



**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ
М.В.ЛОМОНОСОВА**

ФАКУЛЬТЕТ ПСИХОЛОГИИ

На правах рукописи

Савельева Ольга Александровна

**ТИПЫ РЕПРЕЗЕНТАЦИЙ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ
ИНФОРМАЦИИ В РАБОЧЕЙ ПАМЯТИ**

19.00.01 – Общая психология, психология личности, история психологии

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени

кандидата психологических наук

Научный руководитель:
доктор психологических наук
Меньшикова Г. Я.

Москва – 2022

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	4
ГЛАВА 1. ТИПЫ РЕПРЕЗЕНТАЦИЙ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ИНФОРМАЦИИ: ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ И ЭМПИРИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ	18
1.1. Развитие пространственных представлений	18
1.2. Типы пространственных репрезентаций	24
1.3. Модели формирования эго- и аллоцентрических репрезентаций пространственной информации	31
1.4. Исследования процессов формирования пространственных репрезентаций в долговременной памяти	42
1.5. Эмпирические исследования процессов формирования пространственных репрезентаций в рабочей памяти	52
1.6. Нейробиология формирования эго- и аллоцентрических репрезентаций пространственной информации	67
Выводы по Главе 1	72
ГЛАВА 2. ПРОБЛЕМА МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕПРЕЗЕНТАЦИЙ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ИНФОРМАЦИИ	76
2.1. Методы исследования репрезентаций пространственной информации в долговременной памяти	76
2.2. Методы исследования репрезентаций пространственной информации в рабочей памяти	85
2.3. Разработка авторской методики оценки точности пространственных репрезентаций при помощи технологий виртуальной реальности	88
2.3.1. Выбор технологии предъявления 3D сцен	91
2.3.2. Аппаратура и программное обеспечение	93
2.3.3. Операционализация эго- и аллоцентрических репрезентаций	95
2.3.4. Оценка точности пространственных репрезентаций	97
2.3.5. Операционализация пространственных задач	100
2.3.6. Операционализация нагрузок на пространственную систему рабочей памяти	102
Выводы по главе 2	106
ГЛАВА 3. ИЗУЧЕНИЕ ТОЧНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ЭГО- И АЛЛОЦЕНТРИЧЕСКИХ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ РЕПРЕЗЕНТАЦИЙ В РАБОЧЕЙ ПАМЯТИ	109
3.1. Постановка проблемы	109
3.2. Метод	114

3.3. Результаты	119
3.4. Обсуждение результатов	131
Выводы по Главе 3	144
ГЛАВА 4. ИЗУЧЕНИЕ ТОЧНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ЭГО- И АЛЛОЦЕНТРИЧЕСКИХ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ РЕПРЕЗЕНТАЦИЙ ДИНАМИЧЕСКИХ СЦЕН В РАБОЧЕЙ ПАМЯТИ.....	
4.1. Постановка проблемы	146
4.2. Метод	151
4.3. Результаты	155
4.4. Обсуждение результатов	168
Выводы по Главе 4	175
ОБЩИЕ ВЫВОДЫ.....	177
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	179
ЛИТЕРАТУРА	183
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	195
Приложение 1. Проверка распределений наборов данных по всем экспериментальным условиям на нормальность	195
Приложение 2. Проверка гипотез первого эксперимента.	202
Приложение 3. Проверка гипотез второго эксперимента.	217
Приложение 4. Глоссарий аббревиатур.	236

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность.

В повседневной деятельности человеку жизненно необходима способность сохранять и воспроизводить информацию о пространственном расположении внешних объектов. Несмотря на долгую и плодотворную историю изучения процессов пространственного познания, многие вопросы остаются открытыми не смотря на появление большого числа новых задач фундаментальной науки и практики. Среди важных задач фундаментальной науки следует отметить междисциплинарные задачи, связанные с уточнением нейрокогнитивных данных о работе системы «GPS мозга» (O’Keefe, Nadel, 1976; Moser et al., 2014; Nouhoum et al., 2021), обеспечивающей возможность навигации и ориентации в окружающей среде. Среди прикладных – задачи клинической психологии, связанные с разработкой новых методов диагностики и реабилитации пространственных нарушений (Ковязина и др., 2017; Cheville et al., 2021), а также восстановления движений при помощи вживленных киберпротезов (Deadwyler et al., 2020). Разработка новых методов оценки пространственных способностей востребована в спортивной психологии, а также в психологии одаренности для раннего выявления талантливых детей (Холодная, 2012; Ушаков, 2019). Также следует отметить запросы со стороны робототехники, связанные с развитием систем искусственного интеллекта, автоматизированных систем распознавания сложных сцен, а также сенсорных систем навигации роботов и др. (Kreiman, 2021).

