навигация в меню мобильного устройства требует привлечения значительных ресурсов РП, то люди с низким объемом РП, а также пожилые люди будут испытывать значительные трудности при выполнении этой задачи.

С другой стороны, высокая нагрузка на РП при навигации в меню мобильного устройства может оказать негативное влияние на выполнение одновременно осуществляемой деятельности. В частности, это может затруднять мониторинг пользователем своего окружения. «Перегрузка» РП пользователя из-за плохо организованной навигации в меню мобильного устройства может привести к возникновению опасных для пользователя ситуаций. Поэтому учет ограничений РП пользователей при разработке меню мобильных устройств повышает не только удобство, но и безопасность их использования.

Учитывать ограничения РП при создании меню мобильного устройства можно несколькими способами. На этапе проектирования меню мобильного устройства следует обращать внимание на факторы, заведомо приводящие к увеличению нагрузки на РП человека. Одним таким фактором является соотношения глубины и ширины меню (т.е. количества уровней меню и количество элементов на одном уровне меню). Учитывая типичные ограничения объема РП и особенности контекста использования мобильных устройств, не следует использовать глубину меню более 3-4 уровней. Важным фактором также является симметричность структуры различных разделов и ветвей меню. Сходство организации значительно упрощает задачу ориентации в структуре, исключая

необходимость сознательного припоминания особенностей конкретного подраздела меню. Также следует использовать очевидные для пользователей критерии распределения элементов по разделам меню и обозначения пунктов меню.

При пользовательском тестировании эффективности использования (прототипа) мобильного устройства целесообразно моделировать условия распределения ресурсов РП – например, через дополнительную нагрузочную задачу. При отборе пользователей для участия в тестировании можно измерять значения объема РП для целенаправленного отбора лиц с высоким и низким объемом. Дополнительно может осуществляться регистрация психофизиологических показателей, коррелирующих с уровнем нагрузки на РП. Например, увеличение нагрузки на РП проявляться в увеличении размера зрачка и специфических изменениях электрической активности мозга (Величковский и Козловский, 2012). Сочетание снижения возможной нагрузки на РП будущего пользователя на этапе проектирования меню мобильного устройства с оценкой эффективности навигации в условиях, моделирующих реальную ситуацию использования мобильного устройства, позволит оценить резерв ресурсов РП, который будет доступен пользователю при работе с мобильным устройством.

В целом следует отметить, что навигация в меню мобильных вычислительных устройств предъявляет высокие требования к РП пользователя. РП также привлекается к решению других задач, возникающих в «мобильном контексте использования». Повышенная нагрузка на РП может приводить к снижению эффективности навигации в меню мобильных устройств, а также к увеличению риска попадания пользователя в опасные ситуации. Уровень нагрузки на РП пользователей является важным критерием качества интерфейса при проектировании и оценке меню мобильных устройств.

## Глава 6. Функциональная организация рабочей памяти при решении познавательных задач

### 6.1. Неоднородность рабочей памяти как особенность её организации

Одним из открытых вопросов структурно-функциональной организации РП является вопрос об однородности её структуры (Shah & Miyake, 1999; Chuderski et al., 2008; Cowan, 2008; Hale et al., 2011; Oberauer, 2013). Является ли РП однородным образованием или в её составе можно выделить разнородные компоненты, что говорило бы о гетерогенности РП? Проведенные нами исследования показывают, что РП человека, вероятно, представляет собой систему функционально и структурно различных компонентов, взаимодействие которых обеспечивает реализацию функций РП.

В свете полученных результатов важным для понимания структурно-функциональной организации РП представляется различие компонентов, связанных с механизмами кратковременного и долговременного хранения. Разделение компонентов РП на компоненты кратковременного и долговременного хранения подкрепляется в контексте различных экспериментальных парадигм (Ranganath & Blumenfeld, 2005; Suprenant & Neath, 2009; Nee & Jonides, 2011; Величковский и др., 2012; Величковский, 2013, 2014). Таким образом, РП образована компонентами, имеющими неодинаковую природу и, как следствие, различные функциональные возможности.

Данные литературы и описанных в этой работе исследований позволяют предположить, что в составе РП существует система хранения небольшого объема, обеспечивающая быстрый доступ к надежно сохраняемой информации - «регион прямого доступа», согласно терминологии К. Оберауера (Oberauer, 2005). Согласно различным оценкам, в этой системе хранения удерживается 3-4 элемента информации, что снижает функциональные возможности этой системы (Cowan, 2001; Oberauer, 2002). Однако предполагается, что механизмы, обеспечивающие функционирование региона прямого доступа, позволяют получать очень быстрый доступ к хранящимся в нем элементам. Такая возможность скоростного доступа к информации из региона прямого доступа представляет собой важную положительную особенность этой системы хранения, во многом нейтрализующей недостатки, связанные с ограниченным объемом хранения. Это связано с тем, что основной задачей РП является поддержка *оперативного* хранения и переработки информации при решении задач, которые могут разворачиваться в реальном времени, часто – на достаточно коротких временных промежутках. Другой важной гипотетической особенностью региона прямого доступа является высокая надежность

хранения информации в этом компоненте – удерживаемая информация, предположительно, не подвержена распаду с течением времени или под действием интерференции (Величковский, Румянцев, Никонова, 2015; Oberauer, 2002; Surprenant & Neath, 2009; альтернативную тоску зрения см. в Carrol et al., 2010). В этом контексте можно предположить, что регион прямого доступа может играть роль своеобразной «промежуточной памяти», обеспечивающей быструю загрузку в фокус переработки нескольких элементов, непосредственно связанных с актуально выполняемыми действиями. Открытым остается, конечно, вопрос о том, чем вызвана необходимость появления такой промежуточной памяти, а также конкретные ограничения объема хранения (см. ниже, Shah & Miyake, 1999).

В рассмотренных в данной работе исследованиях вывод о существовании в составе РП отдельной системы хранения с указанными свойствами подтверждается рядом результатов, например, результатами исследования влияния нагрузки на РП и интерференции на выполнение сложных заданий на определение объема РП. С одной стороны, в этом исследовании на материале сразу нескольких сложных заданий на определение объема РП было показано, что вероятность правильного извлечения информации из РП резко снижается, когда для выполнения задания необходимо оперативно удерживать более 3-4 элементов информации. Такой резкий переход в эффективности удержания информации может быть обусловлен наличием в РП различных систем хранения, одна из которых – регион прямого доступа – обеспечивает надежное хранение небольшого количества информации. Следует отметить, что полученный результат хорошо согласуется с результатами различных исследований, в которых были получены сходные свидетельства о резком изменении кривой оперативного запоминания при необходимости удержания 3-4 элементов информации (обзор см. в Cowan, 2001). Хотя очевидно, что при успешном решении многих лабораторных и практических задач необходимо удерживать более 3-4 элементов информации (т.е. объем хранения в РП может выходить за эти пределы), эти результаты говорят о возможности существования в составе особого компонента хранения, эффективно удерживающего небольшое количество информации, не выходящее за указанные пределы.

Также было обнаружено, что интерференция по-разному влияет на эффективность удержания информации в РП в зависимости от количества подлежащих удержанию элементов. В описанных выше исследованиях выполнения сложных заданий на определение объема РП путем варьирования степени сходства между удерживаемыми в РП элементами информации изменялся уровень интерференции. Ожидаемым эффектом

увеличения интерференции является снижение эффективности оперативного хранения за счет действия различных механизмов «перезаписи» признаков удерживаемых элементов или механизмов их «конкуренции за ответ». Однако нами было обнаружено, что при необходимости удержания небольшого количества элементов (не более 4), негативный эффект интерференции оказывается менее выраженным (или не выраженным вовсе). При необходимости удерживать относительно большое количество информации (более 4 элементов), интерференция оказывает выраженный негативный эффект на вероятность воспроизведения оперативно удерживаемого материала. Таким образом, варьирование количеством информации при одновременном варьировании уровнем интерференции показывает, что оперативное хранение не более 4 элементов информации может обеспечиваться компонентом РП, устойчивым к действию интерференции. При необходимости оперативного хранения информации, объем которой выходит за этот предел, в дополнении к этому компоненту используется компонент, менее устойчивый к негативному влиянию интерференции. В целом, полученные результаты о взаимодействии нагрузки на РП и уровня интерференции между удерживаемыми в РП элементами информации подтверждают существование в составе РП системы хранения небольшого объема, обеспечивающей надежное хранение информации на фоне интерференции.

Существование специализированной системы хранения ограниченного объема подтверждается и результатами исследования характеристик выполнения заданий на обновление РП. Для этих заданий (принципы выполнения которых существенно отличаются от принципов выполнения заданий на определение объема РП) также было обнаружено, что эффективность оперативного удержания очевидным образом снижается при достаточно значительном увеличении объема подлежащей хранению информации (т.е. в тех случаях, когда количество удерживаемой информации превышает объем хранения в регионе прямого доступа). Следует отметить, что для заданий на обновление РП (в частности, задания n-back) которые могут выполняться преимущественно с использованием региона прямого доступа для хранения обновляемых элементов, в проведенных исследованиях было обнаружено взаимодействие нагрузки на РП и уровня интерференции, что говорит о возможности различения в составе РП двух разнородных систем хранения. Таким образом, результаты исследований особенностей выполнения заданий на обновление РП подтверждают возможность выделения в составе РП региона прямого доступа как устойчивой к действию интерференции системы хранения небольшого объема, представляющей в известном смысле «передний край» системы оперативного хранения в целом. С помощью этого компонента РП осуществляется

оперативное удержание той части релевантной для решения текущей задачи информации, которая является особенно значимой в актуальный момент времени и требует, вследствие этого, особой устойчивости к действию негативных факторов и обеспечения скоростного извлечения в целях дальнейшей переработки.

Для обоснования существования в составе РП региона прямого доступа как особого компонента с указанными выше свойствами показательными являются результаты исследования эффективности навигации в меню мобильного вычислительного устройства. В ходе проведенного исследования изучалось, как изменяется эффективность в навигации в иерархически организованном меню модели мобильного вычислительного устройства в зависимости от особенностей меню, «маршрута навигации», а также от внешней нагрузки на РП. При этом можно предположить, что навигация в меню вычислительного устройства (т.е. переход к целевой функции меню путем перемещения по его уровням) – как и вообще навигация в пространстве – требует использования функциональных возможностей РП. Это связано с тем, что для осуществления успешной навигации в виртуальных и естественных пространствах необходимо удерживать и трансформировать когнитивные репрезентации различного рода – активировать «карту» пространства, «прокладывать» маршрут и отслеживать успешность «продвижения» по направлению к цели. Для всех указанных когнитивных действий необходимо привлечение РП как системы оперативного хранения и изменения информации. В силу этого особенности структурно-функциональной организации РП будут оказывать существенное влияние на успешность навигации в пространствах разных видов, а изучение эффективности навигации может пролить свет на строение РП и характеристики её функциональных механизмов.

В проведенном исследовании было обнаружено несколько эффектов, подтверждающих роль РП и – особенно – роль региона прямого доступа в осуществлении навигации в иерархически структурированном меню. Во-первых, общее время навигации и количество совершаемых при этом ошибок непропорционально сильно увеличивается в тех случаях, когда при навигации необходимо осуществить переход более чем на 3 уровня меню. Аналогично, при навигации более чем на 3 уровня в условиях с нагрузкой на РП обнаруживается т.н. эффект расстояния (снижение средней скорости навигации при увеличении расстояния, которое необходимо пройти). Эти эффекты говорят о том, что в основе когнитивной деятельности по обеспечению навигации в меню лежит использование компонента РП, объем хранения которого примерно равняется 3 элементам. Необходимость удержания больших объемов информации (например, при

необходимости навигации на расстояния, превышающие 3 единичных перехода) приводит к резкому снижению эффективности навигации – вероятно, за счет привлечения других компонентов РП. Учитывая выраженный динамический характер навигации и сопровождающей её когнитивной деятельности, следует отметить выраженное сходство свойств компонента РП, лежащего в основе навигации в меню, и описанных выше свойств региона прямого доступа.

Как уже отмечалось, полученные результаты относительно выделения в составе РП региона доступа отражаются в результатах многочисленных исследований объема КВП (см. обзор в Cowen, 2000 и раздел 2.1). В этих исследованиях было показано, что при наложении различных процедурных ограничений на процесс непосредственного запечатления и воспроизведения информации, предупреждающих использование расширенных стратегий переработки информации, объем кратковременного хранилища лежит в пределах 3-5 элементов. Можно предположить, что при использовании указанных процедур, акцентирующих использование ресурсов непосредственного запечатления, исследователи, в первую очередь, оценивают функциональные возможности региона прямого доступа, что приводит к совпадению полученных таким образом оценок объема КВП и предполагаемого объема региона прямого доступа. Функциональные возможности РП как целостной системы хранения информации, включающей иные компоненты помимо региона прямого доступа, должны быть, безусловно, гораздо более широкими.

Исходя из полученных выше результатов, обоснованным представляется и другое предположение о структуре РП - предположение о возможности обособления в составе РП особой единицы, фокуса внимания. Функцией фокуса внимания является удержание одной когнитивной репрезентации, являющейся предметом текущей когнитивной переработки. Согласно одной из метафор (Cowen, 1999), фокус внимания перемещается по множеству удерживаемых в РП элементов, выделяя некоторые из них путем увеличения уровня их активации. В реализации процессов перемещения фокуса внимания и переработки выделенных в фокусе внимания элементов информации центральную роль играют процессы исполнительного контроля внимания, т.е. процессы произвольного управления фокусом внимания (хотя элементы могут «захватывать» фокус внимания и под действием неконтролируемых произвольно автоматических тенденций фокусирования на особенно значимых или ассоциативно сильно активированных элементах). Фокус внимания в некотором смысле является центральным компонентом РП, так как без его участия невозможна целенаправленная переработка релевантной решению актуальных задач информации.

Обоснованность выделения фокуса внимания как самостоятельного компонента РП подтверждается описанными выше феноменами независимости фактора сложности переработки от факторов, влияющих на эффективность хранения информации в РП. Как в исследованиях сложных заданиях на определение объема РП, так и в исследованиях заданий на обновление РП систематически варьировалась объективная сложность когнитивных операций, осуществляемых над оперативно удерживаемыми в РП элементами информации. Согласно сформулированной выше концепции фокуса внимания как локуса когнитивной переработки, осуществление когнитивных операций предполагает перемещения фокуса внимания на соответствующий элемент. К выделенному таким образом элементу впоследствии могут быть применены различные когнитивные трансформации. Одним из центральных результатов настоящей работы является тот факт, что эффекты сложности осуществляемых когнитивных операций не зависят от эффектов факторов, селективно связанных с различными компонентами хранения в составе РП. Таким образом, взаимоотношения фокуса внимания и других компонентов РП, в частности – систем оперативного хранения – достаточно сложны. С одной стороны, все эти компоненты должны взаимодействовать с целью обеспечения возможности выделения тех или иных релевантных элементов фокусом внимания. С другой стороны, факты статистической независимости фактора сложности переработки от факторов, влияющих на эффективность оперативного удержания информации в РП, свидетельствуют о том, что фокус внимания является изолированной от влияния содержащейся в остальных компонентах РП информации. Такая изоляция фокуса внимания хорошо согласуется с его гипотетической ролью локуса когнитивной переработки.

Выделение в структуре РП региона прямого доступа и фокуса внимания согласуется также с полученными выше результатами исследования корреляционных зависимостей между показателями эффективности выполнения разных классов заданий на РП. В этом исследовании были выделены два независимых фактора, описывающих значительную часть дисперсии показателей выполнения заданий на РП. Один из факторов объединяет показатели, на изменчивость которых оказывают особенности хранения информации в регионе прямого доступа. В частности, в указанный фактор входят показатели точности выполнения заданий на РП, связанных с удержанием и активным обновлением небольшого количества информации. Выше (раздел 5.1) отмечалось, что именно показатели точности воспроизведения оперативно удерживаемой информации зависят от функциональных возможностей подсистем хранения в составе РП. В другой фактор входят преимущественно скоростные показатели выполнения заданий на РП, в

частности показатели скорости выполнения нагрузочных заданий из сложных заданий на определение объема РП. Такая селективная зависимость указанного фактора от скоростных показателей позволяют связать его с реализацией функций переработки, т.е. с особенностями функционирования фокуса внимания. Следует отметить, что такое эмпирическое разделение скоростных и точностных показателей выполнения заданий на РП отмечалось в работах других исследователей (Unsworth, Redick, Heitz et al., 2009). В контексте выделения в структуре РП региона прямого доступа и независимого от него фокуса внимания эмпирическое различие скоростных и точностных показателей получает удовлетворительное объяснение.

Полученные результаты подкрепляют богатую исследовательскую традицию изучения фокуса внимания как компонента, определяющего особый статус относящихся к нему репрезентаций. Выше были описаны эксперименты, указывающие на возникновении измеряемых временных затрат при необходимости загрузки нового элемента в фокус внимания (Garavan, 1998). Другой важной исследовательской линией, показывающей возможность особого статуса фокуса внимания в составе РП, являются исследования скорости доступа к элементам информации, хранящейся в РП. В частности, на материале задания n-back было показано (Verhaeghen et al., 2007), что последний элемент, с которым были осуществлены операции обновления, характеризуется значительно более высокой скоростью доступа, чем другие элементы, удерживаемые в РП. Так как последний обновляемый элемент предположительно содержится в фокусе внимания, то подобные результаты свидетельствуют о возможности выделения фокуса внимания как самостоятельной структурной единицы РП со своими функциональными особенностями. Выделение фокуса внимания подтверждается и в исследованиях с применением метода фМРТ (Nee & Jonides, 2011).

Важным дискуссионным вопросом является вопрос об ограничениях объема фокуса внимания и региона прямого доступа. Особенно остро этот вопрос встает для фокуса внимания. Экспериментально-психологическая традиция, начиная с В. Вундта, рассматривает фокус внимания как процесс с ограниченным охватом элементов. С другой стороны, в ряде актуальных исследований выдвигается предположение о том, что в фокусе внимания удерживается единственный элемент. Это вывод согласуется и с результатами приведенных выше исследований. Возникающее противоречие может оказаться только кажущимся, если учесть, что объем фокуса внимания, как и объем региона прямого доступа, может зависеть от степени автоматизации оперативно выполняемых действий по хранению и переработке информации. Зависимость объема

хранения от уровня тренировки показана, например, для фокуса внимания на материале выполнения задания n-back (Verhaeghen et al., 2007). Возможность резкого увеличения объема оперативного хранения в результате тренировки показана и в исследованиях «долговременной рабочей памяти» (Ericsson & Kintsch, 1995).

Кроме того, предполагаемая в концепциях РП как исполнительного внимания и показанная в приведенных выше исследованиях роль неспецифических когнитивных ресурсов внимания в реализации функций РП может проявляться в том, что указанные ресурсы определяют функциональные возможности фокуса внимания и региона прямого доступа. В этом случае для объема этих компонентов РП следует не только ожидать его увеличения при увеличении степени автоматизации (например, вследствие тренировки), но и уменьшения при ограничении количества неспецифических ресурсов. Истощение неспецифических ресурсов возникает в состоянии утомления, при наличии эмоциональных нарушений, а также характеризует когнитивное функционирование в пожилом возрасте (Arnett et al., 1999; Deluca et al., 2004; Carretti et al., 2012; Persson et al., 2007; Shoofs et al., 2009). Следует отметить, что во всех указанных случаях наблюдается снижение объема РП.

Например, хорошо документировано снижение объема РП в состоянии утомления (Persson et al., 2007; Deluca et al., 2004). Обратимое снижение доступности когнитивных ресурсов приводит к обратимому снижению возможностей РП по хранению и переработке информации. Следует отметить, что временное снижение количества доступных ресурсов может возникать и вследствие тренировки исполнительных процессов, что приводит к снижению РП, несмотря на обычно наблюдаемый позитивный эффект тренировки (Persson et al., 2007). Возможно, возникающее с возрастом стойкое снижение доступности когнитивных ресурсов приводит к стойкому снижению объема РП (Carretti et al., 2012). Значительный интерес представляют факты снижения объема РП на фоне негативных эмоциональных состояний (Brose et al., 2012). Можно предположить, что активация негативных эмоций требует привлечения неспецифических ресурсов исполнительного компонента РП для их подавления в целях достижения положительного эмоционального баланса, что приводит к недостатку ресурсов, выделяемых на обеспечение функционирования РП. В этой связи следует отметить, что психологические интервенции, направленные на оптимизацию эмоциональной реакции испытуемых при выполнении когнитивно-сложных задач, требующих использования РП, повышает эффективность их выполнения за счет увеличения объема РП (Autin & Croizet, 2012).

Полученные выше результаты показывают, что в составе РП можно выделить систему хранения, использующую механизмы ДВП («активированная часть ДВП»). Особенностью этой системы хранения является значительный объем потенциально удерживаемой информации, что позволяет человеку решать задачи, предъявляющие значительные требования к количеству перерабатываемой информации. Недостатком указанной системы хранения является её зависимость от негативного воздействия интерференции и возможного распада мнестических следов с течением времени. Возможность выделения такой системы хранения находит обоснование в эффектах взаимодействия интерференции и количества удерживаемой в РП информации, в результатах факторизации показателей эффективности выполнения разных типов заданий на РП, а также в эффектах сниженных функциональных возможностей ДВП у носителей АроЕ-ε4.

Ярким свидетельством использования механизмов ДВП при решении задач оперативного хранения являются обнаруживаемые при выполнении сложных заданий на определение объема РП позиционные эффекты, а также их зависимость от сложности когнитивной переработки. Потребность в использовании механизмов долговременного хранения возникает тогда, когда объем подлежащей удержанию информации превышает объем региона прямого доступа (что справедливо для большинства не лабораторных задач). Увеличение вероятности правильного воспроизведения элементов, предъявленных раньше в оперативно удерживаемой последовательности, говорит о возможном использовании для их хранения особой системы. Также было обнаружено, что этот эффект не зависит от сложности переработки, что подтверждает использование особой системы хранения, функциональные особенности которой отличаются от особенностей КВП.

Выделение в составе РП такого компонента как активированная часть ДВП подтверждается и результатами исследования корреляционных зависимостей между показателями эффективности выполнения заданий на РП. Один из выделяемых факторов объединяет показатели выполнения различных заданий на РП, комбинирующих переработку и хранение значительных объемов информации. По сравнению с факторами, объединяющими показатели точности задания по обновлению небольшого количество элементов и показатели скорости переработки, этот фактор может быть ассоциирован с действием системы хранения значительных объемов информации, отличной от систем кратковременного оперативного хранения. При этом следует отметить, что выводы из

корреляционных исследований не могут, конечно, носить причинного характера, однако позволяют проверять структурно-функциональные гипотезы.

Выделение в составе РП отдельного компонента, использующего механизмы долговременного хранения, также проявляется в результатах исследований особенностей оперативного запоминания у лиц – носителей генотипа АРОЕ-4. Характерные для этой популяции нарушения ДВП затрудняют использование её механизмов для оперативного хранения информации. Изучение носителей генотипа АРОЕ-4 представляет значительный интерес при изучении структуры РП и соотношения её различных компонентов. Результаты проведенных исследований – в частности, исследование зависимостей между объемом РП и эффективностью произвольного торможения показывают, что для носителей АРОЕ-4 характерны функциональные взаимосвязи в системе РП и исполнительных функций в целом, отличные от наблюдаемых у носителей других генотипов. При этом собственно объем РП не характеризуется у носителей генотипа АРОЕ-4 теми или иными отличиями, хотя, очевидно, полная реализация возможностей РП обеспечивается в этом случае за счет иной функциональной организации оперативного хранения и переработки информации. Невозможность использовать ДВП для поддержки оперативного хранения приводит к изменению структуры РП у носителей АРОЕ-4, в то время как у носителей других генотипов ДВП активно включается в реализацию функций РП.

Участие системы хранения, опирающейся на механизмы ДВП при реализации функций оперативного хранения подтверждается и данными нейрофизиологических и нейропсихологических исследований (Chein et al., 2011; Faraco et al., 2012; Ranganath & Blumenfeld, 2005; Yonelinas, 2015). Например, Ranganath & Blumenfeld (2005) показывают на основе нейропсихологических данных, что при выполнении заданий на РП используются отделы височной коры, и, в частности структуры гиппокампа. Участие гиппокампа и других структур, обычно ассоциируемых с реализацией функций ДВП – например, цингулярной коры, в выполнении сложных заданий на определение объема РП показано в работе Faraco et al. (2012) с привлечением методов фМРТ. В работе Chein et al. (2011) также показана активация медиальной височных отделов коры при извлечении информации из РП. Учитывая ведущую роль медиальных височных отделов коры и гиппокампа в реализации функций ДВП, эти результаты являются ярким свидетельством в пользу участия механизмов долговременного хранения в функционировании РП.

Предложенная в актуальной литературе концентрическая модель структуры РП (Engle, 2002, Cowan, 1999, 2008; Oberauer, 2002, 2005) является значительным теоретическим шагом вперед по сравнению с классическими недифференцированными моделями РП (Аткинсон, 1980; Pascual-Leone, 1970). В целом, указанные представления о структуре РП находят хорошее подтверждение в результатах описанного выше исследования факторной структуры показателей эффективности выполнения основных классов заданий на РП. В ходе построения серии структурных моделей было показано, что трехфакторная модель наилучшим образом согласуется с имеющимися эмпирическими данными. В частности, степень согласованности с данными для трехфакторной модели была значительно выше степени соответствия однофакторной модели, за которой стоят представления о недифференцированной РП. Нагрузки отдельных показателей по факторам гетерогенной модели позволяют различать факторы, связанные с фокусом внимания, регионом прямого доступа и активированной частью ДВП. Важно, что указанная модель выявляет тонкие взаимодействия между компонентами РП, выделяя корреляцию региона прямого доступа и активированной части ДВП, с одной стороны, и указывая на независимость фокуса внимания, с другой стороны. Подобная структура РП хорошо соответствует формирующимся сегодня представлениям о функциональной организации РП и может служить свидетельством того, что функции РП обеспечиваются сложной согласованной активностью нескольких компонентов с различными функциональными возможностями.

Описание функциональной структуры РП не будет полным без понимания её адаптационного смысла. Представляется, что трехкомпонентная структура РП является адаптивной в том смысле, что она позволяет разрешить одну из центральных дилемм организации поведения и переработки информации в сложном динамическом мире. С одной стороны, организм, действующий в такой среде на основе переработки когнитивных репрезентаций, должен выбирать цели и информационные элементы, сужая пространство возможных альтернатив с целью оптимизации использования ограниченных когнитивных ресурсов. Крайним и оптимальным случаем в этой связи является фокусировка переработки на единственном информационном элементе (и организация поведения вокруг единственной цели). С другой стороны, в условиях значительной неопределенности, характерной для взаимодействия со сложной динамической средой, адаптивным является и максимальное расширение поля альтернатив, в котором реализуется когнитивная и поведенческая активность. Учет максимального количества информационных элементов, конструирование и параллельное отслеживание

максимального количества поведенческих альтернатив, сохранение максимального количества промежуточных результатов (с возможностью возврата к предыдущим этапам решения задачи) позволяет гибко реагировать на непредсказуемые изменения ситуации и увеличивать вероятность нахождения оптимальных адаптационных решений. Таким образом, адаптивной является не только тенденция к «сужению» «пространства переработки», но и тенденция к его «расширению». Эти тенденции, очевидно, противоречат друг друга, и их разрешение требует наличия специального психологического механизма.

Трехкомпонентная структура РП позволяет реализовать подобный психологический механизм на основе принципа нахождения динамического баланса между обеими противоречащими тенденциями. «Захват» перерабатываемого элемента фокусом внимания и относительная независимость фокуса внимания от других компонентов РП позволяет в полной мере реализовать тенденцию «сужения» «пространства переработки», выстраивая когнитивную деятельность в одной плоскости относительно разнообразных информационных альтернатив. Регион прямого доступа обеспечивает гибкость такому подходу, удерживая в состоянии полной активации те репрезентации, которые являются максимально вероятными альтернативами, могущими определять переработку в ближайшем будущем. Хранение большого количества менее вероятных альтернатив осуществляется с помощью механизмов активированной части ДВП, большой объем хранения которой позволяет также реализовать тенденцию «расширения» «пространства переработки». Таким образом, две конкурирующие тенденции находятся в динамическом равновесии и, в зависимости от требований ситуации, этот баланс может быть смещен в любую сторону. Гипотетическим механизмом такого смещения баланса является динамический обмен информацией между компонентами РП.