В современной научной литературе описаны многочисленные конструкты, предлагаемые для моделирования и исследования пространственного познания: обсуждаются разные виды пространственных способностей, типы пространственного интеллекта, структура пространственной памяти, нейронный субстрат и нейронные сети, обеспечивающие пространственные действия и т.д. Был разработан широкий спектр методических приемов для исследования пространственного познания:

реконструкции в задачах манипуляции с объектами в реальных и виртуальных пространствах, визуализации при решении геометрических задач, нейропсихологические пространственные пробы, многочисленные тесты, связанные с пространственными преобразованиями (задания из теста Амтхауэра, матрицы Равена) и т.д. При попытках найти общие психологические конструкторы, стоящие за психологической реальностью пространственного познания и процессами обработки разных типов репрезентаций пространственной информации, было разработано одно из наиболее перспективных направлений, связанное с понятием пространственных репрезентаций.

Понятие «*пространственная репрезентация*» (spatial representation) определяется как мысленный (ментальный) образ окружающего пространства, благодаря которому формируются представления о локализации объектов и их взаимном расположении в пространстве (Shepard, 1973). Для описания сложной структуры образа окружающего пространства вводились разные понятия, которые в когнитивной психологии были обозначены как «схема» (Bartlett, 1932; Найсер, 1981), «когнитивная карта» (Tolman, 1948), «фрейм» (Минский, 1979) или «пространственная репрезентация» (Shepard, 1973), у психолингвистов – референциальные системы координат (Levinson 2003; 1996).

Проблема пространственных репрезентаций получила основную разработку в когнитивном подходе. Было выделено два типа пространственных репрезентаций: эгоцентрические и аллоцентрические (Klatzky, 1998). *Эгоцентрические пространственные репрезентации (ЭПР)* кодируют положение объектов окружающей среды относительно наблюдателя, тогда как *аллоцентрические пространственные репрезентации (АПР)* кодируют местоположение объектов друг относительно друга и безотносительно позиции наблюдателя. Позже в ряде работ эти понятия были уточнены и дополнены (Meilinger et al., 2010; O'Regan, Noë, 2001a; O'Regan, Noë, 2001b; Vosgerau, 2009). В настоящее время внимание исследователей направлено на изучение

нейрокогнитивных основ выделенных репрезентаций (O'Keefe, Dostrovsky, 1971; O'Keefe, 1976; O'Keefe, Nadel, 1978; Moser et al., 2014; Ruotolo et al., 2019 и другие).

В результате большого числа экспериментальных исследований были получены данные, на основе которых были разработаны модели процессов конструирования пространственных репрезентаций в когнитивном подходе (Shepard, 1973; Величковский и др., 1986; Klatzky, 1998; Wang, Spelke, 2000; Burgess, 2001, 2004, 2006, 2008; Wen, Ishikawa, Sato, 2011, 2013; Colombo et al., 2017; Ruotolo et al., 2011, 2015, 2016; Меньшикова и др., 2014; Савельева, Меньшикова, 2017; Меньшикова, Савельева, Ковязина, 2018, Saveleva et al., 2016, 2021 и другие), а также в нейрокогнитивном подходе (O'Keefe, Dostrovsky, 1971; Moser et al., 2014; Ruotolo et al., 2019 и др.).

Несмотря на накопленные теоретические и эмпирические данные по проблеме пространственных репрезентаций, многие вопросы формирования ЭПР и АПР остаются мало изученными. На современном этапе их изучение обладает рядом следующих особенностей (Меньшикова, Савельева, Ковязина, 2018).

Во-первых, в научной литературе мало изучен вопрос о начальных процессах формирования пространственных репрезентаций в рабочей памяти. В многокомпонентной модели рабочей памяти (РП) (Baddeley, Hitch, 1974) предложены основные блоки или системы в современной интерпретации, ответственные за хранение и переработку информации. Показано, что ЭПР и АПР формируются преимущественно в визуально-пространственном блокноте рабочей памяти (ВПП) (напр. Coluccia, 2008; Wen, Ishikawa, Sato, 2013). Однако многие вопросы формирования ЭПР и АПР в ВПП остаются мало изученными.

Во-вторых, существует проблема сравнения точности формирования ЭПР по отношению к АПР, связанная с выделением единиц анализа, позволяющих единообразно оценивать характеристики как ЭПР, так и АПР. В работах Ж.

Пиаже и Б. Инхелдера (Piaget, 1954; Piaget, Inhelder, 1966, 1983) показано онтогенетическое становление пространственных представлений от приблизительных топологических к точным метрическим единицам. Однако, большинство работ оценивают точность ЭПР и АПР в ранговой шкале или по косвенным поведенческим реакциям, что снижает возможности их сравнения. В последнее время стали появляться работы, в которых было предложено оценивать пространственные репрезентации в *метрических* (или координатных) и *топологических* (или категориальных) единицах (Ruotolo et al., 2011, 2019; Lopez et al., 2020; Moraresku, Vlcek, 2020; Ruggiero et al., 2021). Полученные результаты выявили более быстрое и точное формирование метрических ЭПР в персональном пространстве, где актуальны задачи манипуляции объектами на расстоянии вытянутой руки, и, напротив, более быстрое и точное формирование топологических АПР в задачах запоминания характеристик дальнего пространства (Ruotolo et al., 2019). Следует отметить, что эти данные получены на 2D стимульном материале.

В-третьих, существует проблема единообразной методики, применимой для изучения как ЭПР, так и АПР, связанная с особенностью их формирования. Процесс формирования АПР существенно более сложный по сравнению с ЭПР и зависит не только от способности оценить пространственные отношения между отдельными элементами образа, но и от умения осуществлять мысленные манипуляции как с отдельными элементами, так и со всей сценой в целом. (Величковский, 1986; Spelke, 2002). В недавних исследованиях был применен метод реконструкции, позволяющий воспроизводить в рисунке или на мониторе запомненную пространственную сцену (Goodale, Milner, 2008; Меньшикова и др., 2014). Он оказался эффективным, поскольку позволял сравнить объектно-эксплицированные субъективные пространственные репрезентации с объективными пространственными характеристиками сцены. Данный метод был модифицирован для реконструкции 3D сцен и эффективно

применен для сравнения точности формирования ЭПР и АПР в кратковременной памяти (Меньшикова, Савельева, Ковязина, 2018).

В-четвертых, изучение ЭПР и АПР велось в основном в рамках исследований долговременной и в меньшей степени кратковременной памяти (Величковский и др., 1986; Меньшикова и др., 2014; Byrne et al., 2007; Jahn et al., 2007; Johnson-Laird, 1983; Shelton, McNamara, 1997; Holmes, Sholl, 2005; Wang, Spelke, 2000; Lopez et al., 2020; Moraresku, Vlcek, 2020). Существенно меньше работ посвящено изучению процессов формирования ЭПР и АПР в рабочей памяти (Coluccia et al., 2004, 2007; Garden et al., 2002; Coluccia, 2008; Wen, Ishikawa, Sato, 2013). Полученные в этих работах данные показали, что визуально-пространственный блокнот рабочей памяти играет ключевую роль в формировании пространственных репрезентаций, при этом визуальная система отвечает за идентификацию объектов, а пространственная система – за кодирование информации о локализации объектов. Однако, практически отсутствуют работы по точности формирования АПР и ЭПР в РП. Кроме того, были выявлены противоречия относительно приоритетов при формировании РП. Например, в работе (Coluccia, 2008) было показано первичное формирование АПР и последующее формирование ЭПР, что подчеркивает главенствующую роль нисходящих процессов (top-down processing). В других работах, например в работе (Wen, Ishikawa, Sato, 2013), продемонстрирован приоритет ЭПР с дальнейшим формированием абстрактных АПР, что отражает первенство восходящих процессов (bottom-up processing).