Важным открытым вопросом является вопрос о природе и причинах функциональных ограничений фокуса региона прямого доступа. В свете полученных выше результатов, а также на основе литературных данных можно предположить, что причиной этих ограничения являются ограничения ресурсов сознательного контроля, которые должны быть задействованы для поддержания «особого активационного состояния» когнитивных репрезентаций, относящихся к региону прямого доступа. Как именно возникают конкретные ограничения региона по типу магического числа «4 плюс-минус 1», остается пока не выясненным. Возможным объяснением эмпирически наблюдаемых ограничений объема региона прямого доступа являются

нейрофизиологические принципы репрезентации стимулов в мозговом субстрате (Cowen, 2000). Согласно этому объяснению, репрезентации стимулов формируются путем связывания их признаков на основе синхронизации мозговой активности. Фундаментальные ограничения количества одновременно репрезентируемых объектов зависит от отношения медленных (тета-ритм) и быстрых (гамма-ритм) ритмов мозга (Lisman & Idiart, 1995). Исследования индивидуальных различий в осцилляторной активности позволяют предположить существование фундаментального ограничения количества одновременно сознательно представляемых элементов между 4 и 6 (Лебедев, 1985; Miltner et al., 1999). К подобному выводу приходят и Halford et al. (1998), анализируя максимальную сложность объектных отношений, которую способны перерабатывать испытуемые. Таким образом, ограничения региона прямого доступа представляются связанными с ограничениями ресурсов сознательного представления объектов, что говорит о тесной связи РП и сознания (Baddeley, 1992; Hassin et al., 2009; Soto & Silvanto, 2014).

В этой связи следует отметить возможную связь региона прямого доступа и фокуса внимания с сознанием, а ДВП (включая её активированную часть) – с когнитивным бессознательным (Аллахвердов, 2003, 2005, Аллахвердов и др., 2008). Выделение уровня сознательно управляемых процессов и уровня (когнитивных) автоматизмов является сегодня распространенным «общим местом» различных моделей иерархической/гетерархической организации познания (Б.М. Величковский, 1990, 1999; 2006; Карпов, 2005). Представленные нами данные хорошо укладываются в концепцию такого разделения. При этом особое место следует отвести процессам внутреннего внимания, определяющих, какая информация из «когнитивного бессознательного» (Агафонов, 2006, 2011; Аллахвердов, 2003; Аллахвердов и др., 2008) будет отобрана для сознательного отражения. Связь РП с сознанием может опосредоваться языковыми механизмами наложения концептуально-семантической организации на удерживаемые в РП когнитивные репрезентации (Гидлевский, 2015; Петренко, 1988; 2010; Попова, Курочкина, 2015).

Сформулированные выше представления о многоуровневой организации хранения и переработки в РП созвучны представлениям о системной организации психики, развиваемым в системном подходе (Анохин, 1970, 1979; Ломов, 1975, 1984, 1996; Барабанщиков, 2007; Барабанщиков, Носуленко, 2004; Карпов, 2004; Александров, 2009). РП как интегративный компонент психики выступает в виде части целостной системы регуляции когнитивной деятельности, реализующий оперативное хранение и

трансформацию когнитивных репрезентаций в целях решения актуальных для человека задач. В соответствии с положениями системного подхода, функционирование РП полидетерминировано, имеет уровневую организацию и встроено в функционирование психики как целого. При этом РП как подсистема психики испытывает влияние физического, биологического и социо-культурного контекста. В перспективе системного подхода РП можно рассматривать как функциональную систему (Бочарова, 1981; Шадриков, Черемошкина, 1990), системообразующим фактором которой является решение актуально стоящей перед человеком когнитивной задачи (Анохин, 1973).

## **6.2. Обмен информацией между компонентами рабочей памяти**

Наличие в составе РП нескольких компонентов ставит ряд вопросов о том, как эти компоненты взаимодействуют между собой. В частности, малоизученным остается вопрос о характере обмена информацией между компонентами РП. Как позволяют предполагать полученные выше результаты, а также результаты, приводимые в литературе, закономерности выполнения заданий на обновление РП говорят о существовании специализированных процессов обмена информацией между фокусом внимания и регионом прямого доступа. Также в целях поддержки задач оперативного доступа к информации может происходить её обмен между регионом прямого доступа и активированной частью ДВП. Это происходит в тех случаях, когда объем подлежащей оперативному удержанию информации превышает объем региона прямого доступа. Такая гибкая система трансфера информации между компонентами РП обеспечивает переработку актуально релевантной информации даже в условиях выраженной ограниченности объема непосредственного хранения. Таким образом, обеспечивается разрешение «дилеммы хранения», описанной в предыдущем разделе.

Перемещения информации между фокусом внимания и регионом прямого доступа эмпирически обоснованы в наименьшей степени. Концептуально, однако, процессы трансфера информации между этими компонентами РП (и, шире, их взаимодействие) представляются логически необходимым в той мере, в какой принимается трехкомпонентная модель РП. Определение фокуса внимания как компонента РП, обеспечивающего удержание и переработку репрезентации, являющейся объектом текущей когнитивной активности, предполагает, что эта репрезентация должны быть «выбрана» из набора релевантных текущей когнитивной активности альтернатив. Этот набор должен быть небольшим по объему, так как в противном случае - в условиях имеющихся ограничений скорости когнитивных операций – она занимала бы слишком

значительный промежуток времени. Такое замедление когнитивной переработки, очевидно, снижало бы адаптивную ценность использования трансформируемых когнитивных репрезентаций для прогноза последствий поведения и его осуществления. Поэтому трансфер информации в направлении из региона прямого доступа в фокус внимания представляется тем способом взаимодействия фокуса внимания с остальными компонентами РП, который действует «по умолчанию».

Основным эмпирическим свидетельством в пользу выбора содержимого фокуса внимания из репрезентаций в регионе прямого доступа являются сегодня эффекты «переключения объектов», проявляющиеся в зависимости скорости выбора репрезентации в фокус внимания от количества элементов в регионе прямого доступа (Величковский, Никонова, Румянцев, 2015; Garavan, 1998; Oberauer, 2002; см. раздел 1.1). В настоящей работе было предположено, что элементы в фокус внимания могут выбираться из региона прямого доступа. Так, выраженной особенностью выполнения задания n-back является проявляющееся иногда взаимодействие сложности выполняемых в фокусе внимания операций обновления и нагрузки на РП. Такое взаимодействие не характерно для других рассмотренных классов заданий (см. разделы 5.1 и 5.2). Выше отмечалось, что это связано с необходимостью выполнения сканирования массива удерживаемых в РП элементов при выполнении операций обновления РП в контексте этого задания. Учитывая количество удерживаемых элементов (1-3), следует предположить, что для их хранения используется регион прямого доступа. В связи с этим представляется, что взаимодействие факторов сложности переработки и нагрузки на РП при выполнении задания n-back свидетельствует о существовании специализированного механизма «загрузки» оперативно удерживаемых репрезентаций из региона прямого доступа в фокус внимания. Такой же вывод позволяет сделать результат относительно взаимодействия сложности переработки и длительности отсрочки при выполнении задания на обновление счетчиков. При относительно короткой длительности хранения, удерживаемые элементы с высокой вероятностью хранятся в регионе прямого доступа и их извлечение связано с изменением скорости и точности операции обновления.

Позиционные эффекты при выполнении заданий на РП (раздел 4.4) также свидетельствуют в существовании механизма селекции информации в фокус внимания из региона прямого доступа. Обнаруженные выше эффекты недавности свидетельствуют о том, что при извлечении информации из РП используются качественно различные механизмы. Один механизм связан с непосредственным извлечением удерживаемых элементов из региона прямого доступа (путем загрузки в фокус внимания), а другой

механизм связан с извлечением удерживаемых элементов из активированной части ДВП (вероятно, с использованием «промежуточной» загрузки информации в регион прямого доступа). Объем фокуса внимания представляется в этом случае равным единственному элементу, что – наряду с ограничениями объема региона прямого доступа – определяет необходимость использования указанной двух-уровневой стратегии извлечения удерживаемых в РП элементов.

В связи с вопросом об особенностях взаимодействия фокуса внимания и региона прямого доступа интерес представляют результаты (раздел 5.5.3) о корреляции между показателями эффективности выполнения различных классов заданий на РП. Можно видеть, что показатели скорости выполнения заданий на обновление РП положительно коррелируют с показателями сложного объема РП (такими как объем чтения). Наличие таких корреляций в целом выходит за рамки основного результата, согласно которому показатели эффективности выполнения сложных заданий на определение объема РП и заданий на обновление относятся к независимым факторам. Однако они свидетельствуют о том, что особенности переключения фокуса внимания могут быть связаны с особенностями хранения информации в различных компонентах РП, в том числе – в регионе прямого доступа. Скорость выполнения операции обновления связана со скоростью извлечения информации из региона прямого доступа (в силу необходимости сканирования региона прямого доступа при выполнении заданий этого типа), что приводит к возникновению зависимости скоростных показателей обновления от показателей объема оперативного хранения при выполнении заданий, требующих привлечения ресурсов РП в полном объеме. В целом, полученные результаты подтверждают предположение о существовании механизма извлечения информации из региона прямого доступа в фокус внимания, поддерживающего оперативную переработку информации на основе РП.

Самостоятельной проблемой является проблема взаимодействия фокуса внимания и активированной части ДВП. Источником репрезентаций для селекции в фокус внимания не является, предположительно, только регион прямого доступа. Информация в фокус внимания может отбираться также из репрезентаций, относящихся к активированной части ДВП. Для этого в дополнение к механизму селекции репрезентаций из региона прямого доступа должен существовать механизм, позволяющий фокусу внимания произвольно перемещаться между репрезентациями, активированными в ДВП. Комбинация этих механизмов может обеспечить своевременный доступ к любой информации, необходимой для оперативного решения стоящих перед человеком задач,

даже если эта информация не рассматривалась ранее в качестве особо релевантной и не была заблаговременно загружена в регион прямого доступа.

Возможным механизмом доступа к репрезентациям в активированной части ДВП является их целенаправленная активация до порогового уровня. Это означает, что состояния активации должны иметь не только количественную, но и качественную характеристику: должны различаться активированные и «сверх-активированная» репрезентация, т.е. репрезентация, относящаяся к фокусу внимания. Промежуточное, но качественно особое положение с точки зрения уровня активации должны занимать репрезентации, относящиеся к региону прямого доступа. Таким образом, в РП должна иметь место иерархия репрезентационных состояний, определяющая особенности хранения репрезентаций и возможности их использования в целях текущей переработки. Возможность существования различных активационных состояний репрезентаций в РП показана сегодня на нейрофизиологическом уровне (McErlee & Doshier, 1989; Lepsien & Nobre, 2007; LaRocque et al., 2014). Например, в работе LaRocque et al. (2014) рассматриваются результаты исследований мозговой активности при кратковременном удержании информации, проведенных методом мнестических проб, методом ретро-ключей и методам анализа активности в период удержания. При этом делается вывод о существовании двух активационных (или, в терминологии авторов, «репрезентационных») состояний, позволяющих различать оперативное хранение в фокусе внимания и вне фокуса внимания. Различение репрезентационных состояний, характерных для фокуса внимания и региона прямого доступа остается, по-видимому, делом будущего.

В связи с рассмотрением вопроса о возможности «загрузки» репрезентаций из ДВП в фокус внимания возникает вопрос о механизмах поиска соответствующих репрезентаций. Фундаментальным результатом для поиска в КВП является обнаружение его последовательного исчерпывающего характера (Sternberg, 1969). Элементы в КВП просматриваются один за другим, причем поиск не останавливается, даже если искомый элемент найден. Перенос этого результата на РП представляет значительные трудности. С одной стороны, последовательный исчерпывающий поиск может быть характерен исключительно для региона прямого доступа. В частности, Zhang & Verhaeghen (2011) изучили распределение времени реакции при доступе к информации разных модальностей и разной степени абстрактности, обнаружив, что полученные результаты лучше всего согласуются с моделью РП, в которой при поиске в памяти осуществляется последовательный просмотр 3-5 «ячеек» с постоянной скоростью. Verhaeghen et al. (2007)

показали на материале выполнения задания n-back, что переключение между оперативно удерживаемыми элементами в фокусе внимания также осуществляется последовательно, с постоянной скоростью (фокус внимания в этом исследовании понимался в широком смысле как структура, охватывающая несколько максимально активированных элементов РП). Учитывая типичные ограничения объема региона прямого доступа и гораздо более широкие возможности РП в целом, следует отметить, что эти результаты представляются имеющими отношение к особенностям поиска в регионе прямого доступа (Donkin & Nosofsky, 2012).

С другой стороны, для активированной части ДВП могут быть справедливыми другие принципы поиска и активации информации. Следует отметить, что – в отличие от КВП и РП – основной формой поиска для ДВП общепринято считать параллельный поиск (Rickard & Vajic, 2004). Само количество репрезентаций, удержание которых возможно в активированной части ДВП, заставляет предположить, что последовательная стратегия определения релевантных репрезентаций не может обеспечивать достаточную эффективность в условиях оперативной переработки информации. Систематический просмотр фиксированного количества «ячеек» в случае поиска в активированной части ДВП маловероятен в силу того, что в этом компоненте РП не может быть фиксированного количества «ячеек». Более эффективным представляется использование параллельного поиска или различных комбинаций последовательного и параллельного поиска. В подтверждение этого вывода можно привести результаты Verhaeghen et al. (2007). Они свидетельствуют о том, что для элементов вне фокуса внимания и региона прямого доступа характерен последовательный самооканчивающийся поиск и высказывается предположение, что сам процесс поиска (т.е. выбора релевантного задаче элемента в фокус внимания) в памяти подобен процессу зрительного поиска и управляется подобными механизмами. В частности, необходимая доля «параллельности» поиска может обеспечиваться за счет параллельного анализа «карт активации» репрезентаций, подобных картам активации признаков в теории интеграции признаков (Treisman & Gelade, 1980). Такой анализ может обеспечивать скоростную пре-селекцию репрезентаций с высоким уровнем активации. Для зрительной РП уже сегодня выдвигаются реализующие схожие представления модели двухуровневого поиска, в которых быстрая, параллельная пре-селекция элементов относительно их новизны сопровождается последовательным сравнением образца с репрезентациями в РП (Gilchrist & Cowen, 2014).

Возможная связь механизмов поиска в РП и механизмов пространственного внимания представляет значительный теоретический интерес, так как она вскрывает

особенности генезиса поиска в памяти, обуславливая эту деятельность во внутреннем плане деятельностью во внешнем плане. Представляется возможным, что поиск и селекция элементов информации в РП обеспечивается механизмами выбора и селекции информации объектов в поле зрения. В этой связи можно представить, что перцептивное поле объединяется с «внутренним пространством» за счет использования единого механизма доступа как к внешним, так и к ментальным объектам. Работа с информацией «во внутреннем плане» может развиваться эволюционно из работы с объектами во внешнем плане. Такой подход созвучен деятельностному подходу к мнестическим феноменам. Кроме того, он созвучен и бурно развивающейся в последние годы концепции «заземленного познания» (*embodied cognition*, Barsalou, 2008; Wilson & Golonka, 2013). В рамках этого подхода познавательные функции представляются обусловленными соматическими процессами и особенностями взаимодействий с объектами внешней среды. Представляется, что такое обусловливание определяется родством механизмов, используемых для поддержки познавательной и внешней деятельности.

Тесная зависимость РП и внимания проявляется в различных эффектах. Одним из таких эффектов является реактивация оперативно удерживаемых в зрительно-пространственной РП элементов за счет перемещения фокуса пространственного внимания. Согласно этим представлениям, скрытое перемещение внимания лежат в основе удержания элементов в РП. Smyth & Scholey (1994) впервые показали, что эффективность удержания информации в зрительно-пространственной РП резко снижается, если задача на РП выполняется одновременно с интерферирующей задачей, отвлекающей внимание от удерживаемого в РП местоположения. Awh et al. (1998) также показали, что более простая интерферирующая задача, отвлекающая внимание от оперативно хранимого местоположения, приводит к снижению эффективности запоминания, в отличие от более сложной интерферирующей задачи, которая не связана с перемещениями внимания. Таким образом, контролируемые перемещения внимания в ментальном пространстве, изоморфном перцептивному пространству – основа оперативного удержания информации в зрительно-пространственной РП.

Извлечение информации из РП также может основываться на механизмах пространственного внимания. Theeuwes et al. (2011) показывают, что скорость извлечения информации из зрительно-пространственной РП резко увеличивается, если местоположение пробы на извлечение совпадает с удерживаемым местоположением хранимого в РП элемента. Таким образом, предварительная ориентация внимания на удерживаемое местоположением репрезентации в РП облегчает внимание – эффект,

родственный эффекту экзогенных подсказок в экспериментах М. Познера. И в том, и в другом случае предварительная ориентация внимания повышает эффективность переработки, что говорит об участии процессов пространственного внимания в выполнении соответствующих задач. Роль пространственного внимания прослеживается и для извлечения информации из вербальной РП, если вербальная информация является упорядоченной. В этом случае наблюдается, что при извлечении элементов с более высокими порядковыми номерами наблюдается выраженное смещение пространственного внимания в сторону по сравнению с извлечением элементов с более низкими порядковыми номерами (van Dijk et al., 2013). Таким образом, пространственное внимание и РП оказываются тесно связанными, даже для непространственных элементов.

Особую роль при взаимодействии фокуса внимания и других компонентов РП могут играть ресурсы сознательного контроля внимания. При взаимодействии фокуса внимания и региона прямого доступа ресурсы внимания могут обеспечивать переключение фокуса внимания между репрезентациями из региона прямого доступа, а также устойчивое хранение информации в регионе прямого доступа. Зависимость возможности переключения фокуса внимания между репрезентациями региона прямого доступа от наличия ресурсов внимания является гипотезой, проверка которой остается делом будущего. Однако подтверждение этой гипотезы позволит выявить конкретные механизмы перемещения фокуса внимания в целях оперативного использования информации в регионе прямого доступа. При взаимодействии фокуса внимания и активированной части ДВП вероятная роль ресурсов внимания заключается в подавлении выбора иррелевантных репрезентаций в фокус внимания в ходе поиска в активированной части ДВП информации, необходимой для решения актуальной задачи. При этом следует исходить из предположения, что такое подавление иррелевантных репрезентаций является ресурсно-затратным, в силу чего его эффективность зависит от уровня наличия ресурсов внимания. Также можно предположить, что ресурсное обеспечение необходимо для перемещения фокуса внимания между репрезентациями в активированной части ДВП. Таким образом, для успешного взаимодействия фокуса внимания вероятной представляется необходимость наличия достаточных когнитивных ресурсов.

В связи с вопросом о месте фокуса внимания и ресурсов внимания в структуре РП и их роли в обеспечении взаимодействия компонентов РП следует отметить, что использование фокуса внимания является целенаправленным и предполагает существование системы механизмов управления вниманием. Задачей таких механизмов является произвольная концентрация внимания на релевантных для решения текущих

задач репрезентациях в тех или иных компонентах РП, а также активное подавление тенденций к концентрации внимания на иррелевантных репрезентациях, которые также могут быть представлены в РП. Таким образом, в соответствии как с моделью А. Бэддели, так и с концепцией РП как управляемого внимания (Engle, 2002), в состав РП должен входить компонент («исполнительный компонент» или «центральный исполнитель»), обеспечивающий произвольное перемещение фокуса внимания по репрезентациям РП согласно требованиям текущих задач. Следует отметить, что результаты приведенных выше исследований не позволяют свести РП только к её исполнительному компоненту (такая опасность возникает при слишком узком толковании концепции РП как исполнительного внимания). Исполнительный компонент выполняет в РП вспомогательные функции, обеспечивая своевременную активацию релевантной информации в условиях наличия внешних и внутренних дистракторов.

Взаимодействие компонентов РП на основе механизмов произвольного управления вниманием не исключает того, что выбор репрезентаций в фокус внимания может осуществляться посредством автоматических механизмов «захвата фокуса внимания» репрезентациями с высоким уровнем активации. Представляется, что такие мнестические автоматизмы играют большую роль в повседневном функционировании РП. За счет подобных механизмов может осуществляться исключительно гибкое целесообразное переключения фокуса внимания между репрезентациями РП без привлечения ресурсно-затратных механизмов произвольного управления вниманием. В основе такого автоматического модуса функционирования РП лежат не только упомянутые выше механизмы «захвата внимания» (еще раз отметим, что речь идет о внутреннем, «интеллектуальном» внимании), но и механизмы ассоциативного распространения активации между репрезентациями РП и ДВП. Активация определенных репрезентаций в РП автоматически приводит к активации ассоциативно (особенно семантически) связанных репрезентаций, что приводит к повышению вероятности их выбора в фокус внимания и определения ими результатов текущей когнитивной переработки. В частности, в основе особых возможностей когнитивной переработки и принятия решений у людей – специалистов в определенной предметной области – может лежать не столько увеличенный объем РП, сколько разветвленная сеть ассоциативных связей, позволяющая эффективно активировать значительные объемы информации в процессе её переработки даже в условиях ограниченного объема РП.

Представляется, что мнестические автоматизмы РП особенно актуальны как механизм активации релевантной информации в активированной части ДВП, в то время

как регион прямого доступа преимущественно обеспечивает произвольную активацию и удержание репрезентаций на основе механизма управления вниманием. Следует отметить, что автоматическое распространение активации и «захват» фокуса внимания могут приводить к неправомерному попаданию иррелевантных для решения текущих задач репрезентаций в фокус внимания. Поэтому функционирование РП зависит от оптимального баланса автоматических и произвольных процессов взаимодействия компонентов РП, который может изменяться не только межиндивидуально, но и внутрииндивидуально в зависимости от особенностей решаемой задачи и контекста её решения. В частности, успешность активации и оперативного использования релевантных репрезентаций в РП может зависеть от изменяющегося баланса процессов автоматического захвата фокуса внимания и процессов произвольного подавления. Конкретное соотношение произвольных и автоматических механизмов РП является, поэтому, переменным и может быть представлено как один из параметров когнитивного контроля (Lorist et al., 2005).

Особого внимания заслуживает вопрос о взаимодействии региона прямого доступа и активированной части ДВП. Такое взаимодействие может проявляться в двух разнонаправленных схемах обмена данными. С одной стороны, репрезентации могут «загружаться» в регион прямого доступа с целью оптимизации процессов актуализации релевантной для решения текущей задачи информации. Функция региона прямого доступа заключается не столько в том, чтобы удерживать несколько репрезентаций в особом активационном состоянии, обеспечивающим им высокую скорость попадания в фокус внимания. Более верно утверждение, что в регионе прямого доступа удерживаются репрезентации, которые являются наиболее вероятными кандидатами на активацию с учетом ближайшего временного контекста решения текущей задачи. В этой связи механизмы взаимодействия региона прямого доступа и активированной части ДВП предполагают не только перемещение актуально релевантных репрезентаций в регион прямого доступа в случаях, когда ход решения задачи делает это необходимым. Они также предполагают проактивный поиск репрезентаций, релевантных в ближайшей временной перспективе, и их заблаговременную «загрузку» в регион прямого доступа. С помощью механизмов этого типа может быть обеспечена бесперебойная активация релевантной информации, позволяющая решать задачи на основе когнитивной переработки с учетом имеющихся временных ограничений.

С другой стороны, потерявшая актуальность информация должны «выгружаться» из региона прямого доступа. Это прямое следствие ограниченности объема региона

прямого доступа и его функции как компонента для хранения наиболее релевантных для решения актуальной задачи репрезентаций. Учитывая, что релевантность репрезентации при решении любой нетривиальной задачи носит вероятностный характер, представляется обоснованным, что оптимальным компонентом для «выгрузки» информации из региона прямого доступа является активированная часть ДВП. В этом компоненте, не имеющим структурных ограничений объема хранения, выгруженные репрезентации могут удерживаться в пред-активированном состоянии в течение некоторого времени. При необходимости они могут быть снова перемещены в регион прямого доступа с минимальными затратами. Такая «выгрузка» репрезентаций из региона прямого доступа в активированную часть ДВП тем более актуальна в тех случаях, когда объем хранения региона прямого доступа меньше объема подлежащей оперативному удержанию информации. В этой ситуации перемещение части информации из региона прямого доступа в активированную часть ДВП представляет собой единственную возможность решить задачу оперативного хранения в условиях имеющихся функциональных ограничений РП. Эмпирические свидетельства в пользу существования процессов «выгрузки» информации из региона прямого доступа были получены в данной работе при анализе особенностей выполнения сложных заданий на определение объема РП и особенностей выполнения заданий на РП носителями генотипа АРОЕ-4.

В целом следует отметить, что взаимодействие региона прямого доступа и активированной части ДВП подчиняется принципу целесообразной оптимизации активационного состояния отдельных репрезентаций РП в соответствии с их вероятной значимостью для решения текущей задачи. Более релевантные репрезентации имеют тенденцию к тому, чтобы быть перемещенными в регион прямого доступа. Наоборот, менее релевантные репрезентации имеют тенденцию к тому, чтобы быть перемещенными в активированную часть ДВП. Существуют эмпирические свидетельства того, что особенности хранения информации в РП действительно зависят от её релевантности для актуально решаемой задачи (Gunselli et al., 2015; Zokaeli et al., 2014). В проведенных в рамках настоящей работы исследованиях также получены свидетельства в пользу существования динамического обмена информацией между регионом прямого доступа и активированной частью ДВП в целях оптимизации активационного состояния удерживаемой информации. В частности, в этом смысле можно интерпретировать факты перемещения наиболее релевантных значений счетчиков из активированной части ДВП в регион прямого доступа (с замещением менее релевантных значений счетчиков) при выполнении задания на обновление счетчиков (раздел 4.2.5). Как показывают полученные

результаты, при решении динамических задач фиксированное распределение оперативно удерживаемой информации по компонентам хранения РП не обязательно.

В проведенных нами исследованиях было обнаружено, что факторы, соответствующие региону прямого доступа и активированной части ДВП, не являются полностью независимыми, а коррелируют между собой. Такая корреляция может отражать наличие механизмов обмена информацией между этими компонентами РП (раздел 5.2.4). В целом на материале различных заданий на РП нами было обнаружено, что активно используемые элементы РП предположительно находятся в регионе прямого доступа, что подтверждает представления об адаптивном характере распределения информации по подсистемам хранения в РП. Адаптивный характер распределения информации в РП отчетливо проявляется в результатах выполнения задания на навигацию в мобильном меню (раздел 5.5), для которого характерно удержание ключевой информации (траектория движения из начальной точки) в регионе прямого доступа. Кроме того, исследование влияния особенностей когнитивного контроля на реализацию функций РП (см. раздел 5.3) говорит о многочисленных связях показателей эффективности выполнения задания на РП (задания n-back) и показателей эффективности переключения и произвольного подавления интерференции. Такие зависимости свидетельствуют о важной роли процессов переключения фокуса внимания между репрезентациями РП и торможения irrelevantных репрезентаций в ходе поиска информации в компонентах РП при её использовании для решения даже простых задач. В целом следует отметить, что данное исследование подтверждает сделанный выше вывод об обеспечении функций РП активностью исполнительного компонента, реализующего функции контроля внимания. Схема процессов обмена информацией между компонентами РП представлена на рис. 32.

Проведенное выше обсуждение проблемы «трансфера информации» (рис. 32) между компонентами РП не означает, что при взаимодействии компонентов РП происходит то или иное «перемещение» информации. Понятие «трансфера информации» является метафорой, на психологическом уровне реализуемой, например, путем особой маркировки репрезентации, относящейся к фокусу внимания. Понятие трансфера информации означает лишь, что компоненты РП могут получать доступ к оперативно хранимой информации путем взаимодействия друг с другом через систему специализированных интерфейсов.