В-пятых, подавляющее большинство работ посвящено изучению ЭПР и АПР дальнего пространства (Milner, 1971; DellaSala, Grey, Baddeley, & Wilson, 1997; Vecchi & Cornoldi, 1999; Richardson & Vecchi, 2002 и др.) и лишь небольшое число работ посвящено проблемам формирования ЭПР и АПР в персональном пространстве (в пределах досягаемости руки) (Zhang, Qian, 2018; Aagten-Murphy, Bays, 2019; Heywood-Everett, Baker, Hartley, 2020). Были выявлены различия когнитивных процессов формирования репрезентаций

персонального и внеперсонального (за пределами досягаемости руки) пространства (local/global space) (Rasche, Velichkovsky, 2009), в связи с чем остается малоизученным вопрос о формировании ЭПР и АПР в персональном пространстве.

В-шестых, в научной литературе уже накоплены данные о влиянии многих средовых факторов на успешность формирования ЭПР и АПР в РП. Так, например, была показана роль фоновых объектов и их ориентации (Mou et al., 2008), геометрии окружающего пространства (Burgess, 2002), изменения ракурса наблюдения (Simons, Wang, 1998), степени знакомства со средой (Xiao et al., 2009). В отмеченных работах для изучения процессов запоминания в качестве стимулов использовались *статические объекты и сцены*. Однако, в литературе практически нет работ, изучавших точность формирования ЭПР и АПР в РП в условиях запоминания *динамических сцен*. Отдельные работы рассматривали частные вопросы корректной идентификации объектов в динамических условиях (Yan-yan, 2013) или особенности формирования пространственных репрезентаций при восприятии фильмов (May, Barnard, 2018). Изучение закономерностей запоминания динамических сцен позволило бы понять особенности формирования ЭПР и АПР в рабочей памяти при решении динамических пространственных задач, а также уточнить архитектуру рабочей памяти, проверив предположения других исследователей, например (Cocchi et al., 2007), о существовании системы обработки динамической информации.

В-седьмых, следует отметить, что процессы формирования ЭПР и АПР изучались в рамках когнитивного подхода. Однако, мнемические процессы тесно связаны с мотивационными аспектами, что оказывает влияние на запоминание и воспроизведение в деятельности человека (Леонтьев, 1965). Поэтому представляет интерес данные о формировании ПР, полученные в рамках когнитивного подхода, проинтерпретировать в более широком контексте принципа активности, используя понятийный аппарат системно-

деятельностного подхода (Асмолов, 1985). Это позволит рассмотреть процессы кодирования информации в рабочей памяти с точки зрения более общего контекста различных научных представлений о человеке как субъекте познания.

Принцип активности является общим как для современных направлений когнитивной психологии, так и для системно-деятельностного подхода, что делает его (принцип активности) базовой категорией, используемой в качестве объяснительного принципа для анализа разнообразных феноменов: внутренней личностной детерминации (Рубинштейн, 1940), конструктивной природы познания (напр., Пиаже, 1954), в конкретной деятельности (Леонтьев, 1973, Асмолов, 1982, Гусев, 2004), в концепции «физиологии активности» (Бернштейн, 1966) и т.д. Указанные психологические подходы не противопоставляются друг другу, а задают разные ракурсы изучения и решения проблемы пространственных репрезентаций. Применение разных подходов при интерпретации эмпирических данных, полученных на уровне конкретно-научной методологии позволяют нам увидеть связь различных школ и теорий и осуществить коммуникацию между ними, чтобы выйти к уровню общенаучных принципов системного анализа.

Цель исследования. Изучение точности формирования эгоцентрических и аллоцентрических репрезентаций пространственной информации в рабочей памяти.

Объект исследования. Эгоцентрические и аллоцентрические пространственные репрезентации в рабочей памяти.

Предмет исследования. Эгоцентрические и аллоцентрические пространственные репрезентации статических и динамических сцен в рабочей памяти

Общая гипотеза исследования:

1. При формировании эгоцентрических и аллоцентрических пространственных репрезентаций статических и динамических сцен

визуальная и пространственная системы рабочей памяти работают независимо друг от друга.

Частные гипотезы исследования:

2. Точность идентификации объектов не зависит от низкой/высокой пространственной нагрузки, а также от статического/динамического условия предъявления сцены.
3. Точность локализации объектов при формировании эгоцентрических репрезентаций выше по сравнению с аллоцентрическими вне зависимости от единиц измерения (топологических или метрических).
4. Время реконструкции сцены при формировании эгоцентрических репрезентаций меньше по сравнению с аллоцентрическими как для статических, так и для динамических сцен.
5. Пространственная нагрузка на визуально-пространственный блокнот рабочей памяти:
 - снижает точность локализации объектов в метрических единицах;
 - не влияет на точность локализации объектов в топологических единицах.