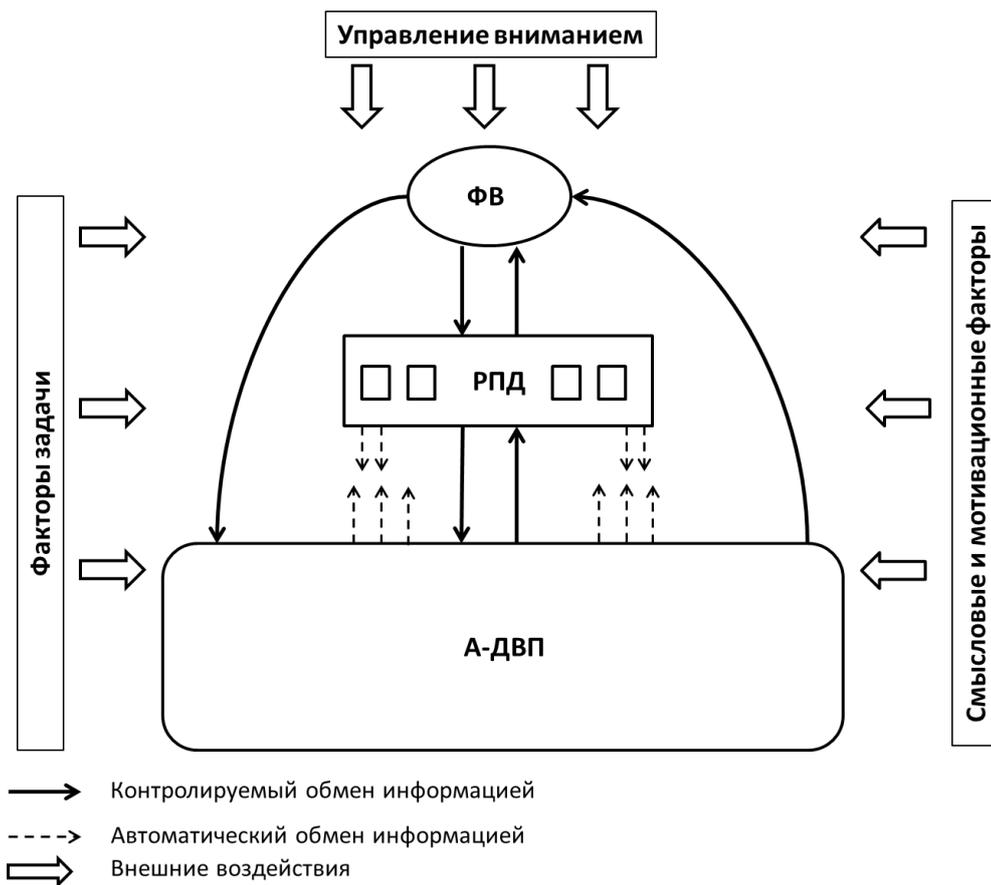


Рис. 32. Схема процессов обмена информацией между компонентами РП (ФВ – фокус внимания, РПД – регион прямого доступа, А-ДВП – активированная часть долговременной памяти).

Возможность трансфера информации между компонентами РП не должна также скрывать тот факт, что «очищение» компонентов РП от ставшей нерелевантной информации может осуществляться не только за счет снижения её активационного статуса, но и за счет её прямого «удаления» из РП. Существование подобного процесса (и даже системы процессов) в РП представляется критически важным, так как активированные, но иррелевантные репрезентации могут оказывать влияние на текущую переработку информации (см. эффект «предыдущей пробы», Monsell, 1978). Это может быть связано, например, с автоматическим «захватом» ими фокуса внимания. Удаление информации из РП позволяет освободить ресурсы РП для удержания релевантной информации и её переработки. В исследовании Ecker et al. (2013) на материале заданий на обновление РП было показано, удаление информации из РП является отдельным процессом РП, входящим в качестве компонентного процесса в процесс обновления элементов РП. Fawcett & Taylor (2012) также показали, что при маркировке элемента

информации, содержащегося в РП, как иррелевантного, он может быть удален из РП, причем процесс удаления требует привлечения неспецифических когнитивных ресурсов. Таким образом, под удалением можно иметь в виду активный процесс РП, позволяющий селективно подавлять репрезентации РП, активация которых не соответствует контексту текущей переработки информации. Вопрос о том, действует ли этот процесс как в регионе прямого доступа, так и активированной части ДВП, или же удаляемые элементы должны сначала быть выгружены в одни из этих компонентов, остается важным открытым вопросом, еще ждущими исследования.

### **6.3. Особенности переработки информации в рабочей памяти и роль неспецифических ресурсов**

Переработка информации представляет собой важный аспект функционирования РП. Реализация функций переработки информации в РП опирается на сложные взаимодействия автоматических и сознательно контролируемых процессов. В ходе переработки информации выполняются последовательности элементарных операций, приводящих к целенаправленным трансформациям когнитивных репрезентаций, подчиненным решению актуально стоящих перед человеком задач. Особую роль при переработке информации в РП играют трансформационные стратегии, связанные с образованием интегрированных единиц информации на основе использования структур знаний, хранящихся в ДВП. Использование механизмов переработки информации позволяет РП выступать в качестве функциональной единицы когнитивной архитектуры, играющей определяющую роль в решении сложных задач в реальных условиях.

Важная роль процессов переработки информации в функционировании РП подтверждается и результатами конфирматорного факторного анализа (раздел 5.2) показателей эффективности выполнения заданий на РП. Оптимально соответствующей эмпирическим данным оказалась трехфакторная структура показателей РП, причем два фактора соответствовали функции хранения информации, а один фактор – функции переработки. Кроме того, факторы соответствовавшие функции хранения, оказались коррелирующими, а корреляций этих факторов с фактором, соответствовавшим функции переработки, обнаружено не было. Таким образом, можно считать эмпирически подтвержденным, что РП реализует и функции хранения, и функции переработки информации. Такое функциональное значение РП и определяет её центральное место в системе когнитивных процессов у человека.

Следует отметить особый характер результатов, полученный при подгонке однофакторной модели структуры показателей РП. Хотя эта модель плохо соответствовала эмпирическим данным, показатели эффективности всех заданий на РП были нагружены по этому фактору. Таким образом, для всех заданий, предположительно задействующих систему процессов РП, характерно что-то общее, т.е. полученный фактор можно было бы обозначить как «фактор РП». Кроме того, максимальную нагрузку по данному фактору получает показатель объема оценки четности. Этот показатель измеряется как объем РП в задании, сочетающим кратковременное удержание небольшого объема информации и выполнения предсказуемой задачи средней сложности. Таким образом, это задание представляется сбалансированным с точки зрения требований к функциям хранения и переработки. Поэтому правомерным представляется вывод, что для РП как функциональной системы действительно характерно определенный динамический баланс функций хранения и переработки информации.

Принципиальным результатом исследования особенностей выполнения сложных заданий на определение объема РП (см. раздел 4.1) является обнаружение независимости фактора сложности когнитивной переработки от факторов, селективно влияющих на хранение информации в РП. Этот эффект статистической независимости был обнаружен для трех достаточно сильно различающихся заданий на определение объема РП, что говорит о его достаточной общности. Так, сложность дополнительного задания оказалась независимой от количества подлежащих оперативному хранению элементов информации (фактор нагрузки на рабочую память) и от уровня сходства между подлежащими хранению элементами (фактор интерференции) как для типичных сложных заданий на определение объема РП (объем счета, объем операций), так и для упрощенных заданий на определение объема РП (объем оценки четности). Было обнаружено, что во всех случаях эффект (обычно негативный) увеличения сложности не зависел от эффектов факторов, связанных с хранением информации в РП.

Такая устойчивая независимость сложности переработки информации в РП от других факторов, влияющих на эффективность реализации функций РП, представляется очень значимой с точки зрения построения моделей РП. Она свидетельствует о том, что реализация функции переработки осуществляется независимо от реализации функции оперативного хранения. Этот вывод соответствует выводу, полученному выше на основе результатов конфирматорного анализа корреляционных взаимосвязей показателей эффективности выполнения различных классов заданий на РП (отсутствие корреляции между факторами, связанными с хранением информации, и фактором, связанным с

переработкой информации). Представляется, что разделение механизмов хранения и переработки в РП должно обеспечиваться существованием в составе РП специализированной инстанции переработки. Такой инстанцией может быть гипотетический фокус внимания, выдвигающийся в таком качестве в центр когнитивной сферы человека. На основе полученных данных можно предположить, что фокус внимания не просто выполняет вспомогательные функции активации наиболее релевантной текущей задачи когнитивной репрезентации, но используется как локус осуществления необходимых трансформаций этой репрезентации. В связи с центральным значением когнитивной переработки (понимаемой как целесообразной трансформации когнитивных репрезентаций) для успешной адаптации к сложным динамическим средам представляется закономерным, что реализующая её инстанция должна иметь особый статус в системе обеспечивающих решение текущих задач когнитивных процессов.

Подтверждённое в нашем исследовании положение о независимости переработки и хранения и возникающее как следствие положение об изолированности фокуса внимания позволяет сделать два вывода. Во-первых, относительная изолированность фокуса внимания от других компонентов обуславливает существование специализированных механизмов взаимодействия фокуса внимания и других компонентов РП. Существование таких механизмов выше (раздел 6.2) уже обосновывалось в контексте интерпретации результатов об особенностях трансфера информации между компонентами РП и данными об увеличении времени доступа к информации в РП при «переключении» фокуса внутреннего внимания между различными элементами, удерживаемыми в РП (Garavan, 1998; Oberauer, 2002). Работа таких механизмов, как показывают исследования намеренного забывания информации в РП, могут требовать участия функций сознательного контроля (Fawcett & Taylor, 2012). В этой связи РП представляется имеющей модульную организацию с четкой функциональной специализацией отдельных компонентов и сбалансированной системой взаимодействия компонентов.

Во-вторых, относительная изолированность фокуса внимания может иметь адаптационное значение. Реализация переработки информации в отрыве от её хранения позволяет обеспечить продолжение целесообразных трансформаций информации даже в условия нарушения функционирования других компонентов РП. Таким образом, модуляризация фокуса внимания в известном смысле обеспечивает реализацию принципа «преимущества переработки», согласно которому целесообразная переработка информации имеет приоритет в любых обстоятельствах. В то время как функциональные возможности хранения информации подвержены значительным ситуативным колебаниям

без негативных последствий для глобальной адаптации к условиям жизнедеятельности, распад переработки в фокусе внимания с необходимостью означает снижение возможности целесообразного поведения как в кратковременной, так и в долговременной перспективе. В силу этого стабилизация функциональных возможностей фокуса внимания должна иметь четкий приоритет при выборе схемы организации РП человека. Представляется, что функциональная организация РП с относительно изолированным фокусом внимания является оптимальной с точки зрения обеспечения достаточной функциональной самостоятельности и надежности функционирования этого компонента РП. Эмпирически особый статус фокуса внимания должен проявляться в феноменах динамической подвижности объема переработки в ситуациях различной степени объективной и субъективной сложности. Эффекты сужения/расширения фокуса внимания при разном уровне автоматизации деятельности (Verhaeghen et al., 2007), функционального снижения РП и качества переработки информации при тревожности (Shackman et al., 2006; Eysenck et al., 2005), депрессии (Rose & Ebmeier, 2006; Arnett et al., 1999), а также при стрессе (Shoofs et al., 2009) и утомлении (Persson et al., 2007; Deluca et al., 2004) должны получить интерпретацию как свидетельствующие об ориентации функциональной организации РП на поддержание целесообразного функционирования фокуса внимания в широком диапазоне внешних и внутренних условий.

Проведенные исследования также позволили обнаружить эффекты влияния сложности переработки на хранение информации в РП. Такое влияние проявилось в дифференцированных позиционных эффектах, наблюдаемых при выполнении различных заданий на РП. Так, при выполнении задания на определение объема операция был обнаружен только эффект недавности, но не эффект первичности, в то время как при выполнении заданий на определение объема счета и объема оценки четности обнаруживаются оба позиционных эффекта. Такая дифференцировка может быть связана с тем, что задача по переработке информации при определении объема операций является объективно более трудной, чем задача переработки в прочих рассмотренных случаях. Повышенная сложность задачи по переработки предположительно приводит к снижению вероятности переноса информации из региона прямого доступа в активированную часть долговременной памяти. Это результат подчеркивает приоритетность реализации функции переработки перед реализацией функции хранения, отмеченную выше, и указывает на то, что изолированность фокуса внимания от других компонентов РП не является полной (Conway et al., 2005; McCabe, 2008; Chein et al., 2011; Botto et al.,

2014). Независимость фактора сложности переработки (и независимость фокуса внимания, как следствие) частично обнаруживается и при выполнении заданий на обновление РП.

Особенности переработки информации в РП проявились также и в исследовании корреляционных взаимосвязей показателей эффективности выполнения разных классов заданий на РП (раздел 5.1). Один из результатов этого исследования заключается в обнаружении закономерных корреляций точности выполнения задания n-back и объема операций при достаточно высокой нагрузке на РП – 5-6 элементов. Учитывая высокую сложность дополнительной задачи при определении операций (верификация уравнений), можно сделать вывод, что обнаруженные корреляции отражают глубокое внутреннее сходство используемых в этом случае механизмов многоэтапной когнитивной переработки и переработки, возникающей в случае скоростного обновления содержимого РП. При достаточно высокой нагрузке на РП алгоритмы решения задач переработки лишаются избыточных «степеней свободы», опираясь на использование автоматизированных операций, позволяющих процессам переработки быстро конвергировать на получении необходимого результата. Свободные ресурсы переработки, имеющиеся при относительно низкой нагрузке, оставляют широкие возможности для выбора стратегии решения задач средствами РП, что приводит к исчезновению корреляций заданий на обновление и заданий на определение объема РП (Величковский Б.М., 1990; Barrett et al., 2004; Hilbert et al., 2015; Paul & Reeve, 2016).

Такими образом, переработка информации в РП может осуществляться различными способами и основывается на формировании различных стратегий трансформации когнитивных репрезентаций. Это означает, что в составе РП должны присутствовать компоненты, реализующие выполнение «мета-задач» по управлению решением собственно задача переработки. Очевидно, что наиболее вероятным компонентом, выполняющим эти функции, является гипотетический исполнительный компонент РП, связанный с управлением фокусом внимания. Также может быть сделан вывод о том, что переработки информации должно получать «энергетическое обеспечение» для своего осуществления (в противном случае дифференциальные эффекты сложности переработки и нагрузки на РП не имели бы места). Такое энергетическое обеспечение может быть концептуализировано с помощью понятия «неспецифических ресурсов», необходимых, возможно, не только для поддержки переработки, но и для осуществления хранения информации в РП. Такое динамическое распределение неспецифических ресурсов также предполагается одной из актуальных моделей РП – моделью основанного на времени распределения ресурсов (см. раздел 4.1.7).

Другим результатом проведенных исследований стало обнаружение отсутствия корреляций заданий на обновление с заданием на определение объема чтения букв. В свете изложенного выше, такой результат представляется объяснимым. Высокоавтоматизированная задача переработки допускает возможности формирования различных стратегий решения мнестической задачи (или выполнения произвольной умственной деятельности) даже при достаточно высоком уровне нагрузке на РП, что приводит к расхождениям в показателях эффективности выполнения разных классов заданий на РП. Эти результаты тоже свидетельствуют о роли особого компонента РП в решении «мета-задач» управления, а также о роли неспецифических ресурсов в выполнении переработки информации в РП (Beilock & Carr, 2005; Barrouillet & Camos, 2007; Verhaegen et al., 2007; Baddeley, 2012; Vergaewee et al., 2012; Vergaewee et al., 2014)

Особый вид переработки в РП заключается в формировании стратегий перекодирования оперативно удерживаемой информации в форму, пригодную для её удержания в ДВП. Трансформация, объединение и, наоборот, дробление репрезентаций, использование новых форм кодирования является формами переработки в РП, обеспечивающими лучшее сохранение информации в ДВП. Представляется, что формирование новых репрезентаций для их лучшего сохранения в РП требует привлечения неспецифических ресурсов и осуществляется, как и любая другая форма переработки в РП, с помощью фокуса внимания. Анализ перекодирования информации в РП как одной из форм переработки информации позволяет по-новому подойти к проблеме описания механизмов возникновения эффектов «глубины обработки» (Craik & Lockhart, 1972).

При описании форм переработки в РП – таких, как перекодирование информации – с необходимостью встает вопрос об элементарных операциях переработки. Анализ особенностей выполнения различных классов заданий на РП в проведенных исследованиях позволяет получить некоторые предварительные ответы на этот вопрос. В качестве примера можно рассмотреть различия заданий на определение объема четности и объема чтения букв. Хотя эти задания подобны по структуре, они сильно различаются характером осуществляемой в РП переработки информации. В частности, задание на определение объема чтения букв выявляет типичную элементарную операцию РП, связанную с реализацией моторного ответа, устойчиво связанного в ДВП с определенной стимуляцией. Для реализации этой операции необходима согласованная работа нескольких операционных блоков – идентификация стимула, сопоставление с образцом, поиск и извлечение реакции из ДВП – которые уже хорошо описаны в когнитивной

психологии и могут выступать в качестве элементарных микро-операций РП. Более сложные формы переработки – такие, например, как используемые при выполнении задания на определение объема четности – требуют использования других элементарных операций. В частности, к ним могут относиться запись промежуточных результатов в компоненты хранения РП, контролируемое извлечение фактов из ДВП, произвольные трансформации репрезентаций на основе использования ассоциативных связей и другие. Особый интерес могут представлять элементарные «мета-операции», существование которых диктуется необходимостью решения «мета-задач» по контролю за переработкой, о которых упоминалось выше. К таким мета-операциям могут относиться операции управления целями умственной деятельности, формирования планов переработки, сличения результатов переработки с образцом и т.д. Представляется возможным, что подобная «мета-переработка» в РП будет реализованы с помощью того же состава элементарных операций, что и регулярные формы переработки.

Примером использования сложных форм переработки в РП является описанная выше (раздел 5.5) навигация в иерархически структурированных меню. Негативные эффекты влияния нагрузочной задачи с элементами обновления РП доказывают участие РП в решение этой задачи. Возможными операциям в этом случае являются как операции извлечения из ДВП, так и произвольные трансформации репрезентаций, необходимые для «построения маршрута» перемещений в меню на основе данных о его структуре. Также в этом случае решаются и мета-задачи, связанные с отслеживанием корректности перемещения по запланированному маршруту и успешности достижения цели движения. На этом пример видно, что переработка в РП может быть достаточно сложной даже при условии использовании небольшого набора элементарных операций. Однако представляется, что полноценное развертывание возможностей когнитивной переработки в РП достигается только за счет использования долговременных связей между репрезентациями, накопленными в предыдущем опыте взаимодействия со средой.

Проведенные исследования влияния когнитивного контроля на реализацию функций РП позволяют выделить еще один важный аспект переработки информации в РП. Представляется, что успешность переработки критически зависит от эффективного баланса произвольного и автоматического усиления активации релевантных для решения текущей задачи репрезентаций РП и, соответственно, подавления активации иррелевантных репрезентаций. Именно действием этого комплекса механизмов можно объяснить выраженные зависимости между эффективностью выполнения заданий на РП и заданий на произвольное торможение. В этой связи становится очевидным, что значение

целесообразного управления фокусом внимания посредством функций когнитивного контроля для успешной переработки информации в РП необычайно высоко.

В целом, следует особо подчеркнуть, что результаты проведенных исследований показывают, что переработка информации в РП зависит от наличия резерва когнитивных ресурсов (Vergauwe et al., 2012). Неспецифические когнитивные ресурсы необходимы для того, чтобы осуществлять связанные с решаемой задачей трансформации когнитивных репрезентаций. Эта роль когнитивных ресурсов проявляется, например, в приведенных выше позиционных эффектах. При выполнении сложных заданий на определение объема РП эффект первичности нейтрализуется в тех случаях, когда дополнительная задача является достаточно сложной, требуя для своего решения привлечения значительной части когнитивных ресурсов. Возможность использования когнитивных ресурсов в целях переработки информации в РП обусловлена и тем, какая доля ресурсов резервируется для обеспечения удержания оперативно хранимой информации в активированном состоянии. Примером такой зависимости является исследование влияния нагрузки на РП на эффективность зрительного поиска. Необходимость удержания информации в РП в одной модальности приводит к повышению уровня автоматизированности выполнения дополнительной задачи в другой модальности. Эти результаты свидетельствуют о том, что функции переработки, как и функции хранения требуют использования когнитивных ресурсов. Они также свидетельствуют о том, что когнитивные ресурсы являются неспецифическими, т.е. относящимися к единому резервуару, обеспечивающему реализацию всех функций РП.

#### **6.4. Функциональные механизмы компонентов рабочей памяти**

Выделение в составе РП функционально различных компонентов позволяет поднять вопрос о свойственных им специализированных механизмах. Выше были рассмотрены свидетельства существования механизмов управления фокусом внимания, необходимых для эффективного решения актуальных задач путем привлечения ресурсов РП. Механизмы управления фокусом внимания обеспечивают как дифференцированную активацию релевантных задаче репрезентаций в РП, так и селекцию подлежащей переработке репрезентации в фокус внимания. Кроме того, механизмы управления фокусом внимания, реализованные в исполнительном компоненте РП, непосредственно используются в реализации процессов когнитивной переработки, составляющих содержание целесообразных трансформаций когнитивных репрезентаций в РП.

Другой вид специализированных механизмов компонентов РП, частично уже рассмотренный выше (раздел 6.2), представляют механизмы поиска репрезентаций среди информационных элементов, активированных в РП. Эти механизмы могут реализовывать различные алгоритмы обнаружения релевантных репрезентаций, по-разному организуя обследование информационных массивов, в состав которых входят репрезентации, активированные в компонентах РП, а также репрезентации ДВП, связанные с ними ассоциативными связями. Учитывая значительные объемы генерируемых таким образом информационных массивов, представляется обоснованным, что значительную роль в организации процессов поиска и извлечения информации играют автоматизированные механизмы, позволяющие осуществлять скоростное исключение неперспективных «зон поиска» с целью ускорения конвергенции на обнаружении релевантных информационных элементов. Также представляется, что высокая степень автоматизированности поиска лежит в основе интеллектуальных достижений, в частности, способности к скоростной обработке значительных объемов информации в случае экспертного принятия решений. Кроме того, нарушения автоматизированных механизмов поиска информации в компонентах РП и ДВП могут представлять собой важную детерминанту аффективных и интеллектуальных нарушений при различных пограничных и патологических состояниях.

Следствием предположения о роли единого пула когнитивных ресурсов в осуществлении механизмов оперативного хранения и переработки информации является предположение о возможности динамического перераспределения когнитивных ресурсов между компонентами РП согласно требованиям актуально решаемых задач.

Проведенные исследования подтверждают возможность существования механизмов такого перераспределения ресурсов. Выше уже описывалось распределение неспецифических когнитивных ресурсов между функциями хранения и переработки при решении различных заданий на РП. Отмечалось, что «по умолчанию» реализация функции переработки имеет приоритет перед реализацией функции оперативного хранения в том смысле, что при нехватке ресурсов ресурсами преимущественно обеспечиваются трансформации репрезентаций в фокусе внимания. В частности, отмечалось снижение эффекта первичности при выполнении задания на определение объема операций, которое не наблюдается при выполнении других заданий на определение объема РП. Этот результат связывался с тем, что неспецифические ресурсы перераспределяются для поддержки выполнения сложной дополнительной задачи в ущерб поддержке ресурсно-затратного перемещения репрезентаций из региона прямого доступа в активированную часть ДВП. В других заданиях на определение объема РП

относительная простота дополнительной задачи не приводит к дефициту ресурсов и не требует активации механизмов их перераспределения.

Следует также отметить, что при выполнении задания на определение объема операций наблюдается и выраженный компенсаторный эффект – эффект недавности при выполнении этого задания превышает эффект недавности, наблюдаемый при выполнении других заданий на определение объема РП. Таким образом, недостатки оперативного хранения информации за счет активированной части ДВП частично компенсируются повышенной эффективностью хранения информации в регионе прямого доступа. В силу этого РП представляется системой, гибко реагирующей на ресурсные требования динамической модуляции уровня активности входящих в её состав подсистем с целью оптимизации реализации своих основных функций – оперативного хранения и переработки информации.

Аналогичные выводы относительно динамического перераспределения ресурсов между функциями хранения и переработки могут быть сделаны и на основе результатов исследования взаимосвязей между показателями эффективности выполнения разных классов заданий на РП. Ортогональность факторов, связанных с функциями хранения и переработки поддерживает представления об их независимой реализации с возможностью изменения уровня ресурсного обеспечения каждой из них сообразно требованиям решаемой задачи.

Также было обнаружено, что необходимость оперативного удержания вербальной информации приводит к отвлечению ресурсов от пространственно-зрительного компонента РП (раздел 5.4). При этом переработка зрительно-пространственной информации приобретает автоматизированный характер, демонстрируя эффекты недостаточного ресурсного обеспечения. Следует отметить, что общая производительность деятельности может повышаться. Функционирование РП в условиях ограничения неспецифических ресурсов и конкуренции требований к активации различных компонентов РП обеспечивается системой механизмов координации уровня активации компонентов РП таким образом, который позволяет сохранить приемлемый уровень решения актуальных задач хранения и переработки. В силу этого, РП представляется системой взаимодействующих компонентов, относительная активация которых осуществляется на основе гибкого учета условий реализации познавательной деятельности.

Среди функциональных механизмов РП особого внимания заслуживают механизмы контроля интерференции. Их роль в обеспечении функционирования РП уже отмечалась ранее в концепции РП как исполнительного внимания (Engle, 2002; Engle & Kane, 2004). В проведенных в настоящей работе исследованиях важная роль механизмов контроля интерференции особенно выпукло проявляется в исследовании влияния когнитивного контроля на реализацию функций РП (раздел 5.3). Было обнаружено, что эффективность контроля интерференции тесно связана с различными аспектами эффективности выполнения задания на обновление РП (n-back). В частности, точность выполнения задания n-back коррелировала с точностью выполнения задания на антисаккаду; точность и скорость выполнения n-back коррелировали с точностью выполнения фланговой задачи Эриксонов, а также с выраженностью интерференционного эффекта в этом задании; скорость и особенно точность выполнения n-back коррелировали с точностью и скоростью выполнения задания Go-No Go. В целом следует отметить, что был обнаружен генерализованный эффект зависимости эффективности выполнения задания n-back от эффективности выполнения различных заданий на подавление интерференции.

Хотя обычно исследования зависимости функций РП от функций контроля интерференции изучаются на примере задания на антисаккаду, сходные результаты получены для фланговой задачи Эриксонов и задачи Go-No Go. При выполнении этих заданий активируются родственные, но различные аспекты контроля интерференции – подавление иррелевантной сенсорной стимуляции в одном случае, и подавление пре-активированных, но иррелевантных моторных репрезентаций – в другом. Представляется, что именно эти аспекты контроля интерференции, связанные с регуляцией активации иррелевантных репрезентаций в РП, лежат в основе зависимости функционирования РП от действия механизмов контроля интерференции. Эффективное подавление иррелевантных репрезентаций, конкурирующих за ресурсы активации с релевантными репрезентациями, позволяет обеспечивать реализацию функций РП в условиях ограничения её возможностей по хранению и переработке информации.

Механизмы контроля интерференции могут различаться по принадлежности к разным уровням когнитивной организации. Хотя выше развивались представления об оперировании механизмов контроля интерференции на уровне отдельных репрезентаций (контроль активации), не стоит исключать возможность того, что контроль интерференции осуществляется и на уровне элементарных признаков, образующих отдельные репрезентации. Такие механизмы контроля интерференции могут быть характерны, в частности, для модально-специфичных подсистем хранения в РП. В

модально-специфичных системах наблюдаются разнообразные эффекты интерференции на основе «перезаписи» признаков, образующих отдельные оперативно удерживаемые репрезентации (раздел 2.4), и поэтому механизмы контроля интерференции должны играть ведущую роль в обеспечении надежности хранения информации для её оперативного использования. При этом открытым остается вопрос, в какой мере механизмы контроля интерференции являются однородными для разных компонентов хранения в составе РП. Выраженные эффекты взаимодействия факторов интерференции и нагрузки на РП, обнаруженные выше в исследованиях особенностей выполнения заданий на определение объема РП и заданий на обновление РП позволяют предположить, что эти механизмы могут быть качественно различным.

Открытым вопросом в исследованиях механизмов функционирования компонентов РП и КВП остается вопрос о механизмах интер- и интраиндивидуальных различий (Белова, Малых, 2013; Щадриков, Черемошкина, 1990). В частности, вариативность в функционировании отдельных компонентов РП может обеспечиваться гетерохронностью развития специализированных когнитивных механизмов, приуроченных к различным компонентам РП. Например, роль механизмов управления вниманием и подавления интерференции, связанных с исполнительным компонентом РП, может варьировать не только на разных этапах онтогенетического развития, но и между людьми. Также открытым остается вопрос о зависимости функционирования компонентов РП от возможности (и степени) использования индивидуальных структур знаний, т.е. от участия индивидуального опыта в поддержке функций РП (Белова, Малых, 2013; Ericsson & Kintsch, 1995). Эти вопросы еще требуют своего решения.

Эффективное хранение и переработки информации в условиях ограниченности её функциональных возможностей обеспечивается действием общих и специализированных механизмов. Механизмы управления фокусом внимания и переработкой информации в нем, целенаправленного и автоматизированного поиска информации в компонентах РП и в ДВП, обмена информацией между компонентами РП, распределения функциональных ресурсов РП между её компонентами в зависимости от требований задачи, а также контроля интерференции позволяют РП решать задачи оперативного использования информации при самых разных условиях. Функциональные механизмы РП представляют собой согласованную системы, элементы которой действуют скоординированно с целью оптимизации функционирования РП в целом. Их совместная активность, согласованная на основе произвольных и автоматических механизмов регуляции позволяет человеку

добиваться высокой эффективности решения задач на основе построения и трансформации когнитивных репрезентаций в РП.

### **6.5. Когнитивные механизмы выполнения заданий на рабочую память**

Целесообразность структуры РП и динамики её функционирования отчетливо проявляется в особенностях когнитивных механизмов выполнения различных классов заданий на РП. Например, приведенные выше результаты исследований с использованием сложных заданий на определение объема РП показывают, что при их выполнении задействуются две функционально различные подсистемы РП. Для выполнения задачи переработки информации используется фокус внимания, причем промежуточные результаты переработки откладываются в регионе прямого доступа. Для выполнения задачи кратковременного хранения информации на фоне выполнения задачи переработки используется как регион прямого доступа, так и активированная часть ДВП. При этом распределение подлежащей удержанию информации между различными подсистемами хранения динамически изменяется в зависимости от количества информации и требований задачи переработки. Функциональная организация активности РП, таким образом, соответствует структуре сложных заданий на определение объема РП и отражает динамику возникающих при выполнении заданий этого типа запросов на выделение ресурсов хранения и переработки информации.

Динамическая организация компонентов РП в систему, обеспечивающую решение текущих мнестических задач соответствует развиваемым в отечественной психологии представлениям о познавательной деятельности как деятельности по решению задач. Такой подход к изучению познавательных процессов в рамках системно-деятельностного подхода (Запорожец А.В., 1986; Асмолов, 2002; Гусев, 2004; Скотникова, 2008; Гиппенрейтер, 1983; Романов, Дормашев, 1993, 1995; Бочарова, 1981) можно условно обозначить как «задачный подход» (Асмолов, Михалевская, 1974). Его основным принципом является изучение познавательной активности как системно-организованной, целенаправленной деятельности по решению конкретной познавательной задачи как цели, данной в определенных условиях (А.Н. Леонтьев, 1975, 1979, 1986). Эти задачи могут быть сенсорными (ощущения и установки) и перцептивными (восприятие), задачами управления и контроля (внимание), но также и мнестическими (например, задачи оперативного хранения и переработки). При этом следует отметить, что задача (даже сенсорная) решается не изолированными познавательными процессами, а личностью в целом (Асмолов, Михалевская, 1974; Асмолов, 2002). Особенностью изучения

механизмов РП является то, что в этом случае имеет место сложная амальгама процессов внимания, восприятия и памяти при решении текущих задач оперативного хранения и переработки. Высокая сложность динамической организации РП может сделать применение принципов задачного подхода для изучения РП особенно продуктивным. Действительно, центральной методологической проблемой современных исследований РП является выход из порочного круга использования упрощенных схем организации РП и упрощенных экспериментальных заданий на оперативное удержание и переработку информации с последующим подтверждением исходных положений о природе РП. Представляется, что истинный теоретический прорыв в исследованиях РП может быть достигнут только при выходе на изучение решения экологически валидных мнестических задач в тесной связи механизмов РП с другими познавательными процессами и личностью человека (Выготский, 1982, 1960).

Методологически сходные идеи высказывались и в зарубежной когнитивной психологии (Брунер, 1977; Найссер, 1981; Канеман, 2006; Barsalou, 2010). При описании познавательных процессов эти авторы указывают на тесную связь их функциональной организации с окружающим миром и решаемыми познавательными задачами. Как только возникает потребность описания процесса решения экологически валидных задач, становится очевидной необходимость выхода за пределы познавательной сферы как набора изолированных процессов переработки информации. Познавательные процессы понимаются как включенные в систему внешних и внутренних факторов, определяющих адаптацию к текущим условиям среды. Не случайно книга Дж. Брунера озаглавлена «Психология познания. За пределами непосредственной информации» (Брунер, 1977). Показательной в смысле «выхода за пределы непосредственной информации» является концепция перцептивного цикла У. Найссера, описывающая взаимодействие внешней среды, внутренних схем, восприятия, внимания, памяти и моторики в ходе выполнения предметных действий (Найссер, 1981). Легко видеть, что РП понимаемая как функциональная система (Бочарова, 1981; Шадриков, Черемошкина, 1990) решения задач оперативного хранения и переработки информации может быть встроена в перцептивный цикл У. Найссера как место интеграции схем и сенсорных потоков с целью построения программ управления моторными действиями. Так РП становится истинно «активной памятью» в её исходном понимании как системы для интеграции планов поведения (Миллер, Галантер, Прибрам, 1965).

При выполнении заданий на обновление РП прослеживается подобная настройка функциональной организации РП на особенности структуры и динамики заданий этого

типа. Необходимость удержания и постоянного изменения небольших объемов информации приводит к преимущественному использованию региона прямого доступа и фокуса внимания. Первая подсистема используется для хранения информации, а вторая – для её обновления. При этом задания указанного типа характеризуются интенсивным перемещением когнитивных репрезентаций между фокусом внимания и регионом прямого доступа, а также необходимостью удаления утратившей актуальность информации из региона прямого доступа. Выполнения операций изменения статуса хранения может обеспечиваться за счет привлечения неспецифических когнитивных ресурсов, что приводит к возникновению заметных трудностей при выполнении заданий этого типа. Тем не менее, использование альтернативной системы хранения, основанной на механизмах ДВП, приводило бы к еще большим затруднениям в силу сниженной скорости извлечения информации. Таким образом, даже в условиях повышенных требований к процессам оперативного хранения и переработки информации РП характеризуется оптимальной организацией взаимодействия её структурных компонентов в целях обеспечения максимально быстрого доступа к удерживаемой информации, максимальной надежности её хранения и максимальной скорости её переработки. Подобная координация функциональных аспектов РП хорошо соответствует идеям метасистемной детерминации компонентов психики, развиваемым с системно-деятельностным подходе (Карпов, 2005).

Исследователи РП отмечают противоречивость данных относительно корреляции показателей эффективности выполнения разных классов заданий на РП. Это в особой степени касается вопроса о корреляциях заданий на обновление РП и заданий на определение объема РП. Оба класса заданий являются репрезентативными методиками оценки функциональных возможностей РП, однако неоднозначность корреляций между показателями эффективности их выполнения заставляют усомниться в существовании конструкта, соответствующего РП. В свете полученных выше результатов представляется, что указанные классы заданий на РП, с одной стороны, разделяют многочисленные общие механизмы оперативного хранения и переработки информации, но, с другой стороны, характеризуются и выраженными особенностями выполнения. В частности, выше отмечалось, что задания на определение объема РП характеризуются более вероятным использованием ресурсов активированной части ДВП для хранения информации, в то время как в заданиях на обновление РП чаще используются специализированные механизмы РП, в частности, механизмы «удаления» потерявшей актуальность информации из РП. В этой связи представляется закономерным, что – хотя корреляции

непосредственно измеряемых показателей эффективности выполнения разных классов заданий на РП могут быть достаточно низкими, на уровне латентных переменных факторы, соответствующие задачам на определение объема РП и задачам на обновление РП выраженно коррелируют (Schmiedeck et al., 2009).

Определение структуры РП, её компонентов и соответствующих им специализированных механизмов позволяет рассчитывать на выявление когнитивных механизмов выполнения и других классов заданий на РП. В этом отношении особый интерес представляют задания на РП, в которых максимально выражен динамический аспект переработки информации в РП. Это связано с тем, что, безусловно, в реальном использовании ресурсов РП для решения адаптационных задач динамика активации ресурсов РП имеет решающее значение. Одним из таких заданий является задание PASAT (paced auditory serial addition test, Tombaugh, 2006) широко используемое в нейропсихологической практике для оценки функций оперативного хранения информации и внимания. Это задание заключается в предъявлении последовательности цифр, две последние из которых должны суммироваться. Это задание, таким образом, близко к заданиям на обновление РП, но также предъявляет повышенные требования к переработке информации параллельно с её удержанием и обновлением. Представляется, что в таких динамических заданиях особенно важную роль играют реализованные в исполнительном компоненте РП механизмы когнитивного контроля, в частности, механизмы управления и переключения внимания. Задания подобного типа окажутся особенно чувствительными к нарушениям взаимодействия компонентов РП и согласованности работы системы управляющих механизмов РП. В связи с этим они представляются наиболее перспективными средствами оценки функциональных возможностей РП при различных патологических и функциональных состояниях. Разработка подобных заданий и их стандартизация представляется важным направлением психометрических исследований в области изучения РП.

Природа нарушений РП сегодня, при использовании достаточно грубых средств диагностики возможностей РП, не может быть раскрыта в полной мере. Развитие средств диагностики РП открывает широкие возможности выявления специфических нарушений работы механизмов РП. С одной стороны, эти сведения могут быть использованы в нейрокогнитивных исследованиях с целью определения нейрофизиологических механизмов реализации функций РП. С другой стороны, перспективным практическим направлением использования подобных разработок является создание и применением адресных средств коррекции нарушений РП. В частности, речь может идти о создании

систем специализированных заданий, тренирующих отдельные функции РП. Как показывает опыт когнитивной тренировки функций РП, она может иметь некоторый потенциал как средство коррективы когнитивных и поведенческих нарушений, связанных с недостаточностью функций РП. Однако неоднозначность результатов когнитивной тренировки РП (раздел 1.6) показывает, что для её успеха необходимо не только понимать особенности функциональной организации РП, но и создавать специализированные средства активизации конкретных компонентов РП и их механизмов.

Разнообразие когнитивных заданий, предъявляющих требования к ресурсам РП, очень велико, учитывая значение РП как центрального компонента когнитивной сферы, обеспечивающего целесообразную переработку информации для адаптации к условиям среды. Проведение корреляционных исследований взаимосвязей показателей эффективности выполнения различных заданий на РП, дополненных экспериментальными поведенческими и нейрокогнитивными исследованиями механизмов их выполнения, представляются оптимальной исследовательской стратегией изучения особенностей использования РП при решении адаптационных задач. В результате могут быть получены сведения об особенностях взаимодействия общих и специализированных механизмов РП, которые могут иметь большое значение для решения многих задач психологической теории и практики. Организация и принципы функционирования РП в этом случае отражают целеориентированную, «холистическую» детерминацию познания, описываемую в рамках системного (Анохин, 1973, 1979; Ломов, 1975, 1996; Барабанщиков, 2007) и системно-эволюционного подхода (Швырков, 1988; Александров, 2009).

#### **6.6. Роль рабочей памяти в осуществлении познавательной деятельности**

Описанные выше исследования поддерживают предположение, что РП играет важную роль в обеспечении сложной познавательной деятельности. Под сложной познавательной деятельностью понимаются процессы сбора информации и принятия решения относительно оптимальных действий в ситуациях, отличающихся высокой сложностью и неопределенностью исходных условий и последствий реализации принимаемых решений. Одним из центральных аспектов использования РП в осуществлении такой деятельности является её непосредственное участие в построении адекватного имеющимся в действительности условиям *оперативного образа ситуации*. (Ошанин, 1970, 1973; сравни пересекающиеся понятия «обстановочных афферентаций» и «акцептора результата действия», Анохин, 1973, 1979; «образа мира», Леонтьев, 1983;

Запорожец А.В., 1986; «образно-концептуальной модели», Зинченко, 1997; «образа задачи», Тихомиров, 2008; «модели мира», Канеман, 1973). Образ ситуации включает в себя существенные признаки проблемной ситуации и сочетает как статические, так и динамические элементы. Образ ситуации строится постепенно в ходе реализации процессов накопления информации, которые могут активироваться рефлексивно, но также могут быть опосредованы и процессами переработки информации в РП. Успешность решения текущих задач непосредственно зависит от того, в какой мере в РП удастся аккумулировать непротиворечивую, достаточную, но не избыточную информацию о проблемной ситуации. Это связано с тем, что образ ситуации, по сути, является моделью, относительно которой будут проверяться гипотезы об относительной выгоде тех или иных действий. Построение такой модели требует как накопления и сохранения информации, так и её целенаправленной переработки с особым акцентом на достижении непротиворечивости и неизбыточности, что обеспечивается комплексом механизмов оперативного хранения и переработки РП.

Для хорошо структурированных задач РП может использоваться также и для построения другого необходимого элемента процессов интеллектуального решения задач – образа решения проблемы (акцептора действия, Анохин, 1973). Образ решения проблемы представляет собой модель ситуации в том виде, в котором она включает в себя искомое решение («потребное будущее»). Познавательная деятельность при этом может концептуализироваться как последовательность трансформаций образа исходной проблемы в образ решения проблемы (Дункер, 1965; Newell & Simon, 1972). Такие трансформации будут носить как поисковый, так и целенаправленный характер. Они также могут осуществляться автоматизированно, с привлечением закрепленных в опыте схем трансформаций. Хорошо описано, например, использование аналогий для решения задач, в которых трансформации моделей из ранее актуальной предметной области переносятся на предметную область, актуальную в настоящий момент (Stevenson et al., 2013). Эффективность трансформаций образа ситуации и образа целевой ситуации будут зависеть от многих факторов, среди которых функциональные возможности РП играют важную роль. В частности, эффективность нахождения решения будет зависеть от объема моделей, сложности их трансформаций, количества необходимых трансформаций, а также от степени совместимости исходной и целевой модели (Новикова и Строганова, 2006; Тихомиров, 2008; Исмагуллина, 2013; Johnson-Laird, 1983; Lee & Seong, 2009). Действие всех этих факторов приводит к повышенному использованию ограниченных ресурсов хранения и переработки информации в РП (Канеман, 1973; Fleck, 2008; Chuderski, 2014).

Таким образом, представления о познавательной деятельности как процессе трансформации конструируемых в РП моделей ситуации позволяют пролить свет на существующую зависимость между функциональными ограничениями РП и интеллектуальными возможностями человека (Johnson-Laird, 1983).

Решение плохо структурированных задач в рамках используемой парадигмы объяснения сводится к осуществлению поисковых трансформаций образа ситуации при одновременном отсутствии детального образа целевой ситуации. Следует отметить, однако, что в этом случае невозможно полностью отрицать наличие хотя бы имплицитных репрезентаций условий, которым должно удовлетворять искомое решение. Тем не менее, в условиях отсутствия эксплицитной модели целевой ситуации при идентификации результатов трансформации образа ситуации как решения задачи важную роль будут играть процессы эмоционального реагирования, маркирующие те или иные промежуточные результаты как удовлетворительные или неудовлетворительные. В целом, решение открытых задач должно сопровождаться повышенной нагрузкой на РП. Это связано с тем, что при решении открытых задач будут генерироваться различные последовательности трансформаций образа ситуации с построением большого количества промежуточных результатов. Эти результаты должны оперативно сохраняться как с целью эксплицитной («рациональной») или имплицитной («эмоциональной») оценки их пригодности в качестве решения, а также для сопоставления возможных решений между собой. Такие процессы решения открытых задач будут приводить к повышенному использованию механизмов хранения и переработки информации в РП по сравнению с решением закрытых задач, в которых иницилируемые ассоциативно или произвольно трансформации образа ситуации гораздо быстрее конвергируют на образе целевой ситуации. Этим можно объяснить то, что при прочих равных условиях открытые задачи воспринимаются как когнитивно более сложные, чем закрытые.

Важным процессуальным аспектом осуществления сложной познавательной деятельности является использование РП для хранения промежуточных результатов переработки информации. Возникновение специализированной системы хранения для удержания промежуточных результатов представляется обусловленным двумя факторами. Во-первых, решение сложных познавательных задач, осуществляющееся путем последовательных трансформаций образа ситуации, требует скоростного доступа к результатам, получаемым на различных этапах переработки. Во-вторых, зачастую эти результаты не имеют значения вне решения конкретной задачи и не должны сохраняться долговременно. Учитывая, что долговременно сохраняемая информация, возможно,

вообще не подлежит забыванию, следует признать, что механизмы ДВП у человека вообще могут быть непригодны для реализации функции оперативного хранения промежуточных результатов. Для успешности познавательной деятельности важным аспектом РП является надежность хранения информации. Действительно, потеря части промежуточных результатов может иметь крайне негативные последствия для решения даже относительно простых интеллектуальных задач. Архитектура РП, предполагающая сочетание различных систем хранения достаточно больших объемов информации, перерабатываемой при решении сложных задач, обеспечивает достижение оптимальной надежности хранения в условия ограниченности функциональных возможностей РП.

Возможное противоречие, возникающее при таком рассмотрении функций оперативного хранения в РП, связано с необходимостью удержания в РП больших объемов информации. Это приводит к необходимости привлечения к решению задачи хранения механизмов ДВП, которая плохо приспособлена для хранения промежуточных результатов. В этой связи особе значение могут приобретать *когнитивные операции*, представляющие собой автоматизированные процедуры получения интегрированных результатов на основе хранящейся в ДВП информации. Аналогичную функцию могут выполнять описываемые в модели долговременной РП (Ericsson & Kintsch, 1995) *структуры доступа*, предоставляющие возможность скоростного извлечения из ДВП больших объемов информации без перегрузки РП. Таким образом, важную роль в осуществлении познавательной деятельности на основе конструирования образов ситуации в РП могут играть когнитивные автоматизмы, снижающие нагрузку на ограниченные функциональные возможности РП (Б.М. Величковский, 1990).

Надежность хранения информации в РП при её использовании для решения интеллектуальных задач в большой степени зависит от возможностей индивидуальных процессов подавления интерферирующей информации. Негативное влияние интерференции на решение интеллектуальных задач заключается, в первую очередь, в возможности утери или искажения части релевантной информации. В этой связи важную роль играют как процессы распределения оперативно хранимой информации по системам хранения (информация в регионе прямого доступа, как было показано, может быть защищена от негативного воздействия интерференции), так и процессы ре-активации хранящихся в РП элементов информации с использованием механизмов произвольного внимания. Сочетание этих средств – при условии их достаточного индивидуального развития, а также их достаточного ресурсного обеспечения – обеспечивает высокую

устойчивость особенно релевантной для решения текущей задачи части оперативно хранимой информации к негативному действию интерференции.

Другой формой негативного влияния интерферирующей информации на сложную познавательную деятельность является произвольная активация в РП иррелевантной информации. Эта форма интерференции особенно характерна для ситуаций, в которой действуют внешние или внутренние эмоциогенные факторы, приводящие к активации эмоционально-нагруженных репрезентаций. Недостаточность механизмов произвольного контроля интерференции может приводить к тому, что ограниченные возможности хранения и переработки информации в РП будут распределены между иррелевантной и релевантной информацией в ущерб последней. В частности, активация негативно-окрашенных переживаний, связанных с возможным неуспехом, будет приводить к снижению эффективности выполнения сложной интеллектуальной деятельности, которая в силу природы решаемых задач связаны с возможностью неудачи в их решении. Подобные феномены могут наблюдаться как в норме (в частности, при наличии высокой личностной тревожности), так и в патологии (например, при депрессии) (Weilock & Carr, 2005; Eysenck & Pane, 2005; Johnson & Gronlund, 2009). В целом, они могут быть сведены к частной и генерализованной недостаточности процессов произвольного подавления, что открывает новые перспективы коррекции негативного влияния интерферирующей информации на решение интеллектуально-сложных задач в РП.

При переработке информации в ходе решения интеллектуально-сложных задач важную роль играют компоненты РП, связанные с функциями произвольного внимания. В частности, проведенные нами исследования показывают особый статус фокуса внимания как компонента РП, удерживающего являющиеся предметом переработки умственные репрезентации. Осуществление трансформаций информации, необходимых для решения сложных задач, представляется невозможным без эффективного «перемещения» фокуса внимания между удерживаемыми в РП репрезентациями. Реализация этой функции должна поддерживаться механизмами быстрого переключения фокуса внимания между различными умственными репрезентациями. В этой связи следует отметить, что в исследованиях когнитивного контроля процессам переключения внимания (и шире – переключения между задачами в их целостности как набора перцептивных, центральных и моторных компонентов) отводится важное место в системе регуляции целенаправленной деятельности. Интересно, что именно нарушения переключения, наряду со снижением объема РП являются характерными признаками когнитивного старения (Meiran et al., 2000), сопровождающегося также снижением способности к решению новых

познавательных задач. Можно сделать вывод, что возможности осуществления человеком познавательной деятельности во многом зависят от эффективности функционирования компонентов РП, обеспечивающих управление фокусом внимания.

Следует отметить, что использование механизмов РП для решения сложных познавательных задач опосредуется мотивационными факторами (см. также Ананьев, 1997; Корнилова, 2016; Тихомиров, 2008). С одной стороны, влияние мотивационных факторов может проявляться в том, что уже на ранних этапах когнитивной переработки мотивационно значимые стимулы с высокой вероятностью окажутся представленными в РП, причем уровень активации будет превышать уровень активации репрезентаций менее значимых стимулов. Подобные механизмы могут действовать и при поиске информации в ДВП для её последующей активации в РП. Репрезентации, ассоциативно связанные с мотивами и целями человека, будут извлекаться из ДВП с высокой вероятностью, даже если они соответствуют спецификации поисковых запросов лишь частично. В системах хранения РП мотивационно значимые репрезентации будут в большей степени, чем нейтральные репрезентации, защищены от негативного воздействия интерференции, и чаще оказываться в фокусе внимания. С другой стороны, можно предположить, что мотивационные характеристики умственных репрезентаций, активированных в РП, будут определять очередность и глубину их переработки в РП, определяя направление процессов решения актуальной познавательной задачи. Мотивационные факторы играют также центральную роль в энергетическом обеспечении целенаправленного построения и трансформации образов ситуаций в РП. Тесная связь мотивационных процессов и мнестических процессов РП обуславливает важную роль механизмов РП в организации решения сложных познавательных задач и целенаправленной деятельности в целом и отражает системность психики и познания (Ломов, 1975, 1996; Барабанщиков, 2007; Барабанщиков, Носуленко, 2004).

Осуществление сложной познавательной деятельности опирается на еще одну специализированную функцию РП – поддержание в активном состоянии актуальной цели (или иерархии целей) поведения. Представленность целей действий в РП обуславливает возможность осуществления сознательно контролируемой активности по их достижению, поддерживая как ориентировочные, так и исполнительские компоненты такой активности. В этом смысле современные концепции РП возвращаются к понятию плана, предложенного Д. Миллером и коллегами (Миллер и др., 1965). План как абстрактная иерархия подлежащих осуществлению действий сегодня может быть представлен как содержащаяся в РП иерархия целей, ассоциативно связанная с сенсо-моторными и

когнитивными операциями и данными различных модальностей. Перемещение той или иной цели в фокус внимания означает организацию функционирования РП таким образом, что связанные с этой целью репрезентации будут получать преимущественную переработку, и выход цели из фокуса внимания будет означать организацию переработки РП вокруг новой цели. Таким образом, возможность оперативного удержания иерархии целей и её модификации в РП обеспечивает возможность осуществления целенаправленного поведения в условиях наличия отвлекающих поведенческих тенденций, а также гибкого изменения поведения при необходимости. Открытым сегодня остается вопрос о том, используется ли для удержания иерархии целей специализированная область хранения в РП. В любом случае, принципы объяснительной экономии заставляют предположить, что удержание этой важной динамической информации осуществляется с использованием механизмов РП.

Решение познавательных задач с использованием механизмов РП также зависит от функционального состояния человека. Состояния как комплексные феномены, имеющие проявления на разных уровнях психического, безусловно, связаны и с особой спецификой протекания когнитивных процессов. Хорошо известны, например, искажения в работе когнитивных процессов, возникающие в состоянии стресса или утомления. Относительно влияния изменений состояния на функционирование РП следует отметить, что в первую очередь такое влияние проявится в изменении его ресурсного обеспечения. Выше было неоднократно показано, что функционирование компонентов, связанных с хранением и переработкой информации в РП, зависит от наличия неспецифических когнитивных ресурсов. Такая зависимость может проявляться, например, в необходимости привлечения когнитивных ресурсов для переключения фокуса внимания, для перемещения информации между подсистемами хранения в РП, а также для ре-активации удерживаемых в РП умственных репрезентаций. Негативные функциональные состояния, связанные с истощением уровня когнитивных ресурсов, будут оказывать негативное влияние и на функциональные возможности РП. В этой связи следует отметить, что ограничения функциональных возможностей РП (например, объема оперативного хранения) могут быть не фиксированными, а являться ситуативными переменными, подлежащими межситуативной вариативности. Такая концептуализация функциональных ограничений РП проясняет появляющиеся сегодня новые данные о внутрииндивидуальной изменчивости показателей эффективности функционирования РП (Brose et al., 2012) и позволяет понять, почему требуется использование механизмов РП

решение познавательных задач варьирует в зависимости от состояния человека (Зиченко и др., 1977; Engle, 2002).

Рассматривая роль механизмов РП в решении сложных познавательных задач, невозможно обойти вниманием возможное влияние механизмов РП на реализацию функций креативности. Зависимость между индивидуальными особенностями РП и креативными способностями на сегодняшний день является достаточно хорошо доказанной (Дудорова, 2011; Lee & Therriault, 2013). Имеющиеся результаты о функциональной организации РП позволяют наметить контуры модели взаимодействий компонентов РП, объясняющей возникновение такой зависимости. Креативность, ассоциируемая с дивергентным мышлением, в своей основе может иметь те же механизмы построения образов ситуаций и их трансформации, которые лежат в основе решения открытых познавательных задач. Вследствие этого уровень креативности будет зависеть от функциональных ограничений РП, а также от возможности свободного *комбинирования* умственных репрезентаций на основе предоставляемых РП репрезентационных средств. В этой связи становится особенно отчетливым общепсихологическое значение РП как пространства для конструирования моделей не только реального, но и воображаемого окружения, позволяющего эффективно решать различные адаптационные задачи в условиях нехватки алгоритмических стратегий решения (Дружинин, 1999; Корнилова, 2016; Ушаков, 2003, 2007).

Важную роль в возникновении креативных способностей играют не только ограничения по объему удерживаемой информации и механизмы произвольной комбинации репрезентаций (Дудорова, 2011), но и компоненты, обеспечивающие произвольное распределение внимания между удерживаемыми в РП репрезентациями. От них зависит, в частности, в какой мере созданные в ходе креативного процесса трансформации исходных образов ситуаций будут удерживаться в фокусе внимания и раскрывать свой потенциал по решению стоящей перед человеком задачи. Важную роль в процессах креативности будет играть и степень произвольности при выборе информации в ДВП для её активации в РП, т.е. степень адаптивности интерфейса между ДВП и РП. При решении креативных задач проявляется целесообразная организация РП человека, обеспечивающая активацию необходимой информации из различных источников, её эффективное удержание, а также её произвольную трансформацию под влиянием семантических и мотивационных факторов на основе богатых возможностей применения операций «ментальной логики». Такая организация РП позволяет человеку решать самые

сложные задачи в условия недостатка информации и нечеткости исходных и целевых условий.