Задачи исследования.

1. Провести анализ исследований процессов формирования пространственных репрезентаций ближнего и дальнего пространства в статических/динамических средах в рабочей/долговременной памяти.
2. Проанализировать современные методики изучения эгоцентрических и аллоцентрических пространственных репрезентаций и выявить их преимущества и ограничения для разработки авторской методики оценки точности формирования эгоцентрических и аллоцентрических пространственных репрезентаций в рабочей памяти.
3. Разработать виртуальную среду, а также способы регистрации данных и алгоритм оценки точности формирования эгоцентрических и

аллоцентрических пространственных репрезентаций в задаче запоминания и реконструкции пространственных сцен.

4. Разработать дополнительную пространственную задачу для актуализации процессов рабочей памяти и варьирования нагрузки на пространственную систему визуально-пространственного блокнота рабочей памяти.
5. Изучить время реконструкции и точность формирования эгоцентрических и аллоцентрических пространственных репрезентаций статических и динамических сцен в зависимости от уровня пространственной нагрузки (низкой или высокой).
6. Сравнить особенности формирования эгоцентрических и аллоцентрических пространственных репрезентаций статических сцен по сравнению с динамическими.
7. Проанализировать полученные результаты в рамках многокомпонентной теории А. Бэддели для уточнения функций отдельных систем визуально-пространственного блокнота рабочей памяти при формировании эгоцентрических и аллоцентрических пространственных репрезентаций.
8. Обобщить результаты проведенных теоретических и экспериментальных исследований на основе системно-деятельностного подхода и принципа активности к проблеме формирования эгоцентрических и аллоцентрических пространственных репрезентаций.

Методология исследования: конструктивистский подход к изучению познавательных процессов (Bartlett, 1932, Найсер, 1981; Piaget, Inhelder, 1966, 1983; Levinson 1996, 2003); когнитивный подход к исследованию рабочей памяти (Baddeley, 2012; Logie, 1995; Величковский, 2015) и к изучению пространственных репрезентаций (Shepard, 1973; Величковский и др., 1986; Klatzky, 1998; Блинникова, 2012); системно-деятельностный подход к познавательным процессам (Леонтьев, 1973; Асмолов, 1982) и концепция уровневой природы восприятия (Асмолов, 1982; Гиппенрейтер 1983; Гусев 2004, 2013; Фаликман, 2015).

Методы и методики исследования: метод эксперимента на основе разработки новых и модификации известных методических процедур, предложенных в когнитивной психологии; разработанный аппаратно-программный комплекс на основе технологий виртуальной реальности в виде шлема (HMD) и программного обеспечения Unity PRO; метод прямой реконструкции для изучения формирования пространственных репрезентаций, методика двойной задачи для изучения многокомпонентной структуры рабочей памяти, методика изменения точки обзора, методика обнаружения изменений. Статистический анализ данных: многофакторный дисперсионный анализ и сравнение средних при помощи программы SPSS Statistics version 22.

Характеристика выборки. В двух представленных в работе экспериментах приняли участие 112 участников - студенты факультетов психологии и ИСАА МГУ имени М.В.Ломоносова. Средний возраст участников составил $(21,0 \pm 2,3)$ года. Все обладали нормальным или скорректированным до нормального зрением, а также не имели нарушений вестибулярного аппарата и травм головного мозга.

Научная новизна результатов работы состоит в том, что впервые получены новые эмпирические данные о точности формирования эгоцентрических и аллоцентрических пространственных репрезентаций при запоминании статических и динамических сцен, позволившие количественно сравнить эффективность их формирования в рабочей памяти и разработать модель формирования эгоцентрических и аллоцентрических пространственных репрезентаций, позволившую уточнить архитектуру рабочей памяти мультikomпонентной модели А. Бэддели, раскрыв содержание ранее считавшейся неделимой пространственной системы визуально-пространственного блокнота, выделив в ней две части: метрическую пространственную подсистему, кодирующую локальную информацию о

координатах объектов в пространстве, и топологическую пространственную подсистему, кодирующую глобальную конфигурацию объектов.