Решение познавательных задач, осуществляемое поэтапно, требует точечной активации фактов и правил, хранящихся в ДВП, репрезентации внешней стимуляции, построения модели условий задачи (образа ситуации), трансформации активированных репрезентаций, сохранения промежуточных результатов когнитивной переработки. Сознательно контролируемые умственные действия над репрезентациями РП дополняются автоматизированными когнитивными операциями, использование которых снижает требования к ресурсам сознательного контроля за когнитивной деятельностью. Эти процессы осуществляются на основе использования механизмов оперативного хранения, обеспечивающих удержание исходных данных и промежуточных результатов переработки. Собственно переработка критически зависит от эффективности работы системы управления вниманием. Избирательность переработки информации и энергетическое обеспечение решения познавательных задач в РП обеспечивается за счет мотивационных факторов, выделяющих те аспекты формирующегося решения, которые в наибольшей степени соответствуют потребностям человека.

Комбинированное применение этих механизмов обеспечивает необходимый уровень согласования сенсорно-перцептивных, интеллектуальных и моторных компонентов решения задачи, а прежде всего – оптимальное функционирование процессов принятия решения. На уровне перцептивных процессов компонент РП, ответственный за контроль внимания, совместно с мотивационными факторами обеспечивает отбор внешней стимуляции, имеющей первоочередное отношение к содержанию решаемой задачи. На уровне принятия решения механизмы РП, совместно с мотивационными механизмами и механизмами внимания, обеспечивают корректный отбор оснований для сравнения альтернатив, их сопоставление, а также выбор и удержание в максимально активированном состоянии оптимальной альтернативы и формирование плана действий по её реализации. В меньшей степени компоненты РП влияют на реализацию сформированных планов действий, однако и в этом случае можно предположить, что РП принадлежит известная роль в контроле за осуществлением сформированных на этапе принятия решений планов действий и в обеспечении хранения репрезентаций промежуточных результатов исполнительских действий. РП занимает поэтому центральное место в комплексе процессов, обеспечивающих решение сложных многошаговых задач, для которых отсутствуют решения, состоящие из объединений

перцептивных событий с когнитивными или моторными процедурами, активируемыми непосредственно в ДВП.

Результаты актуальных исследований функциональной архитектуры РП свидетельствуют о том, что её структура представляет собой гетерогенное объединение нескольких компонентов, различающихся своим функциональным назначением. В состав РП входят модально-специфичные и модально-неспецифичные компоненты хранения, основанные на механизмах ДВП и КВП. Также в составе РП могут быть дифференцированы компоненты, имеющие различные характеристики доступа к удерживаемой информации. В частности, активированная часть ДВП отличается опосредованным доступом к информации, который осуществляется через механизмы извлечения, в то время как регион прямого доступа и фокус внимания характеризуются скоростным, непосредственным доступом к хранящимся в этих компонентах репрезентациям. В состав РП, помимо компонентов хранения информации, входят компоненты, связанные с переработкой информации. Хотя функции этих компонентов изучены сегодня значительно хуже функций компонентов хранения, к ним с уверенностью можно отнести компонент, позволяющий осуществлять произвольное управление фокусом внимания – его «перемещение» в психологическом пространстве активированных в РП репрезентаций, его переключение между репрезентациями, его распределение между репрезентациями и процессами переработки и т.д.

Важной функцией компонента управления вниманием является произвольное снижение («подавление») интерферирующего потенциала репрезентаций, irrelevantных по отношению к актуально решаемой задаче, но активированных в силу каких-либо посторонних причин. Такими причинами может быть высокая эмоциональная значимость irrelevantных репрезентаций, их ассоциативная связь с релевантными репрезентациями и т.д. В любом случае эффективная работа механизмов управления вниманием позволяет ограничить irrelevantным репрезентациям доступ в РП, что является необычайно важным в условиях жестких ограничений её функциональных возможностей. Следует отметить, что описанный механизм произвольного подавления не исключает возможности существования автоматизированных механизмов подавления irrelevantных репрезентаций, не требующих участия компонента управления произвольного внимания. Такие автоматизированные механизмы существенно снижают нагрузку на компоненты РП, обеспечивающие сознательный контроль удерживаемой в ней информации и её переработку. Тем не менее, огромная вариативность прямо или косвенно активируемых в РП репрезентаций и контекстов их использования делает такой сознательный контроль

абсолютно необходимым. В силу этого, компоненты РП, связанные с управлением функциями оперативного хранения и переработки информации, играют огромную роль в обеспечении целенаправленного функционирования РП при решении самых разных познавательных задач.

Тесная связь механизмов РП с механизмами управления вниманием и, в целом, с механизмами управления поведением, позволяют предположить наличие тесной связи функций РП с активностью префронтальных отделов коры головного мозга, ответственных за программирование и регуляцию сложных форм поведения. Такая зависимость уже была показана в нейропсихологических и нейрофизиологических исследованиях. С точки зрения психологических механизмов, имеющиеся сегодня результаты позволяют связать функциональные возможности РП с выделением неспецифических когнитивных ресурсов для решения задач удержания информации в активированной форме и её целенаправленной переработки. При таком подходе хотя бы частичное объяснение получают функции гипотетического резервуара когнитивных ресурсов. РП в этой связи представляется системой, тесно связанной с эволюционно наиболее поздними формами сознательного контроля поведения.

РП является системой компонентов, обеспечивающих целенаправленную переработку релевантной актуальным познавательным и поведенческим задачам информации. Эта система характеризуется сложным распределением функций между компонентами, которое не является статическим, а может подлежать динамическим изменениям под влиянием изменения условий решения задачи. Динамически формирующаяся структура РП определяет её функциональные ограничения. Поэтому реальные возможности РП человека трудно уложить в фиксированную формулу, подобную формуле « $7 \pm 2$ ». Функциональные ограничения РП номинально могут быть гораздо более существенными, чем только что упомянутые, а также зависеть от функционального состояния человека. Тем не менее, богатейшие возможности по использованию автоматизированных когнитивных процедур свертывания и укрупнения репрезентаций на основе семантических связей ДВП значительно расширяют пределы РП человека, позволяя ему оперативно перерабатывать большие объемы информации. РП является системой, находящейся в центре познавательной сферы человека и имеющей связи с её основными элементами, что позволяет ей преодолевать структурно обусловленные ограничения при решении сложных задач. В силу этого понимание функциональной организации РП имеет большое значение для понимания организации сложной целенаправленной деятельности человека.

## Заключение

Понятие РП занимает одно из центральных мест в современных теориях познавательных процессов. Это обусловлено как теоретической концептуализацией РП в качестве необходимой для когнитивной деятельности системы оперативного хранения и переработки информации, так и неоднократно обнаруживаемыми эмпирическими связями между эффективностью функционирования РП и успешностью выполнения различных видов интеллектуально-сложной деятельности. В связи с особым положением РП в системе когнитивных процессов человека большое значение сегодня приобретают исследования строения РП и обеспечивающих её функционирование когнитивных механизмов. Данное исследование было направлено на изучение функциональной организации РП, понимаемой как динамической многокомпонентной системы оперативного хранения и переработки умственных репрезентаций.

Диссертационное исследование проводилось с целью выявления особенностей функциональной организации РП человека как системы оперативного хранения и переработки информации, поддерживающей решение актуальных для человека задач. Для достижения этой цели был реализован комплекс эмпирических исследований особенностей выполнения различных классов заданий, требующих использования РП, в условиях, дифференцированно активирующих различные компоненты и механизмы РП. В ходе проведения указанных эмпирических исследований были решены следующие задачи диссертационной работы:

1. Исследовано влияние факторов, селективно влияющих на оперативное хранение и переработку информации при выполнении двух вариантов заданий на определение объема РП. Подтверждено существование функционально различных компонентов РП – фокуса внимания, региона прямого доступа, активированной части ДВП, дифференциально-чувствительных к действию экспериментально манипулируемых факторов (нагрузка на РП, интерференция, сложность переработки).
2. Исследовано влияние факторов, селективно влияющих на оперативное хранение и переработку информации при выполнении заданий на обновление РП. Получены результаты, подтверждающие выводы о наличии в структуре РП компонентов фокус внимания, регион прямого доступа и активированная часть ДВП.
3. Проведено исследование влияния нарушений механизмов долговременного хранения у лиц – носителей генотипа АРОЕ-4 – на эффективность выполнения заданий на определение объема РП и заданий на обновление РП. Показано участие механизмов ДВП в решении задачи оперативного хранения информации, а также возможность

гибкой настройки функциональной организации РП на эффективное выполнение функций оперативного хранения в условиях выпадения отдельных функциональных компонентов.

4. Исследованы позиционные эффекты, возникающие при выполнении разных классов заданий на определение объема РП. Получены результаты относительно соотношения механизмов долговременного и кратковременного хранения при оперативном хранении информации в РП, их соотнесенности с выделенными компонентами РП, феноменов обмена информацией между компонентами РП при реализации функций РП и влияния сложности когнитивной переработки в РП на эффективность взаимодействия компонентов РП.
5. Выявлена структура корреляционных взаимосвязей между показателями эффективности выполнения разных классов заданий на РП (сложных заданий на определение объема РП, упрощенных заданий на определение объема РП, заданий на обновление РП). Определена структурная модель компонентов РП их взаимосвязей. Получены результаты о соответствии латентных факторов, выделяемых из показателей эффективности выполнения заданий на РП, гипотетическим компонентам хранения и переработки информации в РП.
6. На материале выполнения задания на обновление РП исследовано влияние факторов когнитивного контроля (контроля интерференции и переключения между задачами), связанных с параметризацией когнитивной сферы человека в соответствии с особенностями контекста и решаемых задач, на осуществление функций РП. Получены результаты относительно общего влияния факторов когнитивного контроля на эффективность функций РП. Получены результаты относительно специфического влияния факторов эффективности контроля интерференции, его видов и фактора эффективности смены когнитивных установок на эффективности выполнения функций хранения и переработки информации в РП. Сделаны выводы о относительном приоритете выполнения функций хранения и переработки в условиях недостаточной ресурсной обеспеченности.
7. На материале особенностей выполнения зрительно-пространственной задачи и сопровождающей её глазодвигательной активности изучено влияния распределения когнитивных ресурсов между компонентами РП при одновременной реализации функций хранения и переработки. Получены результаты относительно обеспечения взаимодействия модально-специфических компонентов РП неспецифическими когнитивными ресурсами. Получены результаты об относительной роли сознательно-управляемых и автоматизированных процессов в реализации функций РП при

одновременном хранении и переработке информации в модально-специфичных компонентах РП.

8. Исследовано влияние нагрузки на РП на эффективность выполнения сложной познавательной задачи (на примере навигации в иерархически организованном меню). На этом материале изучены механизмы взаимодействия компонентов РП, оценена роль неспецифических ресурсов, изучена функциональная организация РП при динамическом сочетании функций оперативного хранения и трансформации когнитивных репрезентаций. Оценены особенности функциональной организации РП при решении экологически валидных познавательных задач.
9. Обобщены данные об особенностях выполнения различных классов заданий на РП в условиях повышенной нагрузки на РП, интерференции между когнитивными репрезентациями в РП, повышенной сложности операций переработки информации в РП, а также об эмпирических зависимостях между показателями эффективности их выполнения. На этой основе раскрыты особенности когнитивных механизмов выполнения заданий на РП, соответствующие особенностям её функциональной организации.
10. В результате обобщения имеющихся литературных и полученных экспериментальных, квазиэкспериментальных и корреляционных данных о когнитивных механизмах хранения и переработки информации в РП, её функциональной организации раскрыта роль РП в осуществлении сложной познавательной деятельности.

Анализ полученных при проведении диссертационного исследования данных позволили получить ряд результатов относительно функциональной организации РП как системы решения оперативных задач хранения и переработки информации. Они будут обобщены ниже.

На основе проведенных исследований получены результаты о структуре РП и её компонентном составе. Подтверждены представления о возможности выделения в составе РП трех компонентов: фокуса внимания, региона прямого доступа и активированной части ДВП. Полученные результаты свидетельствуют о реализации функции хранения информации в РП механизмами как кратковременного, так и долговременного хранения. Регион прямого доступа представляет собой ассоциированную с механизмами кратковременного хранения систему хранения небольшого объема, обеспечивающую скоростной доступ к надежно сохраняемой информации. В этой системе хранения удерживается 3-4 независимые когнитивные репрезентации. Информация в регионе прямого доступа слабо подвержена распаду с течением времени или под действием

интерференции и может быть использована для решения оперативных задач на микроинтервалах времени. Особенностью активированной части ДВП является значительный объем удерживаемой информации, что позволяет решать задачи со значительными требованиями к количеству перерабатываемой информации. Недостатком этой системы хранения является её зависимость от негативного воздействия интерференции и возможного распада удерживаемых репрезентаций с течением времени.

Полученные результаты также свидетельствуют о реализации функции переработки информации в РП на основе фокуса внимания. Функцией фокуса внимания является удержание одной когнитивной репрезентации, являющейся предметом текущей когнитивной переработки. Перемещение фокуса внимания осуществляется на основе сочетания процессов исполнительного контроля внимания и автоматизированных процессов «захвата внимания». Информация в фокусе внимания и процессы её переработки изолированы от влияния содержащейся в остальных компонентах РП информации.

Адаптивный смысл подтверждаемой результатами проведенных эмпирических исследований трехкомпонентной структуры РП заключается в нахождении динамического баланса между противоречащими тенденциями к фокусировке когнитивной переработки на единственной репрезентации или её расширению на максимальное количество релевантных репрезентаций. Относительная независимость фокуса внимания от других компонентов РП позволяет реализовать тенденцию сужения «пространства переработки» и выстраивая когнитивную деятельность в направлении реализации одной поведенческой альтернативы. Регион прямого доступа обеспечивает такому подходу необходимую гибкость, удерживая в активированном состоянии репрезентации, для которых высока вероятность их использования в ближайшем будущем. Хранение большого количества менее вероятных альтернатив осуществляется с помощью механизмов активированной части ДВП, большой объем которой позволяет также реализовать тенденцию расширения «пространства переработки».

Было обнаружено, что в ходе решения когнитивных задач между компонентами РП осуществляется обмен информацией. Обычно репрезентации «загружаются» в фокус внимания из региона прямого доступа. Информация в фокус внимания может отбираться также из репрезентаций, относящихся к активированной части ДВП. Для этого в дополнение к механизму селекции репрезентаций из региона прямого доступа должен существовать механизм, позволяющий фокусу внимания произвольно перемещаться

между репрезентациями, активированными в ДВП. Комбинация этих механизмов может обеспечить своевременный доступ к любой информации, необходимой для решения задачи, даже если эта информация не рассматривалась ранее как релевантная. При этом в РП существует иерархия репрезентационных состояний, определяющая особенности хранения репрезентаций и возможности их использования в целях текущей переработки. Было обнаружено, что факторы, соответствующие региону прямого доступа и активированной части ДВП, не являются полностью независимыми, а коррелируют между собой, что свидетельствует об особой выраженности взаимодействия между ними. Взаимодействие региона прямого доступа и активированной части ДВП может проявляться в двух разнонаправленных схемах обмена данными. Репрезентации могут «загружаться» в регион прямого доступа с целью оптимизации процессов актуализации релевантной для решения текущей задачи информации. Потерявшая актуальность информация должны «выгружаться» из региона прямого доступа в активированную часть ДВП. Такая «выгрузка» репрезентаций особенно актуальна в тех случаях, когда объем хранения региона прямого доступа меньше объема подлежащей оперативному удержанию информации.

Особую роль при взаимодействии фокуса внимания и других компонентов РП могут играть ресурсы внимания. Функцией механизмов управления внимание в РП является произвольная концентрация внимания на релевантных для решения текущих задач репрезентациях в тех или иных компонентах РП, а также активное подавление тенденций к концентрации внимания на иррелевантных репрезентациях, которые также могут быть представлены в РП.

В результате проведенных исследований было показано, что переработка информации является одной из неотъемлемых функций РП. Исследование корреляций показателей эффективности выполнения заданий на РП и моделирующее исследования структуры РП показывает значительную независимость функций переработки и хранения, реализуемых процессами РП. Важным результатом исследования особенностей выполнения заданий на РП является обнаружение независимости фактора сложности когнитивной переработки от факторов, селективно влияющих на хранение информации в РП. Такая устойчивая независимость сложности переработки информации в РП свидетельствует о том, что реализация функции переработки осуществляется независимо от реализации функции оперативного хранения. Относительная изолированность фокуса внимания от других компонентов обуславливает существование специализированных «интерфейсов» взаимодействия фокуса внимания и других компонентов РП. Реализация

переработки информации в отрыве от её хранения позволяет обеспечить продолжение целесообразных трансформаций информации даже в условия нарушения функционирования других компонентов РП. Модуляризация фокуса внимания, возможно, обеспечивает реализацию принципа «преимущества переработки», согласно которому целесообразная переработка информации имеет приоритет в любых обстоятельствах.

Реализация функций переработки информации в РП опирается на сложные взаимодействия автоматических и сознательно контролируемых процессов. При достаточно высокой нагрузке на РП алгоритмы решения задач переработки лишаются избыточных «степеней свободы», опираясь на использование автоматизированных операций, позволяющих процессам переработки быстро получать необходимый результат. Свободные ресурсы переработки, имеющиеся при относительно низкой нагрузке, оставляют широкие возможности для выбора стратегии решения задач средствами РП.

Переработка информации в РП может осуществляться различными способами и основывается на формировании различных стратегий трансформации когнитивных репрезентаций и использовании различных элементарных операций, еще подлежащих выявлению. Особый вид переработки в РП заключается в формировании стратегий перекодирования оперативно удерживаемой информации в форму, пригодную для её удержания в ДВП. В составе РП должны присутствовать компоненты, реализующие выполнение «мета-задач» по управлению решением собственно задач переработки.

Результаты проведенных исследований показывают, что переработка информации в РП зависит от наличия резерва когнитивных ресурсов. Неспецифические когнитивные ресурсы необходимы для того, чтобы осуществлять связанные с решаемой задачей трансформации когнитивных репрезентаций. Неспецифические когнитивные ресурсы также используются для поддержки функции хранения информации в компонентах РП и перемещения информации между компонентами РП. Кроме того, неспецифические когнитивные ресурсы обеспечивают «выгрузку» нерелевантных решению задачи репрезентаций из РП.

Новизна исследования обусловлена получением новых результатов о структурно-функциональной организации РП. Впервые получены результаты о справедливости представлений о трехкомпонентной структуре РП на материале особенностей выполнения разных классов заданий на определение объема РП и заданий на обновление РП. Впервые получены результаты о независимости переработки в фокусе внимания от факторов, влияющих на оперативное хранение информации в РП. Впервые на материале выполнения

заданий на РП носителями генотипа АРОЕ-4 получены данные об особенностях реализации функций РП у лиц с генетически обусловленными нарушениями механизмов долговременного хранения и сделаны выводы об оптимизации функций РП за счет активации сохранных компонентов РП в этих условиях. Получены новые результаты о выраженности позиционных эффектов при выполнении разных классов заданий на РП и показана зависимость величины позиционных эффекта от сложности когнитивной переработки и связанного с ней уровня использования неспецифических когнитивных ресурсов.

Новыми являются результаты о трехфакторной структуре корреляционных взаимосвязей показателей эффективности выполнения заданий на РП, соответствующей трехкомпонентной структуре РП. Впервые построена структурная модель компонентов РП. Впервые методами структурного моделирования выявлены независимость латентного фактора фокуса внимания от латентных факторов, соответствующих другим компонентам РП и корреляция латентных факторов региона прямого доступа и активированной части ДВП. Впервые получены результаты о влиянии эффективности переключения между задачами на эффективность реализации функций РП. Новыми являются результаты о дифференциальном влиянии переключения между задачами и подавления интерференции на реализацию функций хранения и переработки информации в РП. Новыми являются данные о перераспределении неспецифических когнитивных ресурсов между модально-специфическими системами хранения и появлении глазодвигательных признаков автоматизации переработки в модально-специфическом компоненте, испытывающем нехватку когнитивных ресурсов. Получены новые результаты о участии механизмов РП в осуществлении навигации в иерархически структурированных меню, в частности, впервые обнаружено уменьшение «эффекта расстояния» при повышении нагрузки на РП.

В целом, в исследовании получены результаты, подтверждающие представления о концентрической структуре РП, функциональных особенностях различных компонентов РП, а также о механизмах обмена информацией между компонентами РП и других форм межкомпонентного взаимодействия в РП. Получены новые данные об особенностях переработки информации в РП, роли внимания и неспецифических когнитивных ресурсов в реализации функций РП. Впервые получены результаты о существовании механизмов перераспределения когнитивных ресурсов между компонентами РП соответственно требованиям решаемых задач. Новыми являются результаты о взаимодействии функций когнитивного контроля и функций РП. Впервые в рамках единой теоретической концепции рассмотрены когнитивные механизмы разных классов заданий на РП. Новыми

являются обобщения о роли функциональной организации РП в реализации сложной познавательной деятельности. Полученные результаты о функциональной организации РП расширяют представления о структурной организации РП, её функциональных механизмах и ограничениях, а также целесообразной оптимизации её функционирования при решении познавательных задач.

Практическая значимость полученных результатов обусловлена большим значением функциональной организации РП в осуществлении различных видов практически значимых видов деятельности, опосредованных построением и трансформацией когнитивных репрезентаций. На основе полученных результатов может быть сделан ряд практических рекомендаций:

1. Особенности функциональной организации РП и связанные с ней функциональные ограничения РП должны учитываться при проектировании средств взаимодействия в человеко-машинных системах. В частности, при проектировании человеко-машинных интерфейсов должна обеспечиваться возможность удержания всей оперативно необходимой информации в фокусе внимания и регионе прямого доступа. Это может быть достигнуто за счет оптимизации используемых информационных структур, а также за счет выгрузки информации во внешние информационные системы с развитыми средствами контекстуального поиска. Учет ограничений РП особенно важен в операторских профессиях, требующих переработки значительных объемов информации в условиях неопределенности. В этой связи учет функциональных ограничений РП особенно важен при проектировании информационных сред, поддерживающих необходимый уровень осознания ситуации. При этом необходимо обеспечить идентификацию небольшого (в пределах объема региона прямого доступа) количества индикаторов состояния управляемой системы, интеграция значений которых в РП позволит построить адекватный ситуации оперативный образ технической системы. При проектировании человеко-машинных и человеко-компьютерных интерфейсов также необходимо учитывать ограниченность обеспечивающих реализацию функций РП неспецифических когнитивных ресурсов. Это особенно важно в мобильном контексте использования вычислительных средств, для которого характерна повышенная нагрузка на ресурсы сознательного контроля деятельности. Снижение ситуативных требований к неспецифическим ресурсам может обеспечиваться за счет автоматизации рутинных операций, снижения сложности процедур взаимодействия, а также за счет средств автоматического мониторинга качества деятельности.

2. Особенности функциональной организации РП должны учитываться при формировании программ обучения. Усвоение (восприятие, переработки и интеграция) нового материала в ходе обучения может значительно облегчаться в случае, когда количество предъявляемой информации соответствует объему региона прямого доступа, когда в предъявляемой информации эксплицируются связи между информационными элементами (что облегчает формирование интегрированных репрезентаций в активированной части ДВП), а также когда форма и последовательность предъявления материала минимизирует необходимость переключения внимания и активации функций когнитивного контроля. Важным представляется минимизация интерференции между элементами преподаваемого материала, в частности, за счет одновременного использования как вербальной, так и зрительной формы предъявления материала.
3. Диагностика индивидуальных особенностей РП может являться элементом диагностических систем для поддержки профессионального отбора. Индивидуальные характеристики РП могут быть надежными предикторами эффективности осуществления различных видов практически значимой деятельности, опосредованной общими способностями. Представляется, что диагностическое значение функциональных возможностей РП будет особенно высоким для профессий, предъявляющих повышенные требования к принятию решения на основе сознательной переработки большого количества разнородной информации в условиях интерференции. Диагностика характеристик РП может иметь большое практическое значение и для диагностики определяющего качество жизни когнитивного потенциала при нормальном и патологическом когнитивном старении, а также при различных патологических состояниях в разном возрасте. Важным практическим преимуществом тестирования функций РП по сравнению с другими методами оценки когнитивных способностей человека является его высокая надежность и валидность, а также относительная простота и высокая скорость реализации диагностических процедур. Диагностика актуальных функциональных возможностей РП может стать важной предпосылкой своевременного обнаружения неблагоприятных функциональных состояний у человека и предупреждения ошибок деятельности.
4. Диагностика индивидуальных особенностей РП не может ограничиваться тестированием особенностей кратковременного хранения, а должна сочетать тестирование функций оперативного хранения и переработки (например, при их одновременной реализации). При тестировании представляется важным варьировать нагрузку на РП в широком диапазоне, так как при этом могут происходить

качественные изменения стратегии оперативного хранения информации. Для детальной диагностики функциональных возможностей РП следует создавать такие условия, при которых в целях оперативного хранения и переработки информации будут задействованы функции управления вниманием. Тестирование различных функциональных механизмов РП позволит получить полное представление о индивидуальной функциональной организации РП, недоступное при применении традиционных средств оценки эффективности кратковременного хранения.

5. При разработке программ когнитивной тренировки следует широко использовать задания, выполнение которых требует участия РП. В той мере, в которой такая тренировка приводит к расширению функциональных возможностей РП, это позволит добиться улучшения эффективности выполнения различных познавательных задач. Следствием может стать повышение качества принимаемых человеком решений и качества жизни в целом при различных неблагоприятных патологических и функциональных состояниях. Недостаточная эффективность программ когнитивной тренировки, обнаруживаемая в современных исследованиях, может быть компенсирована за счет использования таких заданий на РП, для выполнения которых должны быть задействованы различные когнитивные механизмы РП. В частности, предпочтение следует уделять методикам, требующим одновременной реализации функций оперативного хранения и переработки информации.

Анализ полученных в данном исследовании результатов и их обобщение позволили сделать следующие **выводы**:

1. Структура РП является неоднородной и содержит компоненты фокуса внимания, региона прямого доступа и активированной части ДВП. В фокусе внимания удерживаются умственные репрезентации, являющиеся предметом когнитивной переработки. Регион прямого доступа удерживает небольшое (3-4) количество наиболее релевантных решению актуальной задачи репрезентаций в состоянии высокой доступности. В активированной части ДВП удерживается произвольное количество репрезентаций, активированных в контексте решения актуальной задачи. Компоненты различаются своими функциональными возможностями и играют различную роль в решении познавательных задач.
2. Хранение информации в РП осуществляется при помощи механизмов как кратковременного, так и долговременного хранения. Механизмы кратковременного хранения используются для оперативного хранения информации, имеющей особую значимость для решения текущей

познавательной задачи. Механизмы долговременного хранения используются для хранения информации, активированной при решении текущей познавательной задачи.

3. Переработка информации в фокусе внимания не зависит от реализации функций хранения в РП. При недостаточной ресурсной обеспеченности функций хранения и переработки, приоритет приобретает функция переработки.
4. Компоненты РП взаимодействуют между собой на основе механизмов обмена информацией. Обмен информацией между компонентами РП обеспечивает своевременный доступ к необходимой информации в условиях ограничения функциональных возможностей РП.
5. Эффективное хранение и переработка информации в компонентах РП обеспечивается действием специализированных механизмов. К ним относятся механизмы управления фокусом внимания, механизмы поиска информации в компонентах РП и в ДВП, механизмы распределения функциональных ресурсов РП между её компонентами в зависимости от требований задачи, а также механизмы контроля интерференции в РП. Функциональные механизмы РП действуют согласованно с целью оптимизации функционирования РП в различных условиях.
6. РП характеризуется динамическим перераспределением ресурсов между компонентами РП. При необходимости увеличить активацию каких-либо компонентов РП когнитивные ресурсы отвлекаются от других компонентов РП. Механизмы динамического перераспределения ресурсов РП обеспечивают максимальный уровень функционирования тех компонентов РП, которые необходимы для решения актуальной задачи.
7. Функционирование РП обеспечивается неспецифическими когнитивными ресурсами. Неспецифические ресурсы обеспечивают реализацию как функции хранения, так и функции переработки информации в РП. Неспецифические ресурсы используются для подавления активации irrelevantных репрезентаций и усиления активации релевантных репрезентаций в РП, определяя направление и эффективность когнитивной переработки информации в РП. Неспецифические ресурсы также обеспечивают обмен информацией между компонентами РП.
8. Механизмы выполнения различных классов заданий на РП учитывают структуру этих заданий и особенности функциональной организации РП. При

выполнении заданий на определение объема РП для хранения информации используется активированная часть ДВП, а для решения задачи по переработке – фокус внимания и регион прямого доступа. При выполнении заданий на обновление РП преимущественно используется фокус внимания и регион прямого доступа. Создание заданий на РП с целью оценки функциональных ограничений РП и когнитивной тренировки должно быть обязательно направлено на использование функций хранения и переработки, использования всех компонентов РП и задействования максимального количества функциональных механизмов РП.

9. Индивидуальные ограничения РП и особенности её функциональной организации влияют на процесс решения сложных познавательных задач. РП может использоваться для построения образа ситуации и образа результата. Механизмы РП обеспечивают целесообразный выбор релевантных когнитивных репрезентаций, а также трансформацию активированных репрезентаций в направлении достижения результирующего состояния.
10. РП является многокомпонентной системой, функциональная организация которой обеспечивает реализацию функций хранения и переработки информации. Функциональная организация РП позволяет осуществлять гибкую настройку механизмов РП на решение различных классов имеющих адаптационное значение познавательных задач в различных условиях при существовании выраженных ограничений функциональных возможностей РП.

В заключение следует отметить, что результаты проведенных исследований подкрепляют представления о РП как важном элементе системы когнитивных процессов человека. РП обеспечивает оперативные целесообразные трансформации когнитивных репрезентаций, лежащие в основе различных форм когнитивной деятельности. РП память имеет сложную многокомпонентную организацию, а её функционирование обеспечивается различными взаимодействующими механизмами, что отражает сложность выполняемых РП задач. Функциональная организация РП характеризуется значительной гибкостью, обеспечивающей оптимальную реализацию функций оперативного хранения и переработки при различных внутренних и внешних условиях когнитивной деятельности.

## Литература

1. Адамова К.М. Развитие оперативной памяти при обучении аудированию английской речи в условиях национальной школы // Известия Российского государственного педагогического университета им. А.И. Герцена. 2007. Т. 16. № 40. С. 321-324.
2. Агафонов А.Ю. Когнитивная психомеханика сознания, или Как сознание неосознанно принимает решение об осознании. Самара: Универс-групп, 2006.
3. Агафонов А.Ю. Как изучать сознание? // Известия Самарского научного центра РАН. 2011. Т. 13. № 2. С. 85-90.
4. Агрис А.Р., Егорова О.И., Матвеева Е.Ю., Романова А.А. Нейропсихологические и нейрофизиологические исследования вариантов синдрома дефицита внимания с гиперактивностью // Современная зарубежная психология. 2012. № 1. С. 6-19.
5. Александров Ю.И. Системно-эволюционный подход: наука и образование // Культурно-историческая психология. 2009. № 4. С. 33-43.
6. Аллахвердов В.М. Методологическое путешествие по океану бессознательного к таинственному острову сознания. СПб.: Речь, 2003.
7. Аллахвердов В.М. Как сознание решает задачи научения и заучивания // Российский психологический журнал. 2005. Т. 2. № 1.
8. Аллахвердов В. М., Воскресенская Е. Ю., Науменко О. В. Сознание и когнитивное бессознательное // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 12. Социология. 2008. № 2. С. 10-19.
9. Ананьев Б. Г. О проблемах современного человекознания. М.: Наука, 1977.
10. Анохин П. К. Теория функциональной системы // Успехи физиологических наук. 1970. Т. 1. № 1. С. 19-54.
11. Анохин П.К. Принципиальные вопросы общей теории функциональных систем // Принципы системной организации функций. М.: Наука, 1973. С. 5-61.
12. Анохин П.К. Системные механизмы высшей нервной деятельности. М.: Наука, 1979.
13. Асмолов А.Г. По ту сторону сознания: Методологические проблемы неклассической психологии. М.: Смысл, 2002.
14. Асмолов А.Г., Михалевская М.Б. От психофизики «чистых ощущений» к психофизике «сенсорных задач» // Проблемы и методы психофизики. М., 1974.
15. Аткинсон Р. Человеческая память и процесс обучения / Под ред. Ю.М. Забродина и Б.Ф. Ломова. М.: Прогресс, 1980.
16. Баддли А., Айзенк М., Андерсон М. Память. СПб.: Питер, 2011.

17. Барабанщиков В.А. Системная организация и развитие психики // Психологический журнал. 2003. Т. 24. № 1. С. 29-46.
18. Барабанщиков В.А. Системный подход в структуре психологического познания // Методология и история психологии. 2007. Т. 2. № 1. С. 86-99.
19. Барабанщиков В.А., Носуленко В.Н. Системность. Восприятие. Общение. М.: Институт психологии РАН, 2004.
20. Барабанщиков В.А., Жегалло А.В. Айтрекинг: Методы регистрации движений глаз в психологических исследованиях и практике. М.: Когито-центр, 2014.
21. Батуев А.С., Курзина Н.П., Воеводина О.В., Петрова Н.Н., Шанина Ю.В., Султанов И.Ю. Сравнительная характеристика процессов памяти и внимания у женщин и мужчин с алкогольной зависимостью // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 3: Биология. 2007. № 4. С. 93-101.
22. Башпыков А.А. Принципы анализа деятельности человека-оператора как элемента интеллектуальной системы управления сложными технологическими объектами // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. 2015. № 2. С. 12-17.
23. Белова А.П., Малых С.Б. Природа индивидуальных различий рабочей памяти // Теоретическая и экспериментальная психология. 2013. Т. 6. С. 54-64.
24. Бернштейн Н.А. О построении движений М.: Медгиз, 1947.
25. Бернштейн Н.А. Очерки по физиологии движений и физиологии активности. М.: Медицина, 1966.
26. Бетелева Т.Г., Сеницын С.В. Связанные с событием потенциалы на разных этапах реализации зрительной рабочей памяти // Физиология человека. 2008. Т. 34. № 3. С. 5-15.
27. Блонский П. П. Память и мышление. М.: Гос. соц.-экон. изд-во, 1935.
28. Бочарова С. П. Объем памяти и ценность информации // Проблемы психологии памяти. Харьков, 1969. С. 100-112.
29. Бочарова С. П. Память как процесс переработки информации: Автореф. дис. ... д-ра психол. наук. Л., 1976.
30. Бочарова С. П. Память как базовая функциональная система в структуре деятельности человека-оператора // Психологический журнал. 1981. Т. 2. № 3. С. 3—9.
31. Брунер Дж. Психология познания. За пределами непосредственной информации. М., 1977.

32. Бэддели А. Работает ли все еще рабочая память? // Когнитивная психология: история и современность. Хрестоматия. / Под ред. М. Фаликман и В. Спиридонова. М., 2011. С. 312-321.
33. Веккер, Л.М. Психические процессы. В 3-х т. Т. 3. Субъект. Переживание. Действие. Сознание. Л.: Изд-во Ленинградского университета, 1981.
34. Величковский Б.Б. Возможности когнитивной тренировки как средства коррекции возрастных изменений когнитивного контроля // Экспериментальная психология.- 2009. Т. 2. № 4. С. 67-91.
35. Величковский Б.Б., Козловский С.А. Рабочая память человека: Фундаментальные исследования и практические приложения // Интеграл. 2012. Т. 68. № 6. С. 14-16.
36. Величковский Б.Б. Использование механизмов кратковременного и долговременного хранения информации при выполнении заданий на рабочую память // Вестник Костромского Государственного Университета им. Н А Некрасова Серия Педагогика, психология социальная работа, ювенология, социокинетика. 2013. Т. 19, № 3. С. 29–32.
37. Величковский Б.Б. Структура корреляционных зависимостей между показателями эффективности выполнения разных классов заданий на рабочую память // Вестник Московского университета. Серия 14. Психология. 2014. № 4. С. 18–32.
38. Величковский Б.Б., Морозов М.А. Динамика размера зрачка при обнаружении и пропуске сигнала в задаче различения стимулов // Материалы XVI Международной конференции по нейрокибернетике. Том 1. Ростов-на-Дону: Издательство ЮФУ, 2012. С. 344-346.
39. Величковский Б.Б., Рощина И.Ф., Чудина Ю.А., Меликян З.А., Селезнева Н.Д. Когнитивные особенности здоровых носителей генотипа АРОЕ-4 // Пятая международная конференция по когнитивной науке: Тезисы докладов: В 2 т. Калининград, 18–24 июня 2012 г. – Калининград, 2012.- Т.1.- С. 286-287.
40. Величковский Б.М. Автоматизмы памяти / Под ред. Н.Н. Корж / Исследование памяти. М.: Наука, 1990.
41. Величковский Б.М. От уровней обработки к стратификации познания // Вопросы психологии. 1999. Т. 45, № 4. С. 58–75.
42. Величковский Б.М. Когнитивная наука. Основы психологии познания. В 2-х т. М.: Академия, 2006.
43. Выготский Л.С. Собр. соч.: В 6 т. М., 1982-1984.
44. Выготский Л. С. Развитие высших психических функций. М., 1960.

45. Гальперин П.Я. Психология мышления и учение о поэтапном формировании умственных действий // Исследования мышления в советской психологии. М.: Наука, 1966.
46. Гальперин П.Я. Введение в психологию. М.: 1976.
47. Гидлевский А.В. Сознание как рабочая память // Вестник Омского университета. 2015. №2. С. 95-96.
48. Голубева Э. А. Индивидуальные особенности памяти человека. М.: 1980.
49. Горев А.С. Влияние произвольной регуляции функционального состояния на организацию корковых процессов при мнестической деятельности у школьников 9-10 лет // Физиология человека. 2007. Т. 33. № 2. С. 35-41.
50. Грановская Р. М. Восприятие и модели памяти. М.: Наука, 1974.
51. Гусев А.Н. Дисперсионный анализ. М.: УМК «Психология», 2000.
52. Гусев А.Н. Психофизика сенсорных задач: Системно-деятельностный анализ поведения человека в ситуации неопределенности. М.: Изд-во Моск. ун-та; УМК «Психология», 2004.
53. Данилова Н.Н., Лукьянчикова М.С. Осцилляторная активность мозга в рабочей памяти // Вестник Московского университета. Серия 14: Психология. 2008. № 3. С. 37-53.
54. Дегтяренко И.А., Леонова А.Б. Экспериментальная разработка комплексного подхода к оценке юзабилити интернет-сайтов // Психологические исследования. 2012. Т. 22. № 2. С.
55. Дмитриева Е.С., Гельман В.Я., Зайцева К.А., Ланько С.В. Возрастные особенности взаимосвязи успешности обучения и характеристик слуховой оперативной памяти // Журнал высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова. 2007. Т. 57. № 3. С. 268-275.
56. Дормашев Ю.Б., Романов В.Я. Психология внимания. М.: Тривола, 1995.
57. Дружинин В.Н. Психология общих способностей. СПб.: Издательство «Питер», 1999.
58. Дудорова Е.В. Объем памяти как фактор креативности дошкольников // Вестник Пермского университета. Философия. Психология. Социология. 2011. № 1. С. 56-60.
59. Дункер К. Психология продуктивного (творческого) мышления // Психология мышления. М., 1965. С. 86-234.
60. Журавлев А.Л., Корж Н.Н. Проблемы междисциплинарного исследования памяти / Под ред. А.Л. Журавлева, Н.Н. Корж // Междисциплинарные исследования памяти. М.: Институт психологии РАН, 2009. С. 5-16.
61. Забродин Ю.М. Методологические проблемы исследования и моделирования функциональных состояний человека-оператора // Психические состояния и эффективность деятельности / Под ред. Ю.М. Забродина. М., 1983. С. 3-28.

62. Забродин Ю. М., Зинченко В. П., Ломов Б. Ф. Анализ структуры и организации памяти // Человеческая память и процесс обучения / Аткинсон Р. М.: Прогресс, 1980. С. 5—22.
63. Запорожец А.В. Избранные психологические труды. В 2 т. М.: Педагогика, 1986.
64. Зараковский Г.М., Павлов В.В. Закономерности функционирования эргатических систем. М.: Радио и связь, 1987.
65. Зинченко В.П. Зрительное восприятие и творчество. Микроструктурный анализ процессов восприятия и кратковременной памяти // Техническая эстетика. 1975. Т. 8. С. 1-5.
66. Зинченко В. П. Образ и деятельность. М.: МОДЭК, 1997.
67. Зинченко В.П., Гордеева Н.Д. Функциональная структура действия. М.: Изд. МГУ, 1982.
68. Зинченко В.П., Леонова А.Б., Стрелков Ю.К. Психометрика утомления. М.: Изд-во Московского университета, 1977.
69. Зинченко П. И. Непроизвольное запоминание. М.: Изд. АПН РСФСР, 1961.
70. Зинченко П.И. Вопросы психологии памяти // Материалы XVIII Международного психологического конгресса. Симпозиум 22. М.: 1966. С. 9-16.
71. Зинченко Т.П. Память в экспериментальной и когнитивной психологии. СПб.: Питер, 2002.
72. Знаков В.В. Влияние особенностей восприятия и оперативной памяти на процессы целеобразования при решении задачи // Вопросы психологии. 1979. № 5. С. 106-112.
73. Зотов М.В., Ахмедова И.С. Динамический подход к оценке психофизиологических факторов произвольной регуляции когнитивной деятельности // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Психология. 2011. № 18 (235). С. 10-19.
74. Исмагуллина В.И. Изучение планирования как когнитивной функции в современной психологии // Теоретическая и экспериментальная психология. 2013. Т. 6. № 3. С. 65-77.
75. Канеман Д. Внимание и усилие. М.: Смысл, 2006.
76. Карпов А. В. Метасистемная организация уровней структур психики. М.: Изд-во ИП РАН, 2004.
77. Карпов А. В. Рефлективная детерминация деятельности и личности. М.: Изд. дом РАО, 2012.
78. Карпов А. В., Скитяева И. М. Психология метакогнитивных процессов личности. М.: Изд-во «Институт психологии РАН», 2005.

79. Клацки Р. Память человека. Структура и процессы. М.: Мир, 1978.
80. Клингберг Т. Перегруженный мозг. Информационный поток и пределы рабочей памяти. М.: Ломоносовъ, 2010.
81. Козловский С.А. Мозговые механизмы удержания зрительного образа в рабочей памяти // Психология. Журнал Высшей школы экономики. 2005. Т. 2. № 3. С. 142-147.
82. Козловский С.А., Величковский Б.Б., Вартанов А.В., Никонова Е.Ю., Величковский Б.М. Роль областей цингулярной коры в функционировании памяти человека. // Экспериментальная психология. 2012. Т.5. №1. С. 12-22.
83. Конопкин О.А. Функциональная структура саморегуляции деятельности и поведения // Психология личности в социалистическом обществе. М., 1989.
84. Корж Н.Н. Изучение динамики мнемических процессов // Психологический журнал. 1981. Т. 2. № 5. С. 100-106.
85. Корж Н.Н. Едина ли память ? // Психологический журнал. 1984. Т. 5. № 1. С. 103 – 111.
86. Корнилова Т. В. Принцип неопределенности в психологии выбора и риска // Психологические исследования (электронный журнал). 2015. Т. 8. № 40. С. 3.
87. Корнилова Т. В. Интеллектуально-личностный потенциал человека в условиях неопределенности и риска. СПб.: Нестор-История, 2016.
88. Костандов Э.А., Курова Н.С., Черемушкин Е.А., Петренко Н.Е., Ашкинази М.Л., Яковенко И.А. Зависимость пластичности установки на эмоциональное выражение лица от нагрузки на рабочую память // Журнал высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова. 2008. Т. 58. № 2. С. 163-171.
89. Лебедев А.Н. Кодирование информации в памяти когерентными волнами / Под ред. А.Н. Лебедева // Психофизиологические закономерности восприятия и памяти. М.: Наука, 1985. С. 6-33.
90. Леонова А.Б. Психодиагностика функциональных состояний человека. М.: Изд. МГУ, 1984.
91. Леонтьев А.Н. Развитие памяти. М.-Л.: Учпедгиз, 1931.
92. Леонтьев А.Н. Деятельность. Сознание. Личность М.: Политиздат, 1975.
93. Леонтьев А.Н. Категория деятельности в современной психологии // Вопросы психологии. 1979. № 3. С. 11—15.
94. Леонтьев А.Н. Проблемы развития психики. 4-е изд. М.: Изд. МГУ, 1981.
95. Леонтьев А.Н. Образ мира / А.Н. Леонтьев // Избр. психологические произведения. Т. 2. М.: Педагогика, 1983. С. 251-261

96. Леонтьев А.Н. Проблема деятельности в истории советской психологии // Вопросы психологии. 1986. № 4. С. 109-120.
97. Линдсей П., Норман Д. Переработка информации у человека. М., 1974.
98. Ломов Б.Ф. О системном подходе в психологии // Вопросы психологии. 1975. № 2.
99. Ломов Б.Ф. Методологические и теоретические проблемы психологии. М.: Наука, 1984.
100. Ломов Б.Ф. Системность в психологии. Воронеж: Институт практической психологии, 1996.
101. Лурия А. Р. Память и строение психических процессов // Вопросы психологии. 1960. № 1. С. 112—128.
102. Лурия А. Р. Лобные доли и регуляция психических процессов. М., 1966.
103. Лурия А. Р. Нейропсихология памяти: В 2 т. М.: Педагогика, 1974.
104. Ляудис В. Я. Память в процессе развития. М.: Изд. МГУ, 1976.
105. Мещеряков Б.Г., Зинченко В.П. Современный психологический словарь, Под ред. Мещерякова Б.Г., Зинченко В.П. СПб.: Прайм-Еврознак, 2006.
106. Микадзе Ю.В., Скворцова В.Б. Теоретические модели и нейропсихологический анализ феноменов рабочей памяти // Психологический журнал. 2008. Т. 29. № 3. С. 67-76.
107. Миллер Дж. Магическое число семь, плюс или минус два // Инженерная психология. М., 1964.
108. Миллер Дж., Галантер Ю., Прибрам. К. Планы и структуры поведения. М.: Прогресс, 1965.
109. Митина О.В. Методы исследования каузальных связей // Экспериментальная психология в России / Под ред. В.А. Барабанщикова. Москва: Институт психологии РАН, 2010. С. 139-143.
110. Найссер У. Познание и реальность. М.: Прогресс, 1981.
111. Невельский П.Б. Объем памяти и количество информации // Проблемы инженерной психологии. Вып. 3. Л., 1965. С. 19—118.
112. Незавитина Т.С. Роль показателей зрительной памяти в психофизиологии моряка // Актуальные проблемы транспортной медицины. 2007. № 1. С. 7-20.
113. Новикова С.И., Строганова Т.А. Планирование действий детьми пяти-шести лет: возрастные и индивидуальные различия в выполнении теста «Лондонская башня» // Вопросы психологии. 2006. № 4. С. 36-46.
114. Ошанин Д.А. Предметное действие как информационный процесс // Вопросы психологии. 1970. № 3. С. 34-50.

115. Ошанин Д.А. Предметное действие и оперативный образ. Дисс. докт. психол.наук. М.: АПН НИИ Общей и педагогической психологии, 1973.
116. Петренко В.Ф. Психосемантика сознания. М.: Мзд-во Московского университета, 1988.
117. Петренко В. Ф. К проблеме психологии сознания // Вопросы философии. 2010. № 11. С. 57–74.
118. Петрукович В.М., Апчел В.Я. Функциональная организация оперативной памяти специалистов-операторов // Вестник Российской военно-медицинской академии. 2010. № 3. С. 131-136.
119. Пигарев А.Ю. Развитие математических способностей с помощью компьютерных тренажеров рабочей памяти // Открытое и дистанционное образование. 2007. № 4. С. 55-59.
120. Попова Т.Г., Курочкина Е.В. Концепт как оперативная единица памяти // Вестник Московского государственного гуманитарного университета им. М.А. Шолохова. Филологические науки. 2015. № 1. С. 53-57.
121. Репкина Г.В. Исследование оперативной памяти // Инженерная психология. Вып. 3. Л., 1965.
122. Романов В.Я., Дормашев Ю.Б. Постановка проблемы внимания с позиций теории деятельности // Вестник МГУ. Серия 14. Психология. 1993. №2.
123. Рубинштейн С.Л. Бытие и сознание. М.: Изд-во Академии наук СССР, 1957.
124. Рубинштейн С.Л. Проблемы общей психологии. М.: Педагогика, 1973.
125. Руденко Г.В. Факторная структура в оценке психофизической подготовленности выпускника – горноспасателя // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2015. № 7. С. 314-321.
126. Сергиенко Е.А. Контроль поведения: индивидуальные ресурсы субъектной регуляции // Психологические исследования. 2009. № 5-7. <http://www.psystudy.ru/index.php/num/2009n5-7/223-sergienko7.html>
127. Сергиенко Е.А., Виленская Г.А., Ковалева Ю.В. Контроль поведения как субъектная регуляция. М.: Институт психологии РАН, 2010.
128. Середа Г. К. Память как механизм системной организации индивидуального опыта // Вестник Харьковского ун-та. Психология. 1983. С. 10—17.
129. Середа Г. К., Снопик Б. И. К проблеме единства механизмов кратковременной и долговременной памяти. Вопросы психологии. 1970. № 6. С. 60—74.

130. Серкова В.В., Никольская К.А., Еремина Л.В. Гиппокамп как организатор оперативного внимания // Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова. 2015. Т. 101. № 6. С. 678-688.
131. Сидоренко Е.В. Методы математической обработки в психологии. СПб.: ООО «Речь», 2000.
132. Сеницын С.В. Отражение в связанных с событием потенциалах процессов рабочей памяти у детей младшего школьного возраста // Физиология человека. 2008. Т. 34. № 2. С. 128-132.
133. Скотникова И.Г. Проблемы субъектной психофизики. М.: Изд-во ИП РАН, 2008.
134. Смирнов А. А. Проблемы психологии памяти. М.: Просвещение, 1966.
135. Сперлинг Дж. Модель зрительной памяти // Инженерная психология за рубежом. М., 1967. С. 69—94.
136. Спиридонов В.Ф., Орлова Д., Ципенко А., Федорова О. Апробация русскоязычного теста на измерение объема рабочей памяти / Под ред. Е.В. Печенковой, М.В. Фаликман // Когнитивная наука в Москве: новые исследования Московский семинар по когнитивной науке: тезисы. М: Институт возрастной физиологии РАО, 2011. С. 229-232.
137. Тизенберг А.Г., Тизенберг Г.М. Новые подходы в профессиональной диагностике в целях оптимизации профессионального отбора и профессиональной ориентации // Известия Иркутской государственной экономической академии. 2013. № 4. С. 76-79.
138. Тихомиров О.К. Психология мышления // М.; Академия, 2008.
139. Ушаков Д.В. Интеллект: структурно-динамическая теория. М.: Институт психологии РАН, 2003.
140. Ушаков Д.В. Общий и социальный интеллект в деятельности и общении // Общение и познание / Под ред. В.А. Барабанщикова и Е.С. Самойленко. М.: Изд-во "Институт психологии РАН", 2007. С. 299-318.
141. Фарбер Д.А., Сеницын С.В. Функциональная организация рабочей памяти у детей 7-8 лет // Физиология человека. 2009. Т. 35. № 2. С. 5-15.
142. Федорова О.В., Потанина Ю.Д. Рабочая память и язык: от речепонимания к речепорождению // Вестник Московского университета. Серия 9: Филология. 2013. № 1. С. 51-60.
143. Холодная М. А. Когнитивные стили. О природе индивидуального ума. 2-е изд., перераб. СПб. «Питер», 2004.
144. Цепцов В.А., Олив Т., Пиола А., Келлогг Р. Ресурсы рабочей памяти в процессе планирования письменной речи на родном и иностранном языке / Под ред. Н. Д.

- Павловой, И. А. Зачесовой // Проблемы психологии дискурса. Сер. "Труды Института психологии РАН". М: Ин-т психологии РАН, 2005. С. 165-179.
145. Шадриков В.Д., Черемошкина Л.В. Мнемические способности: Развитие и диагностика. М.: Педагогика, 1990.
146. Швырков В.Б. Системно-эволюционный подход к изучению мозга, психики и сознания // Психологический журнал. 1988. Т. 9. № 1. С. 132-149.
147. Эздекова Л.Б., Алхазова М.Х. Применение теории когнитивной нагрузки при изучении иностранных языков // Проблемы современной науки. 2013. № 8-2. С. 202-207.
148. Ackerman P.L., Beier M.E., Boyle M.O. Working memory and intelligence: the same or different constructs? // Psychological Bulletin. 2005. V. 131. P. 30-60.
149. Adams J.W., Hitch, G.J. Working memory and children's mental addition // Journal of Experimental Child Psychology. 1997. V. 67. P. 351-371.
150. Ahlstrom U., Friedman-Berg F.J. Using eye movement activity as a correlate of cognitive workload // International Journal of Industrial Ergonomics. 2006. V. 36. P. 623-636.
151. Allain, P., Etcharry-Bouyx, F., & Verny, C. Executive functions in clinical and preclinical Alzheimer's disease // Neurological Review. 2013. V. 169. P. 695-708.
152. Alloway T.P., Gathercole S.E., Pickering S.J. Verbal and visuo-spatial short-term and working memory in children: Are they separable? // Child Development. 2006. V. 77. P. 1698-1716.
153. Altgassen M. et al. Role of working memory components in planning performance of individuals with Parkinson's disease // Neuropsychologia. 2007. V. 45. P. 2393-2397.
154. Anderson J.R. The architecture of cognition. Mahwah, N.J.: Lawrence Erlbaum, 1983.
155. Anderson J.R., Reder L.M., Lebiere C. Working memory: Activation limitations on retrieval // Cognitive Psychology. 1996. V. 30. P. 221-256.
156. Arnett P., Higginson C., Voss V. et al. Depression in multiple sclerosis: Relationship to working memory capacity // Neuropsychology. 1999. V. 13. P. 546-556.
157. Atkinson R., Shiffrin R. Human memory: A proposed system and its control processes // The psychology of learning and motivation: Advances in research and theory. Vol. 21 / K. Spence, J. Spence (Eds.). New York: Academic Press, 1968. P. 89-195.
158. Autin F., Croizet J.-C. Improving working memory efficiency by reframing metacognitive interpretation of task difficulty // Journal of Experimental Psychology: General. 2012. V. 141. P. 610-618.
159. Awh E., Jonides J., Reuter-Lorenz P.A. Rehearsal in spatial working memory // Journal of experimental psychology: Human perception and performance. 1998. V. 24. P. 780-790.