Разработана авторская методика количественной оценки точности формирования эгоцентрических и аллоцентрических репрезентаций, основанная на определении точности идентификации и пространственной локализации объектов (в метрических и топологических единицах) запомненной 3D статической или динамической пространственной сцены, что позволило сравнивать между собой разные типы репрезентаций в разных экспериментальных условиях.

Разработан программно-аппаратный комплекс, обеспечивающий погружение участников в 3D виртуальную среду, в которой после предъявления 3D сцены появляется интерфейс для реконструкции сцены по памяти, осуществляется управление сложностью мнемической задачи и в режиме реального времени проводится регистрация данных о точности формирования обоих типов репрезентаций, позволивший впервые собрать эмпирические данные о точности формирования эгоцентрических и аллоцентрических репрезентаций при решении различных по сложности пространственных задач (в том числе и задач, связанных с запоминанием динамических сцен), которые легли в основу новой модели формирования эгоцентрических и аллоцентрических репрезентаций.

Теоретическая значимость результатов исследования состоит в выявлении фундаментальных закономерностей формирования эгоцентрических и аллоцентрических пространственных репрезентаций в рабочей памяти. Новые эмпирические данные о процессах формирования обоих типов репрезентаций необходимы для развития фундаментальных знаний о процессах пространственного познания. Результаты исследования важны для уточнения работы системы «GPS мозга», позволяющей выявлять нейронные корреляты кодирования пространственных характеристик среды и локализации тела наблюдателя, а также для решения задач, связанных с моделированием систем

искусственного интеллекта, кодирующих пространственные свойства среды в соответствии с процессами обработки информации в рабочей памяти человека.

Практическая значимость результатов исследования состоит в разработке и апробации новой высокотехнологичной методики оценки точности эгоцентрических и аллоцентрических пространственных репрезентаций при помощи технологий виртуальной реальности; в диагностическом потенциале методики: она позволяет измерять точность обоих типов репрезентаций в разных видах памяти на разных возрастных и нозологических группах; в реабилитационном потенциале методики: она позволяет сравнивать характеристики эгоцентрических и аллоцентрических репрезентаций на разных этапах восстановления пространственных нарушений различного генеза (последствий инсульта, процессов нормального старения, или в здоровых выборках, например, в ходе детского развития); в повышении экологической валидности диагностики пространственных способностей: традиционные тесты основаны на предъявлении 2D стимулов и ранговой, приблизительной оценке их выполнения, что ограничивает точность диагностики; в возможном использовании оценок точности пространственных репрезентаций как индикаторов высокого интеллекта и одарённости. Выделение терапевтических мишеней в виде таких базовых элементов как способность формировать точные эгоцентрические и аллоцентрические репрезентации, лежащие в основе любого пространственного акта, востребовано в восстановительной медицине: эрготерапии и для разработки носимых или вживленных технических устройств, созданных для оптимизации когнитивных функций (памяти, внимания, когнитивного контроля) при решении повседневных задач.

Достоверность результатов и обоснованность выводов обеспечена всесторонним теоретическим анализом изучаемой области знаний; обоснованным дизайном исследования и применением методов и методик,

адекватных задачам и гипотезам исследования. Статистическая достоверность обеспечена достаточным числом испытуемых и выполненными ими экспериментальных проб и применением адекватных статистических методов.

Положения, выносимые на защиту:

1. В рабочей памяти нагрузка на пространственную систему не влияет на эффективность работы визуальной системы.
2. Процессы формирования эгоцентрических и аллоцентрических репрезентаций проходят последовательно – сначала формируются эгоцентрические, а затем на их основе формируются аллоцентрические.
3. Пространственная система в визуально-пространственном блокаде рабочей памяти состоит из двух подсистем, одна из которых кодирует локальную информацию о пространственных координатах объектов (метрическую информацию); а другая – глобальную, о целостной конфигурации объектов (топологическую информацию).
4. При формировании эгоцентрических и аллоцентрических пространственных репрезентаций динамических сцен, по сравнению со статическими, роль подсистемы, кодирующей локальную метрическую информацию, снижается, при этом роль подсистемы, кодирующей глобальную топологическую информацию, повышается.