160. Baddeley A. Working memory. Oxford: Oxford University Press, 1986.
161. Baddeley A. Consciousness and working memory // *Consciousness and Cognition*. 1992. V. 1. P. 3-6.
162. Baddeley A. Exploring the central executive // *Quarterly Journal of Experimental Psychology*. 1996. V. 49. P. 5-28.
163. Baddeley A. Working memory: Looking back and looking forward // *Nature Reviews: Neuroscience*. 2003. V. 4. P. 829-839.
164. Baddeley A. Working Memory: Theories, Models, and Controversies // *Annual Review of Psychology*. 2012. V. 63. P. 1-29.
165. Baddeley A.D., Grant S., Wight E., Thomson N. Imagery and visual working memory / M. Rabbitt, S. Dornic (Eds.) // *Attention and Performance V*. London: Academic Press, 1973. P. 205-217.
166. Baddeley A., Hitch G. Working memory // *The psychology of learning and motivation*. Vol. 8. / G. Bower (Ed.). New York: Academic Press, 1974. P. 47-89.
167. Baddeley A.D., Lewis V., Vallar G. Exploring the articulatory loop // *Quarterly Journal of Experimental Psychology*. 1984. V. 36. P. 233-252.
168. Baddeley A., Thomson N., Buchanan M. Word length and the structure of short-term memory // *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*. 1975. V. 14. P. 575-589.
169. Bargh J.A. Bypassing the will: Toward demystifying nonconscious control of social behavior // *The new unconscious* / Hassin R.R., Uleman J.A., Bargh J.A. Oxford: Oxford University Press, 2005. P. 37-58.
170. Barrett L.F. et al. Individual differences in working memory capacity and dual-process theories of the mind // *Psychological Bulletin*. 2004. V. 130. P. 553-573.
171. Barroillet P., Bernardin S., Camos V. Time constraints and resource sharing in adults' working memory spans // *Journal of Experimental Psychology: General*. 2004. V. 133. P. 83-100.
172. Barroillet P., Camos V. The time-based resource-sharing model of working memory // *The cognitive neuroscience of working memory* / Osaka N., Logie R., D'Esposito M. (Eds.). Oxford: Oxford University Press, 2007. P. 59-80.
173. Barroillet P., Lepine R. Working memory and children's use of retrieval to solve addition problems // *Journal of Experimental Child Psychology*. 2005. V. 91. P. 183-204.
174. Barsalou L. Grounded Cognition: Past, Present, and Future // *Topics in Cognitive Science*. 2010. V.2. P. 716-724.
175. Baume K.-H.T., Schlichting A. Memory retrieval as self-propagating process // *Cognition*. 2014. V. 132. P. 16-21.

176. Beilock S.L., Carr T.H. When high-powered people fail: Working memory and “choking under pressure” in math // *Psychological Science*. 2005. V. 16. P. 101-105.
177. Bollen K. *Structural equations with latent variables*. New York: Wiley, 1989.
178. Bondi, M.W., Salmon, D.P., Galasko, D., Thomas, R.G., Thal, L.J. Neuropsychological function and apolipoprotein E genotype in the preclinical detection of Alzheimer's disease // *Psychology and Aging*. 1999. V. 14. P. 295-303.
179. Bosco A., Longoni A., Vecchi T. Gender effects in spatial orientation: Cognitive profiles and mental strategies // *Applied Cognitive Psychology*. 2004. V. 18. P. 519-532.
180. Botto M., Basso D., Ferrari M., Palladino P. When working memory updating requires updating: analysis of serial position in a running memory task // *Acta Psychologica*. 2014. V. 148. P. 123-129.
181. Botvinick M., Nystrom L., Fissell K. et al. Conflict monitoring versus selection-for-action in anterior cingulate cortex // *Nature*. 1999. V. 402. P. 179-181.
182. Brady T., Konkle T., Alvarez G. A review of visual memory capacity: Beyond individual items and toward structured representations // *Journal of Vision*. 2011. V. 11. P. 1-34.
183. Brewin C.R., Smart L. Working memory capacity and suppression of intrusive thoughts // *Journal of Behavioral Therapy and Experimental Psychiatry*. 2005. V. 36. P. 61-68.
184. Broadbent D. *Perception and Communication*. New York: Pergamon Press, 1958.
185. Brose A., Schmiedek F., Lövdén M., Lindenberger U. Daily variability in working memory is coupled with negative affect: the role of attention and motivation // *Emotion*. 2012. V. 12. P. 605-617.
186. Brown G.D.A., Neath I., Chater N. A temporal ratio model of memory // *Psychological Review*. 2007. V. 114. P. 539-576.
187. Byrne M.D., Bovair S. A working memory model of a common procedural error // *Cognitive Science*. 1997. V. 21. P. 31-61.
188. Buehner M., Krumm S., Pick M. Reasoning = working memory  $\neq$  attention // *Intelligence*. 2005. V. 33. P. 251-272.
189. Bundesen C. A theory of visual attention // *Psychological Review*. 1990. V. 97. P. 523-547.
190. Cantor J., Engle R.W., Hamilton G. Short-term memory, working memory, and verbal abilities: How do they relate? // *Intelligence*. 1991. V. 15. P. 229-246.
191. Caplan, D. & Waters, G. S. Articulatory length and phonological similarity in span tasks: a reply to Baddeley and Andrade. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*. 1994. V. 47. P. 1055–1062.

192. Carretti B., Mammarella I.C., Borella E. Age differences in proactive interference in verbal and visuo-spatial working memory // *Journal of Cognitive Psychology*. 2012. V. 24. P. 243–255.
193. Carrol L., Jalbert A., Penney A., Neath I., Surprenant A., Tehan G. Evidence for proactive interference in the focus of attention of working memory // *Canadian Journal of Experimental Psychology*. 2010. V. 64. P. 208-214.
194. Case R., Kurland M., Goldberg J. Operational efficiency and the growth of short-term memory span // *Journal of Experimental Child Psychology*. 1982. V. 33. P. 386-404.
195. Cattell R.B. Theory of fluid and crystallized intelligence: A critical experiment // *Journal of Educational Psychology*. 1963. V. 54. P. 1-22.
196. Chein J., Moore A., Conway A. Domain-general mechanisms of complex working memory span // *Neuroimage*. 2011. V. 54. P. 550-559.
197. Chuderski A. How well can storage capacity, executive control and fluid reasoning explain insight problem solving? // *Intelligence*. 2014. V. 46. P. 258-270.
198. Chun M., Golomb J., Turk-Browne N. A taxonomy of external and internal attention // *Annual Review of Psychology*. 2011. V. 62. P. 73-101.
199. Chuderski A., Stettner Z., Orzechowski J. The bipartite structure of working memory / B.C. Love, K. McRae, Sloutsky M. (Eds.) // *Proceedings of the 30th Annual Conference of the Cognitive Science Society*. Austin, TX: Cognitive Science Society, 2008. P. 1531-1536.
200. Cohen H. et al. Working memory for braille use shaped by experience // *Communicative and Integrative Biology*. 2011. V. 4. P. 227-229.
201. Colom R., Flores-Mendoza C., Rebollo I. Working memory and intelligence // *Personality and Individual Differences*. 2003. V. 34. P. 33-39.
202. Colzato L., Spape M., Pannebakker M., et al. Working memory and the attentional blink: Blink size is predicted by individual differences in operation span // *Psychonomic Bulletin and Review*. 2007. V. 14. P. 1051-1057.
203. Conrad R. Acoustic confusion in immediate memory // *British Journal of Psychology*. 1964. V. 55. P. 75-84.
204. Conway A., Cowan N., Bunting M.F. The cocktail party phenomenon revisited: The importance of WM capacity. *Psychonomic Bulletin & Review*. 2001. V. 8. P. 331–335.
205. Conway A., Engle R. Working memory and retrieval: A resource-dependent inhibition model // *Journal of Experimental Psychology: General*. 1994. V. 123. P. 354-373.
206. Conway A., Kane M., Bunting M., Hambrick D., Wilhelm O., Engle R. Working memory span tasks: A methodological review and user's guide // *Psychonomic Bulletin & Review*. 2005. V. 12. № 5. P. 769-786.

207. Coolidge F.L., Segal D.L., Applequist K. Working memory deficits in personality disorders traits: A preliminary investigation in a nonclinical sample // *Journal of Research in Personality*. 2009. V. 43. P. 355-361.
208. Cowan N. An embedded-processes model of working memory // *Models of Working Memory. Mechanisms of active maintenance and executive control* / A. Miyake, P. Shah (Eds.). Cambridge: Cambridge University Press, 1999. P. 62-101.
209. Cowan N. The magical number 4 in short-term memory: A reconsideration of mental storage capacity // *Behavioral and Brain Sciences*. 2001. V. 24. P. 87-114.
210. Cowan, N. What are the differences between long-term, short-term, and working memory? In W.S. Sossin, J.-C. Lacaille, V.F. Castellucci & S. Belleville (Eds.), *Progress in Brain Research: Vol. 169. Essence of Memory*. Amsterdam: Elsevier B.V., 2008. P. 323-338.
211. Cowan N. The magical mystery four: How is working memory limited, and why? // *Current Directions in Psychological Science*. 2010. V. 19. P. 51-57.
212. Cowan N., Johnson T., Saults J. Capacity limits in list item recognition: evidence from proactive interference // *Memory*. 2005. V. 13. P. 293-299.
213. Craik F., Lockhart R. Levels of processing: A framework for memory research // *Journal of Learning and Verbal Behavior*. 1972. V. 11. P. 671-684.
214. Crowder R. Prefix effects in immediate memory // *Canadian Journal of Psychology*. 1967. V. 21. P. 450-461.
215. Crowder R. The demise of short-term memory // *Acta Psychologica*. 1982. V. 5. P. 291-323.
216. Dahlin E. et al. Plasticity of executive functioning in young and older adults: immediate training gains, transfer, and long-term maintenance. *Psychology and Aging*. 2008. V. 23. P. 720-730.
217. Dalton P., Lavie N., Spence C. The role of working memory in tactile selective attention // *Quarterly Journal of Experimental Psychology* // 2009. V. 62. P. 635-644.
218. Daneman M., Carpenter P.A. Individual differences in working memory and reading // *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*. 1980. V. 19. P. 450-466.
219. Daneman M., Hannon B. What do working memory span tasks like reading span really measure? / Osaka N., Logie R., D'Esposito M. (Eds.) // *The cognitive neuroscience of working memory*, pp. 21-42. Oxford: Oxford University Press, 2009.
220. Daneman M., Merikle P.M. Working memory and comprehension: A meta-analysis // *Psychonomic Bulletin and Review*. 1996. V. 3. P. 422-433.
221. Daneman M., Tardif T. Working memory and reading skill re-examined / Coltheart M. (Ed.) // *Attention and Performance Vol. 7*. NY: Erlbaum, 1987. P. 491-508.

222. Dang C.-P. et al. Unitary or non-unitary nature of working memory? Evidence from its relation to general fluid and crystallized intelligence // *Intelligence*. 2012. V. 40. P. 499-508.
223. De Blasi, S., Montesanto, A., Martino, C., Dato, S., De Rango, F., Bruni, A., Mari, V., Feraco, E., & Passarino, G. APOE polymorphism affects episodic memory among non demented elderly subjects // *Experimental Gerontology*. 2009. V. 44. P. 224-227.
224. Della Sala S., Gray C., Baddeley A. et al. Pattern span: A means of unwielding visuo-spatial memory // *Neuropsychologia*. 1999. V. 37. P. 1189-1199.
225. Deluca J., Christodoulou C., Diamond B. et al. Working memory deficit in chronic fatigue syndrome: differentiating between speed and accuracy of information processing. *Journal of International Neuropsychological Society*. 2004. V. 10. P. 101-109.
226. D'Esposito M., Postle B. The cognitive neuroscience of working memory // *Annual Review of Psychology*. 2015. V. 66. P. 28.1-28.
227. Devalaar E., Stevens J. Sequential dependencies in the Eriksen flanker task: a direct comparison of two competing alternatives // *Psychonomic bulletin and review*. 2009. V. 16. P. 121-126.
228. Dewar M., Cowan N., Della Sala S. Forgetting due to retroactive interference in amnesia / S. Della Sala (Ed.) *Forgetting*. Hove; Psychology Press, 2010. P. 185-209.
229. Dewhurst S., Bould E., Knott L. et al. The roles of encoding and retrieval processes in associative and categorical memory illusions // *Journal of Memory and Language*. 2009. V. 60. P. 154-164.
230. DiStasi L. et al. Saccadic peak velocity sensitivity to variations in mental workload // *Aviation, Space, and Environmental Medicine*. 2010. V. 81. P. 413-417.
231. Donkin C., Nosofsky R. The structure of short-term memory scanning: an investigation using response time distribution models // *Psychonomic Bulletin and Review*. 2012. V. 19. P. 363-394.
232. Donders F.C. Die Schnelligkeit psychischer Prozesse // *Archiv für Anatomie und Physiologie und wissenschaftliche Medizin*. 1868. P. 657-681.
233. Dudukovic N., DuBrow S., Wagner A. Attention during memory retrieval enhances future remembering // *Memory and Cognition*. 2009. V. 37. P. 953-961.
234. Duff S., Logie R. Processing and storage in working memory span // *The quarterly journal of experimental psychology*. 2001. V. 54. P. 31-48.
235. Ecker U., Lewandowsky S., Oberauer K. Removal of information from working memory: A specific updating process // *Journal of Memory and Language*. 2014. V. 74. P. 77-90.
236. Egnér T. Prefrontal cortex and cognitive control: motivating functional hierarchies // *Nature Neuroscience*. 2009. V. 12. P. 821-822.

237. Ehringer K.A., Hidalgo-Sotelo B., Torralba A., Oliva A. Modelling search for people in 900 scenes: A combined source model of eye guidance // *Visual Cognition*. 2009. V. 17. P. 945-978.
238. Endsley M.R. Measurement of situation awareness in dynamic systems // *Human Factors*. 1995. V. 37. P. 65–84.
239. Engle R. Working Memory Capacity as Executive Attention // *Current Directions in Psychological Science*. 2002. V. 11. P. 19-23.
240. Engle R., Cantor J., Carullo J. Individual differences in working memory and comprehension: a test of four hypotheses // *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*. 1992. V. 18. P. 972-992.
241. Engle R., Kane M. Executive attention, working memory capacity, and a two-factor theory of cognitive control / B. Ross (Ed.) // *The psychology of learning and motivation*. NY: Academic Press, 2004. P. 145-199.
242. Engle R., Kane M., Tuchsolski S.W. Individual differences in working memory capacity and what they tell us about controlled attention, general fluid intelligence and functions of the prefrontal cortex / Miyake, A. & Shah, P. (Eds.) // *Models of Working Memory: Mechanisms of Active Maintenance and Executive Control*. London: Cambridge Press, 1999. P. 102-134.
243. Engle R., Tuchsolsky S.W., Laughlin J.E., Conway A.R.A. Working memory, short-term memory, and general fluid intelligence: A latent-variable approach // *Journal of Experimental Psychology. General*. 1999. V. 128. P. 309-331.
244. Ericsson K.A., Kintsch W. Long-term working memory // *Psychological Review*. 1995. V. 102. No. 2. P. 211-245.
245. Eriksen B.A., Eriksen C.W. Effects of noise letters upon the identification of a target letter in a nonsearch task // *Perception and Psychophysics*. 1974. V. 16. P. 143-149.
246. Evans J.S.B.T. Dual-processing accounts of reasoning, judgment, and social cognition // *Annual Review of Psychology*. 2008. V. 59. P. 255-278.
247. Eysenck M., Payne S., Derakshan N. Trait anxiety, visuospatial processing, and working memory // *Cognition & Emotion*. 2005. V. 19. P. 1214-1228.
248. Faraco C., Unsworth N., Langley J., Terry D., Li K., Zhang D., Liu T., Miller L. Complex span tasks and hippocampal recruitment during working memory // *Neuroimage*. 2011. V. 55. № 2. P. 773-787.
249. Fawcett J., Talor T. The control of working memory resources in intentional forgetting: Evidence from incidental probe word recognition // *Acta Psychologica*. 2012. V. 139. P. 84-90.

250. Finkel E.J. et al. High-maintenance interaction: Inefficient social coordination impairs self-regulation // *Journal of Personality and Social Psychology*. 2006. V. 91. P. 456-475.
251. Fishbach A., Shah J. Y. Self-control in action: Implicit dispositions toward goals and away from temptations // *Journal of Personality and Social Psychology*. 2006. V. 90. P. 820–832.
252. Fleck J.I. Working memory demands in insight versus analytic problem solving // *European Journal of Cognitive Psychology*. 2008. V. 20. P. 139-176.
253. Friedman N., Miyake A. Differential roles for visuospatial and verbal working memory in situation model construction // *Journal of Experimental Psychology: General*. 2000. V. 129. P. 61-83.
254. Friedman N., Miyake A. The relations among inhibition and interference control functions: a latent-variable analysis // *Journal of Experimental Psychology: General*. 2004. V. 133. P. 101-135.
255. Friese M. et al. When impulses take over: moderated predictive validity of implicit and explicit attitude measures in predicting food choice and consumption behavior // *British Journal of Social Psychology*. 2008. V. 47. P. 397-419.
256. Friese M. et al. Here's looking at you, Bud: Alcohol-related memory structures predict eye-movement for social drinkers with low-executive control // *Social Psychological and Personality Science*. 2010. V. 1. P. 143-151.
257. Fry A.F., Hale S. Relationships between processing speed, working memory, and fluid intelligence in children // *Biological Psychology*. 2000. V. 54. P. 1-34.
258. Fujita Y. et al. Using simulated human model for evaluating human-machine interface // *Advances in Human Factors/Ergonomics*. 1995. V. 20. P. 945-950.
259. Galton F. *Inquiries into human faculty and its development*. London: Macmillan, 1883.
260. Garavan H. Serial attention within working memory // *Memory & Cognition*. 1998. V. 26. P. 263-276.
261. Gartner Says Worldwide Mobile Phone Sales Increased 16 Per Cent in 2007. URL: <http://www.gartner.com/newsroom/id/612207>
262. Gathercole S.E., Alloway T.P. *Working memory and learning: A practical guide*. Thousand Oaks: Sage Press, 2008.
263. Gathercole S., Pickering S., Ambridge B., Wearing H. The structure of working memory from 4 to 15 years of age // *Developmental Psychology*. 2004. V. 40. P. 177-190.
264. Gilchrist A., Cowen N. A two-stage search of visual working memory: investigating speed in the change detection paradigm // *Attention, Perception, and Psychophysics*. 2014. V. 76. P. 2031-2050.

265. Giofre D., Mammarella M., Cornoldi C. The structure of working memory and how it relates to intelligence in children // *Intelligence*. 2013. V. 41. P. 396-406.
266. Gohier B., Ferracci L., Surguladze S., et al. Cognitive inhibition and working memory in unipolar depression // *Journal of Affective Disorders*. 2009. V. 116. P. 100-105.
267. Goldman-Rakic P.S. Working memory dysfunction in schizophrenia // *Journal of Neuropsychiatry and Clinical Neuroscience*. 1994. V. 6. P. 348-357.
268. Goldman-Rakic P.S. Cellular basis of working memory // *Neuron*. 1995. V. 14. P.477-485.
269. Gonzalez C., Wimsberg J. Situation awareness in dynamic decision-making: Effects of practice and working memory // *Journal of Cognitive Engineering and Decision Making*. 2007. V. 1. P. 56-74.
270. Goschke T. Volition und kognitive Kontrolle / Musseler J. (Hrsg.) // *Allgemeine Psychologie* 2. Aufl. Berlin: Spektrum, 2008. P. 232-293.
271. Greenwood J.D. Understanding the “cognitive revolution” in psychology // *Journal of the History of Behavioral Sciences*. 1999. V. 35. P. 1-22.
272. Grenard J.L. et al. Working memory capacity moderates the predictive effects of drug-related associations on substance use // *Psychology of Addictive Behaviors*. 2008. V. 22. P. 426-432.
273. Gross J.J. The emerging field of emotion regulation: An integrative review // *Review of General Psychology*. 1998. V. 2. P. 271-299.
274. Gunseli E., Fahrenfort J., Daoultzis K., Meeter M., Olivers C. The Loss of Information from Visual Working Memory depends on Retro-Cue Reliability // *Journal of Vision*. 2015. V. 15. P. 91.
275. Gutzwiller R., Clegg B. The Role of Working Memory in Levels of Situation Awareness // *Journal of Cognitive Engineering and Decision Making*. 2013. V. 7. P. 141-154.
276. Haavisto M.-L., Lehto J.E. Fluid/spatial and crystallized intelligence in relation to domain-specific working memory: A latent-variable approach // *Learning and Individual Differences*. 2004. V. 15. P. 1-21.
277. Hallett P. E. Primary and secondary saccades to goals defined by instructions // *Vision research*. 1978. V. 18. P. 1279–1296.
278. Halford G., Maybery M.T., Bain J. Set-size effects in primary memory: An age-related capacity limitation? *Memory and Cognition*. 1988. V. 16. P. 480-487.
279. Halford C., Wilson W., Phillips S. Processing capacity defined by relational complexity: Implications for comparative, developmental and cognitive psychology. *Behavioral and Brain Sciences*. 1998. V. 21. P. 723-802.

280. Hasher, L., Lustig C., Zacks R.T. Inhibitory mechanisms and the control of attention / A. Conway, C. Jarrold, M. Kane, A. Miyake, J. Towse (Eds.) // *Variation in working memory*. New York, NY: Oxford University Press, 2007. P. 227-249.
281. Hassin R., Bargh J., Engell A., McCulloch K. Implicit working memory. *Consciousness and Cognition*. 2009. V. 18. P. 665-678.
282. Hilbert S. et al. The influence of cognitive styles and strategies in the digit span backwards task: Effects on performance and neuronal activity // *Personality and Individual Differences*. 2015. V. 87. P. 242-247.
283. Hofman W. et al. Working memory capacity and self-regulatory behavior: Toward an individual differences perspective on behavior determination by automatic versus controlled processes // *Journal of Personality and Social Psychology*. 2008. V. 95. P. 962-977.
284. Hofman W., Schmeichel B.J., Baddeley A.D. Executive functions and self-regulation // *Trends in Cognitive Science*. 2012. V. 16. P. 174-180.
285. Howieson D. et al. Serial position effects in mild cognitive impairment // *Journal of Clinical Experimental Neuropsychology*. 2011. V. 33. P. 292-299.
286. Iqbal S., Zheng X., Bailey B. Task-evoked pupillary response to mental workload in human-computer interaction // *Proceedings of CHI 2004*. Vienna, Austria, 24-29 April 2004. Viewnm, 2004. P. 1477-1480.
287. Jakobson L.A. et al. Working memory influences processing speed and reading fluency in ADHD // *Child Neuropsychology*. 2011. V. 17. P. 209-224.
288. Jaeggi S.M. et al. Improving fluid intelligence with training on working memory // *Proceedings of the National Academy of Science, USA*. 2008. V. 105. P. 6829-6833.
289. Jameson T., Hinson J., Whitney P. Components of working memory and somatic markers in decision making // *Psychonomic Bulletin & Review*. 2004. V. 11. P. 515-520.
290. Jarrold C., Tam H., Baddeley A.D., Harvey C.E. How does processing affect storage in working memory tasks? Evidence for both domain-general and domain-specific effects // *Journal Experimental Psychology: Learning, Memory, Cognition*. 2011. V. 37. P. 688-705.
291. Jia S., Zhang Q., Li S. Field dependence-independence modulates the efficiency of filtering out irrelevant information in a visual working memory task // *Neuroscience*. 2014. V. 278. P. 136-143.
292. Jones D., Farrand P., Stuart G., Morris, N. Functional equivalence of verbal and spatial information in serial short-term memory // *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*. 1995. V. 21. P. 1008-1018.

293. Johnson D.R., Gronlund S.D. Individuals lower in working memory capacity are particularly vulnerable to anxiety's disruptive effect on performance // *Anxiety, stress, and coping: An International Journal*. 2009. V. 22. P. 201-213.
294. Johnson-Laird P.N. *Mental Models*. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1983.
295. Jonides J., Nee D.E. Brain mechanisms of proactive interference in working memory // *Neuroscience*. 2006. V. 139. P. 181-193.
296. Kafks A., Montaldi D. The pupillary response discriminates between subjective and objective familiarity and novelty // *Psychophysiology*. 2015. V. 52. P. 1305-1316.
297. Kail R., Salthouse T.A. Processing speed as a mental capacity // *Acta Psychologica*. 1994. V. 86. P. 199-225.
298. Kane M.J., Bleckley M.K., Conway A.R.A., Engle R.W. A controlled-attention view of WM capacity. *Journal of Experimental Psychology: General*. 2001. V. 130. P.169–183.
299. Kane M., Conway A., Hambrick D., Engle R.W. Variation in working-memory capacity as variation in executive attention and control / A. R. A. Conway, C. Jarrold, M. J. Kane, A. Miyake, J. Towse (Eds.) // *Variation in Working Memory*. Oxford University Press, 2007. P. 21-48.
300. 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. V. 33. P. 615-622.
301. Kane M. et al. The generality of working memory capacity: A latent-variable approach to verbal and visuospatial memory span and reasoning // *Journal of Experimental Psychology: General*. 2004. V. 133. P. 189-217.
302. Kane M. et al. For whom the mind wanders, and when: An experience-sampling study of working memory and executive control in daily life // *Psychological Science*. 2007. V. 18. P. 614-621.
303. Keppel G., Underwood B.J. Proactive inhibition in short-term retention of single items // *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*. 1962. V. 1. P. 153-161.
304. Kieras D.E., Meyer D.E. An overview of the EPIC architecture for cognition and performance with application to human-computer interaction // *Human-Computer Interaction*. 1997. V. 12. P. 391-438.
305. Klingeborg T. Training and plasticity of working memory // *Trends in cognitive science*. 2010. V. 14. P. 317-324.
306. Klingberg T. et al. Computerized training of working memory in children with ADHD – a randomized, controlled trial // *Journal of American Academy for Child and Adolescent Psychiatry*. 2005. V. 44. P. 177-186.

307. Kovesdi C.R., Barton B.K. The role of non-verbal working memory in pedestrian visual search // *Transportation Research Part F*. 2013. V. 19. P. 31-39.
308. Kyllonen P.C., Christal R.E. Reasoning ability is (little more than) working memory capacity? // *Intelligence*. 1990. V. 14. P. 389-433.
309. Langley P., Laird J.E., Rogers S. Cognitive architectures: Research issues and challenges // *Cognitive Systems Research*. 2009. V. 10. P. 141-160.
310. Lara A.H., Wallis J.D. Executive control processes underlying multi-item working memory // *Nature Neuroscience*. 2014. V. 17. P. 876-883.
311. LaRocque J., Lewis-Peacock J., Postle B. Multiple neural states of representation in short-term memory? It's a matter of attention // *Frontiers in Human Neuroscience*. 2014. V. 8. Article 5.
312. Larson G.E., Merritt C.R., Williams S.E. Information processing and intelligence: Some implications of task complexity // *Intelligence*. 1988. V. 1. P. 131-147.
313. Lavie N., Hirst A., de Fockert J.W., Viding E. Load theory of selective attention and cognitive control // *Journal of Experimental Psychology: General*. 2004. V. 133. P. 339-354.
314. Lee H.-C., Seong P.-H. A computational model for evaluating the effects of attention, memory, and mental models on situation assessment of nuclear power plant operators // *Reliability Engineering & System Safety*. 2009. V. 94. P. 1796-1805.
315. Lee C.S., Theriault D.J. The cognitive underpinnings of creative thought: A latent variable analysis exploring the roles of intelligence and working memory in three creative thinking processes // *Intelligence*. 2013. V. 41. P. 306-320.
316. Lehtonen E., Lappi O., Summala H. Anticipatory eye movements when approaching a curve on a rural road depend on working memory load // *Transportation Research Part F*. 2012. V. 15. P. 369-377.
317. Lemaire P., Fayol M. When plausibility judgments supersede fact retrievals: The example of odd-even effect on product verification // *Memory & Cognition*. 1995. V. 23. № 1. P. 34-48.
318. Lepine R., Bernardin S., Barroillet P. Attention switching and working memory spans // *European Journal of Cognitive Psychology*. 2005. V. 17. № 3. P. 329-345.
319. Lepsien J., Nobre A.C. Attentional modulation of object representations in working memory // *Cerebral Cortex*. 2007. V. 17. P. 2072-2083.
320. Lisman J., Ideart M. Storage of  $7 \pm 2$  short-term memories in oscillatory subcycles. *Science*. 1995. V. 267. P. 1512-1515.
321. Loess H. Short-term memory and item similarity // *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*. 1968. V. 7. P. 87-92.

322. Logie R.H., Della Sala S., Laiacona M., Chalmers P., Wynn V. Group aggregates and individual reliability: the case of verbal short-term memory // *Memory & Cognition*. 1996. V. 24. P. 305–321.
323. Logie R.H., Gilhooly K. J., Wynn V. Counting on working memory in arithmetic problem solving // *Memory & Cognition*. 1994. V. 22. P. 395–410.
324. Lorist M., Boksem M., Ridderinkhof R. Impaired cognitive control and reduced cingulate activity during mental fatigue // *Cognitive Brain Research*. 2005. V. 24. P. 199-205.
325. Lozito J., Mulligan N. Exploring the role of attention during implicit memory retrieval // *Journal of Memory and Language*. 2010. V. 63. P. 387-399.
326. Luck S., Vogel E. The capacity of visual working memory for features and conjunctions // *Nature*. 1997. V. 390. P. 279-281.
327. MacNamara A., Schmidt J., Zelinsky G.J., Hajcak G. Electrocortical and ocular indices of attention to fearful and neutral faces presented under high and low working memory load // *Biological Psychology*. 2012. V. 91. P. 349-356.
328. Maehara Y., Saito S. The relationship between storage and processing in working memory span: not two sides of the same coin // *Journal of Memory and Language*. 2007. V. 56. P. 212-228.
329. Mandler G. Organization and memory // *The psychology of learning and motivation*, V. 1 // K. W. Spence & J. T. Spence (Eds.). New York: Academic Press, 1967.
330. Masicampo E.J., Baumeister R.F. Unfulfilled goals interfere with tasks that require executive functions // *Journal of Experimental Social Psychology*. 2011. V. 47. P. 300-311.
331. Marquart G., Cabrall C., de Winter J. Review of Eye-related Measures of Drivers' Mental Workload // *Procedia Manufacturing*. 2015. V. 3. P. 2854-2861.
332. Martin A., Bagdasarov Z., Connelly S. The capacity for ethical decisions: The relationships between working memory and ethical decision making // *Science and Engineering Ethics*. 2014. V. 21. P. 271-292.
333. McCabe D. The role of covert retrieval in working memory span tasks: Evidence from delayed recall tests // *Journal of Memory and Cognition*. 2008. V. 58. P. 480-494.
334. McErlee B., Doscher B.A. Serial position and set size in short-term memory: The time course of recognition // *Journal of Experimental Psychology: General*. 1989. V. 118. P. 346-373.
335. McGeoch J.A. Forgetting and the law of disuse // *Psychological Review*. 1932. V. 39. P. 352-370.

336. Meghanathan R., Leeuwen C., Nikolaev A. Fixation duration surpasses pupil size as a measure of memory load in free viewing // *Frontiers in Human Neuroscience*. 2014. V. 8. P. 1063.
337. Meiran N., Chorev Z., Sapir A. Component processes in task switching // *Cognitive Psychology*. 2000. V. 41. P. 211-253.
338. Melton A.W. Implications of short-term memory for a general theory of memory // *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*. 1963. V. 2. P. 1-21.
339. Miltner W., Braun C., Arnold M., Witte H., Taub E. Coherence of gamma-band EEG activity as a basis for associative learning. *Nature*. V. 397. P. 434-436.
340. Mishkin M., Ungerleider L. Contribution of striate inputs to the visuospatial functions of parieto-preoccipital cortex in monkeys // *Behavioral Brain Research*. 1982. V. 6. P. 57-77.
341. Miyake A., Emerson M., Padilla F. et al. Inner speech as a retrieval aid for task goals: the effects of cue type and articulatory suppression in the random task cuing paradigm // *Acta Psychologica*. 2004. V. 115. P. 123-142.
342. Miyake A., Friedman N.P., Emerson M.J., Witzki A.H., Howerter A., Wager T.D. The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex "Frontal Lobe" tasks: a latent variable analysis // *Cognitive Psychology*. 2000. V. 41. № 1. P. 49-100.
343. Miyake A. et al. How are visuospatial working memory, executive functioning and spatial abilities related? A latent-variable analysis // *Journal of Experimental Psychology: General*. 2001. V. 130. P. 621-640.
344. Mondadori, C.R., de Quervainz, D.J., Buchmann, A., Mustovic, H., Wollmer, M.A., Schmidt, C.F., Boesiger, P., Hock, C., Nitsch, R.M., Papassotiropoulos, A., Henke, K. Better memory and neural efficiency in young apolipoprotein E epsilon4 carriers // *Cerebral Cortex*. 2007. V. 17. P. 1934-1947.
345. Montefinese M., Ambrosini E., Fairfield B., Mammarella N. The "subjective" pupil old/new effect: is the truth plain to see? // *International Journal of Psychophysiology*. 2013. V. 89. P. 48-56.
346. Monsell S. Recency, immediate recognition, and reaction time // *Cognitive Psychology*. 1978. V. 10. P. 465-501.
347. Morey C., Cowan N., Morey R., et al. Flexible attention allocation to visual and auditory working memory tasks: manipulating reward induces a trade-off // *Attention, Perception, and Psychophysics*. 2011. V. 73. P. 458-472.
348. Morris N., Jones D.M. Memory updating in working memory. The role of central executive // *British Journal of Psychology*. 1990. V. 81. P. 111-121.

349. Morrison A.B., Conway A., Chein J. Primacy and recency effects as indices of the focus of attention // *Frontiers in Human Neuroscience*. 2014. V. 8. Article 6.
350. Morton B., Ezekiel F., Wilk H. Cognitive Control: Easy to Identify But Hard to Define // *Topics in Cognitive Science*. 2011. V. 3. P. 212-216.
351. Müller G., Pilzecker A. Experimentelle Beiträge zur Lehre vom Gedächtniss // *Zeitschrift für Psychologie. Ergänzungsband 1*. P. 1-300.
352. Nairne J.S. A feature model of immediate memory // *Memory & Cognition*. 1990. V. 18. P. 251-269.
353. Naveh-Benjamin M., Kilb A., Fisher T. Concurrent task effects on memory encoding and retrieval: further support for an asymmetry // *Memory and Cognition*. 2006. V. 34. P. 90-101.
354. Neath I., Suprenant A. Short- vs. long-term memory / A.S. Benjamin, J.S. de Belle, B. Etnyre, T. Polk (Eds.) // *Human learning: Biology, brain, and neuroscience*. Amsterdam: Elsevier, 2008. P. 21-31.
355. Nederkoorn C. et al. Control yourself or just eat what you like? Weight gain over a year is predicted by an interactive effect of response inhibition and a preference for high fat foods // *Health Psychology*. 2010. V. 29. P. 389-393.
356. Nee D., Jonides J. Dissociable interference-control processes in perception and memory // *Psychological science*. 2008. V. 19. P. 490-500.
357. Nee D., Jonides J. Dissociable contributions of prefrontal cortex and the to short-term memory: evidence for a 3-state model of memory. *Neuroimage*. 2011. V. 54. P. 1540-1548.
358. Neubauer A.C. The mental speed approach to the assessment of intelligence / J. Kingma, W. Tomic (Eds.) // *Advances in Cognition and Educational Practice: Reflections on the Concept of Intelligence*, vol. 4. Greenwich, CT: JAI Press, 1997. P. 149-174.
359. Newell A., Simon H. *Human problem solving*. Englewood-Cliffs: Prentice Hall, 1972.
360. Norman K. *The psychology of menu selection: designing cognitive control at the human/computer interface*. Norwood, N.J.: Ablex Publishing Corporation, 1991.
361. Norman D., Shallice T. Attention to action: Willed and automatic control of behavior / R. Davison, G. Schwartz, D. Shapiro (Eds.) // *Consciousness and self-regulation*. NY: Plenum, 1986. P. 1-18.
362. Oberauer K. Access to Information in Working Memory: Exploring the Focus of Attention // *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*. 2002. V. 28. № 3. P. 411-421.
363. Oberauer K. Interference between storage and processing in working memory: Feature overwriting, not similarity-based competition // *Memory & Cognition*. 2009. V. 37. P. 346-357.

364. Oberauer K., Lewandowsky S. Forgetting in immediate serial recall: Decay, temporal distinctiveness, or interference? // *Psychological Review*. 2008. V. 115. P. 544-576.
365. Oberauer K., Schulze R., Wilhelm O., Süß H.M. Working memory and intelligence – their correlation and their relation: Comment on Ackerman, Beier, and Boyle // *Psychological Bulletin*. 2005. V. 131. P. 61-65.
366. Oberauer K., Süß H., Schulze R. et al. Working memory capacity: Facets of a cognitive ability construct // *Personality and Individual Differences*. 2000. V. 29. P. 1017-1045.
367. Oh S.-H., Kim M.-S. The role of spatial working memory in visual search efficiency // *Psychonomic Bulletin & Review*. 2004. V. 11. P. 275-281.
368. Owen A.M., McMillan K.M., Laird A.R., Bullmore E. N-Back working memory paradigm: A meta-analysis of normative functional neuroimaging studies // *Human Brain Mapping*. 2005. V. 25. P. 46-59.
369. Owens M. et al. Processing efficiency theory in children: Working memory as a mediator between trait anxiety and academic performance // *Anxiety, Stress, and Coping: An International Journal*. 2008. V. 21. P. 417-430.
370. Paap K., Cooke N. Design of menus // *Handbook of Human-Computer Interaction* / M. Helander, T.K. Landauer. Amsterdam: Elsevier Science. 1997. P. 533–572.
371. Paas F., Tuovinen J.E., Tabbers H., van Gerven P.W.M. Cognitive load measurement as a means to advance cognitive load theory // *Educational psychologist*. 2003. V. 38. P. 63-71.
372. Palladino P., Jarrold C. Do updating tasks involve updating? Evidence from comparisons with immediate serial recall // *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*. 2008. V. 61. P. 392-399.
373. Parush A., Yuviler-Gavish N. Web navigation structures in cellular phones: the depth/breadth trade-off issue // *International Journal of Human-Computer Studies*. 2004. V. 60. P. 753–770.
374. Pascual-Leone J. A mathematical model for the transition rule in Piaget's developmental stages // *Acta Psychologica*. 1970. V. 32. P. 301-345.
375. Pashler H. Dual-task interference in simple tasks: Data and theory // *Psychological Bulletin*. 1994. V. 116. P. 220-244.
376. Pashler H. *The psychology of attention*. Cambridge, MA: MIT Press, 1998.
377. Passolunghi M.C., Vercelloni B., Schadee H. The precursors of mathematics learning: Working memory, phonological ability, and numerical competence // *Cognitive Development*. 2007. V. 22. P. 165-184.

378. Paul J., Reeve R. Relationship between single digit addition strategies and working memory reflects general reasoning sophistication // *Learning & Instruction*. 2016. V. 42. P. 113-122.
379. Paulesu E., Frith C., Frackowiak R. The neural correlates of the verbal component of working memory // *Nature*. 1993. V. 362. P. 342-345.
380. Pearson D., Logie R., Gillhooly K. Verbal representation and spatial manipulation during mental synthesis // *European Journal of Cognitive Psychology*. 1999. V. 11. P. 295-314.
381. Peterson L.R., Peterson M.J. Short-term retention of individual verbal items // *Journal of Experimental Psychology*. 1959. V. 58. P. 193-198.
382. Persson J., Welsh K., Jonides J., Reuter-Lorenz P. Cognitive fatigue of executive processes: interaction between interference resolution tasks. *Neuropsychologia*. 2007. V. 45. P. 1571-1579.
383. Pimentel E., Albuquerque P. Effect of divided attention on the production of false memories in the DRM paradigm: a study of dichotic listening and shadowing // *Psicologica*. 2013. V. 34. P. 285-298.
384. Poirier M., Dhir P., Saint-Aubin J. et al. The influence of semantic memory on verbal short-term memory / Kokinov B., Karmiloff-Smith A., Nersessian N. (Eds.) // *European Perspectives on Cognitive Science*. Sophia: The New Bulgarian University Press, 2011.
385. Portrat S. Barrouillet P., Camos V. Time-Related Decay or Interference-Based Forgetting in Working Memory? // *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*. 2008. V. 34. № 6. P. 1561–1564.
386. Posner M. Short-term memory system in Human Information Processing // *Information processing approaches in visual perception*. N.J.; Toronto; London, 1969.
387. Posner M. *Chronometric Explorations of Mind*. Hillsdale, N.J: Lawrence Erlbaum Associates, 1976.
388. Posner M., Petersen S. The attention system of the human brain // *Annual Review of Neuroscience*. 1990. V.13. P.25–42.
389. Posner M., Snyder C. Attention and cognitive control / Solso R. (ed.) // *Information processing and cognition; The Loyola symposium/ Hillsdale, NJ: Erlbaum, 1975. P. 55-85.*
390. Postman L., Phillips L.W. Short-term temporal changes in free recall // *Quarterly Journal of Experimental Psychology*. 1965. V. 17. P. 132-138.
391. Quintas, J.L., Souza, V.C., Henriques, A.D., Machado-Silva, W., Toledo, J.O., Córdova, C., Moraes, C.F., Camargos, E.F., & Nóbrega, O.T. Lack of association between apolipoprotein E genotypes and cognitive performance in the non-demented elderly // *Psychogeriatrics*. 2014. V. 14. P. 11-16.

392. Raber J., Huang Y., Ashford J.W. ApoE genotype accounts for the vast majority of AD risk and AD pathology // *Neurobiology of Aging*. 2005. V. 25. P. 641-650.
393. Radvansky G., Copeland D. Memory retrieval and interference: Working memory issues // *Journal of Memory and Language*. 2006. V. 55. P. 33-46.
394. Ramirez et al. Spatial anxiety relates to spatial abilities as a function of working memory in children // *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*. 2012. P. 1-14.
395. Ranganath C., Blumenfeld R. Doubts about double dissociations between short- and long-term memory. *Trends in cognitive science*. 2005. V. 9. P. 374-380.
396. Ranganath C., Cohen M., Brozinsky C. Working memory maintenance contributes to long-term memory formation: Neural and behavioral evidence. *Journal of Cognitive Neuroscience*. 2005. V. 17. P. 994-1010.
397. Rasmussen C., Bisanz J. Representation and working memory in early arithmetic // *Journal of Experimental Child Psychology*. 2005. V. 91. P. 137-157.
398. Raymond J., Shapiro K., Arnell K. Temporary suppression of visual processing in a RSVP task: An attentional blink? // *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*. 1992. V. 18. P. 849-860.
399. Redick T., Calvo A., Gay C., Engle R. Working memory capacity and Go/No Go task performance: Selective effects of updating, maintenance, and inhibition // *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*. 2011. V. 37. P. 308-324.
400. Reverberi C., D'Agostini S.D., Skrap M., Shallice T. Generation and recognition of abstract rules in different frontal lobe subgroups // *Neuropsychologia*. 2005. V. 43. P. 1924-1937.
401. Ribot T. *Les maladies de la mémoire*. New York: Appleton-Century-Crofts, 1881.
402. Ribot T. *La psychologie de l'attention*. Paris: L'Harmattan, 2007.
403. Rickard T., Bajic D. Memory retrieval given two independent cues: Cue selection or parallel access? // *Cognitive Psychology*. 2004. V. 48. P. 243-294.
404. Riedeger M. et al. Is seeking bad mood cognitively demanding? Contra-hedonic orientation and working memory capacity in everyday life // *Emotion*. 2011. V. 11. P. 656-665.
405. Roediger H.L., McDermott K.B. Creating false memories: Remembering words not presented in lists // *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*. 1995. V. 24. P. 803-814.
406. Roediger H.L., Weinstein Y., Agarwal P. Forgetting. Preliminary considerations / S. Della Sala (Ed.) *Forgetting*. Hove; Psychology Press, 2010. P. 1-22.

407. Rogers R., Monsell S. Cost of a predictable switch between simple cognitive tasks // *Journal of Experimental Psychology: General*. 1995. V. 124. P. 207-231.
408. Rondeel E., Steenbergen H., Holland R., van Knippenberg A. A closer look at cognitive control: differences in resource allocation during updating, inhibition and switching as revealed by pupillometry // *Frontiers in Human Neuroscience*. 2015. V. 9. P. 494.
409. Roodnerys S., Miller L. A constrained Rasch model of trace redintegration in serial recall // *Memory and Cognition*. 2008. V. 36. P. 578-587.
410. Rose N., Craik F.I.M. A processing approach to the working memory/long-term memory distinction: Evidence from the levels-of-processing span task // *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*. 2012. V. 38. P. 1019-1029.
411. Rose E.J., Ebmeier K.P. Pattern of impaired working memory during major depression // *Journal of Affective Disorders*. 2006. V. 90. P. 146-161.
412. Rosen V.M., Engle R. W. The role of working memory capacity in retrieval // *Journal of Experimental Psychology: General*. 1997. V. 126. P. 211-227.
413. Ross V. et al. Investigating the influence of working memory capacity when driving behavior is combined with cognitive load: An LCT study of young novice drivers // *Accident Analysis and Prevention*. 2014. V. 62. P. 377-387.
414. Sackur J., Dahaene S. The cognitive architecture or chaining of two mental operations // *Cognition*. 2009. V. 111. P. 187-211.
415. Sanchez A., Branaghan R. Turning to learn: Screen orientation and reasoning with small devices // *Computers in Human Behavior*. 2011. V. 27. P. 793-797.
416. Sassaroli A. et al. Discrimination of mental workload levels in human subjects with functional near infra-red spectroscopy // *Journal of Innovative Optical Health Sciences*. 2008. V. 1. P. 227-237.
417. Schelble J., Therriault D., Miller D. Classifying retrieval strategies as a function of working memory // *Memory and Cognition*. 2012. V. 40. P. 218-230.
418. Schmeichel B.J., Demaree H.A. Working memory capacity and spontaneous emotion regulation: High-capacity predicts self-enhancement in response to negative feedback // *Emotion*. 2010. V. 10. P. 739-744.
419. Schmiedeck F., Hildebrandt A., Lovden M., Wilhelm O., Lindenberger U. Complex span versus updating tasks of working memory: the gap is not that deep // *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*. 2009. V. 35. P. 1089-1096.
420. Schweppe J., Grice M., Rummer R. What models of verbal working memory can learn from phonological theory: Decomposing the phonological similarity effect // *Journal of Memory and Language*. 2011. V. 64. P. 256-269.

421. Scoccia L., Cicchini G., Triesch J. What's up? Working memory contents can bias orientation processing // *Vision Research*. 2013. V. 78. P. 46-55.
422. Shackman A.J. et al. Anxiety selectively disrupts visuospatial working memory // *Emotion*. 2006. V. 6. P. 40-61.
423. Shacter D.L., Tulving E. What are the memory systems of 1994? / D.L. Shacter, E. Tulving (Eds.) // *Memory systems 1994*. Cambridge, MA: MIT Press, 1994. P. 1-38.
424. Shah P., Miyake A. The separability of working memory resources for spatial thinking and language processing: An individual differences approach. *Journal of Experimental Psychology: General*. 1996. V. 125. P. 4-27.
425. Shah P., Miyake A. Models of working memory. An introduction // *Models of Working Memory. Mechanisms of active maintenance and executive control* / A. Miyake, P. Shah (Eds.). Cambridge: Cambridge University Press, 1999. P. 62-101.
426. Shoofs D., Wolf O.T., Smeets T. Cold pressor stress impairs performance on working memory tasks requiring executive functions in healthy young men // *Behavioral Neuroscience*. 2009. V. 123. P. 1066-1075.
427. Shulman H. G. Semantic conclusion errors in short-term memory // *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*. 1972. V. 11.
428. Skinner E., Fernandes M. Interfering with remembering and knowing: Effects of divided attention on retrieval // *Acta Psychologica*. 2008. V. 127. P. 211-221.
429. Smith E., Jonides J. Storage and executive process in the frontal lobes // *Science*. 1996. V. 283. P. 1657-1661.
430. Smyth M., Scholey K. Interference in immediate spatial memory // *Memory & Cognition*. 1994. V. 22. P. 1-13.
431. Sorg B.A., Whiney P. The effect of trait anxiety and situational stress on working memory capacity // *Journal of Research in Personality*. 1992. V. 26. P. 235-241.
432. Soto D., Silvanto J. Reappraising the relationship between working memory and conscious awareness // *Trends in Cognitive Science*. 2012. V. 18. P. 520-525.
433. Spataro P., Cestari V., Rossi-Arnaud C. The relationship between divided attention and implicit memory: a meta-analysis // *Acta Psychologica*. 2011. V. 136. P. 329-339.
434. Staub A., Benatar A. Individual differences in fixation duration distributions in reading // *Psychonomic Bulletin & Review*. 2013. V. 20. P. 1304-1311.
435. Sternberg S. Memory scanning: Mental processes revealed by reaction-time experiments // *American Scientist*. 1969. V. 4. P. 421-457.
436. Stevens A. et al. Borderline personality disorder: Impaired visual perception and working memory // *Psychiatry Research*. 2004. V. 125. P. 257-267.

437. Stevenson C.E., Heiser W.J., Resing W.C.M. Working memory as a moderator of training and transfer of analogical reasoning in children // *Contemporary Educational Psychology*. 2013. V. 38. P. 159-169.
438. Surprenant A.M., Neath I. *Principles of memory*. NY: Taylor and Francis, 2009.
439. Swanson H.L. Working memory in learning disability subgroups // *Journal of Experimental Child Psychology*. 1993. V. 56. P. 87-114.
440. Sweller J., van Merriënboer J. J. G., Paas F. Cognitive architecture and instructional design // *Educational Psychology Review*. 1998. V. 10: P. 251–296.
441. Talmi D., Schimmack U., Paterson T., Moscovitch M. The role of attention and relatedness in emotionally enhanced memory // *Emotion*. 2007. V. 7. P. 89-102.
442. Theeuwes J., Kramer A., Irwin D. Attention on our mind: the role of spatial attention in visual working memory // *Acta Psychologica*. 2011. V. 137. P. 248-251.
443. Thush C. et al. Interactions between implicit and explicit cognition and working memory capacity in the prediction of alcohol use in the at-risk adolescents // *Drug and Alcohol Dependence*. 2008. V. 94. P. 116-124.
444. Trick L.M., Pylyshyn Z. Why are small and large numbers enumerated differently? A limited-capacity preattentive stage in vision // *Psychological Review*. 1994. V. 101. P. 80 – 102.
445. Tolan G., Tehan G. determinants of short-term forgetting: Decay, retroactive interference, or proactive interference? // *International Journal of Psychology*. 1999. V. 50. P. 285-292.
446. Tombaugh T. A comprehensive review of the Paced Auditory Serial Addition Test (PASAT) // *Archives of Clinical Neuropsychology*. 2006. V. 21. P. 53-76.
447. Towse J. Hitch G. Is there a relationship between task demand and storage space in tests of working memory capacity? // *Quarterly Journal of Experimental Psychology*. 1995. V. 48. P. 108-124.
448. Towse J. Hitch G., Hutton U. A reevaluation of working memory capacity in children // *Journal of Memory and Language*. 1998. V. 39. P. 195-217.
449. Treisman A., Gelade G. A feature-integration theory of attention // *Cognitive Psychology*. 1980. V. 12. P. 97-136.
450. Troche S.J., Wagner F.L., Voelke A.E., et al. Individual differences on working memory capacity explain the relationship between general discrimination ability and psychometric intelligence // *Intelligence*. 2014. V. 44. P. 40-50.
451. Turk-Browne N., Golomb J., Chun M. Complementary attentional components of successful memory encoding // *Neuroimage*. 2013. V. 66. P. 553-562.

452. Turner M., Engle R. Is working memory capacity task dependent? // *Journal of Memory & Language*. 1989. V. 28. P. 127-154.
453. Tzelgov J. Specifying the relations between automaticity and consciousness: A theoretical note // *Consciousness and Cognition*. 1997. V. 6. P. 441-451.
454. Unsworth N., Redick T., Heitz R., Broadway J., Engle R. Complex working memory span tasks and higher-order cognition: a latent-variable analysis of the relationship between processing and storage // *Memory*. 2009. V. 17. P. 635-654.
455. Unsworth N., Spillers G.J., Brewer G.A. Examining the relations among working memory capacity, attentional control, and fluid intelligence from a dual-component framework // *Psychology Science Quarterly*. 2009. V. 51. P. 388-402.
456. 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. V. 114. P. 104-132.
457. Van Dijck J.-P., Abrahamse E., Majerus S., Fias W. Spatial attention interacts with serial-order retrieval from verbal working memory // *Psychological science*. 2013. V. 24. P. 1854-1859.
458. Velichkovsky, B.M., Joos, M., Helmert, J.R., & Pannasch, S. Two visual systems and their eye movements: evidence from static and dynamic scene perception // *CogSci 2005: Proceedings of the XXVII Conference of the Cognitive Science Society*. 2005, July 21-23 Stresa, Italy. P. 2283-2288.
459. Vergauwe E., Dewaele N., Langerock N., et al. Evidence for a central pool of general resources in working memory // *Journal of Cognitive Psychology*. 2012. V. 24. P. 359-366.
460. Vergauwe E., Camos V., Barrouillet P. The impact of storage on processing: how is information maintained in working memory? // *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, Cognition*. 2014. V.40(4). P. 1072-95.392.
461. Verhaegen P., Cerella J., Basak C., et al. The ins and outs of working memory: Dynamic processes associated with focus switching and search // *The cognitive neuroscience of working memory* / Osaka N., Logie R., D'Esposito M. (Eds.). Oxford: Oxford University Press, 2007. P. 81-97.
462. Vö, M. L., Jacobs, A. M., Kuchinke, L., Hofmann, M., Conrad, M., Schacht, A., & Hutzler, F. The coupling of emotion and cognition in the eye: Introducing the pupil old/new effect // *Psychophysiology*. 2008. V. 45. P. 130-140.
463. Walshe R., Nuthman A. Asymmetrical control of fixation durations in scene viewing // *Vision Research*. 2014. V. 100. P. 38-46.

464. Waters G., Caplan D. The measurement of verbal working memory capacity and its relation to reading comprehension // *Quarterly Journal of Experimental Psychology*. 1996. V. 49. P. 51-79.
465. Waugh N. C., Norman, D. A. Primary memory // *Psychological Review*. 1965. V. 72. P. 89-104.
466. Wickelgren W. Single-trace fragility theory of memory dynamics // *Memory and Cognition*. 1974. V. 2. P. 775-780.
467. Wickens C. The structure of attentional resources // *Attention and performance VIII* / Nickerson R. Hillsdale: Erlbaum, 1980. P. 239-257.
468. Wild-Wall N., Falkenstein M., Gajewski P. Age-related differences in working memory performance in a 2-back task // *Frontiers in psychology*. 2011. V. 2. Article 186.
469. Wiley J., Jarosz A.F. How working memory capacity affects problem solving // *Psychology of Learning and Motivation*. 2012. V. 56. P. 185-227.
470. Wilson A., Golonka S. Embodied cognition is not what you think it // *Frontiers in Psycholog.* 2013. V. 4. P. 58.
471. Wisdom, N.M., Callahan, J.L., & Hawkins, K.A. The effects of apolipoprotein E on non-impaired cognitive functioning: A meta-analysis // *Neurobiology of Aging*. 2011. V. 32. P. 63-74.
472. Wolfe J. et al. Visual search for arbitrary objects in real scenes // *Attention, Perception, and Psychophysics*. 2011. V. 73. P. 1650–1671.
473. Woodman G.F., Luck S.J. Visual search is slowed when visuospatial working memory is occupied // *Psychonomic Bulletin & Review*. 2004. V. 11. P. 269-274.
474. Wright C.A., Dobson K.S., Sears C.R. Does a high working memory capacity attenuate the negative impact of trait anxiety on attentional control? Evidence from the antisaccade task // *Journal of Cognitive Psychology*. 2014. V. 26. P. 400-412.
475. Zhang Y., Verhaeghen P. Glimpses of a one-speed mind: focus switching and search for verbal and visual, and easy and difficult items in working memory // *Acta Psychologica*. 2009. V. 131. P. 235-244.
476. Ziefle M., Bay S. Mental models of Cellular Phones Menu. Comparing older and younger novice users//*Mobile Human Computer Interaction*/S. Brewster, M. Dunlop. Heidelberg: Springer. 2004. P. 25-37.
477. Zokaei N., Ning S., Manohar S., Feredoes E., Husain M. Flexibility of representational states in working memory // *Frontiers in Human Neuroscience*. 2014. V. 8. Article 853.