Апробация результатов исследования. Результаты исследований обсуждались на заседаниях кафедры общей психологии и лаборатории «Восприятие» факультета психологии МГУ имени М.В.Ломоносова, а также докладывались в рамках конференций: Международный симпозиум «Видео и Аудио процессы в контексте Нейротехнологий» (Санкт-Петербург, 2016); «39-я, 40-я и 42-я Европейские конференции по зрительному восприятию» (Барселона, 2016; Берлин, 2017; Лювен, 2019); 18-й и 20-й Международные конгрессы по психофизиологии (Гавана, 2016; Ченгду, 2021); XI Международный конгресс «Нейрореабилитация» (Москва, 2019); XVI

Европейский психологический конгресс (Москва, 2019); 3-й Российский конгресс «Физическая и реабилитационная медицина» (Москва, 2019); «Когнитивная наука в Москве: новые исследования» (Москва, 2021).

Структура и объем диссертации. Объем работы составляет 194 страницы без приложений и 236 страниц с приложениями. Диссертация включает введение, четыре главы, выводы, заключение и список литературы. В диссертации приведено 4 таблицы и 28 рисунков. Список литературы содержит 317 источников, 229 из которых на иностранных языках.

ГЛАВА 1. ТИПЫ РЕПРЕЗЕНТАЦИЙ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ИНФОРМАЦИИ: ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ И ЭМПИРИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1. Развитие пространственных представлений

Ежедневно человеку приходится решать разнообразные пространственные задачи. Как мысленно построить самый быстрый и простой маршрут от дома до поликлиники? Как понятно объяснить гостю дорогу до дома? Как точно рассчитать движение, чтобы забросить волейбольный мяч в кольцо? Решение этих задач возможно при наличии эффективной системы формирования пространственных представлений об окружающей среде, позволяющей успешно ориентироваться, передвигаться в пространстве и точно манипулировать окружающими предметами.

Пространственное познание – это процесс интеграции различных когнитивных функций, таких как пространственное восприятие (spatial perception), пространственная память (spatial memory), пространственное внимание (spatial attention), а также пространственный интеллект (spatial intelligence), каждая из которых играет важную роль в процессах формирования пространственных представлений об объектах и их локализации.

Одним из наиболее важных компонентов пространственного познания является пространственная память, которая определяется как способность кодировать, сохранять и воспроизводить пространственную информацию посредством конструирования и сохранения пространственных представлений (O'keefe, Nadel, 1978; Tolman, 1948).

Пространственная память рассматривается как активный многоуровневый когнитивный процесс, функционально связанный с другими когнитивными процессами, в первую очередь с мышлением. Специфику связи пространственной памяти и мышления рассматривали многие авторы. В работах М. Вертгеймера описывалось продуктивное мышление как способность

к переструктурированию информации через пространственные преобразования (Вертгеймер, 1987). Позже, развивая эти идеи, Р. Арнхейм ввел понятие «визуального мышления», отличая его от логического мышления и подчеркивая его пространственный характер (Арнхейм, 1974). В работах Л.М. Веккера при рассмотрении вопроса взаимосвязи мышления и восприятия было отмечено, что мышление происходит по законам пространственных преобразований, что позволяет рассматривать его как средство для решения не только пространственных задач, но и любых задач вообще (Веккер, 1998).

Современные подходы к решению проблемы пространственного познания лежат в русле конструктивизма, опирающегося на принцип активности познающего субъекта и принцип развития в построении представления об окружающем мире (Асмолов, Шехтер, Черноризов, 2014; Фаликман, 2016). Многочисленные исследования процессов восприятия и памяти показали, что пространственные представления и образы не пассивно извлекаются и запечатлеваются, а активно конструируются субъектом с учетом особенностей воздействия окружающей среды в целом (Гельмгольц, 2011; Найссер, 1981; Gregory, 1997; Леонтьев, 1975; Запорожец, 1966; Тихомиров, 1984; Сергиенко, 2006; Lisi, Cavanagh, 2015; Нуркова, 2015; Асмолов, Шехтер, Черноризов, 2020).

Одним из первых и основных психологических понятий, введенных в когнитивной психологии в процессе изучения памяти, стала концепция схемы, которая определялась как «активная организация прошлых реакций и прошлого опыта» (Bartlett, 1932, p. 201). Ф.Ч.Бартлет показал, что любые объекты окружающей среды сначала запечатлеваются в индивидуализированном схематичном виде, а при воспоминании конструируются с опорой на организованную массу человеческого опыта (схему). Это понятие позже было использовано в теории уровней обработки информации (Craik & Lockhart, 1972) для описания процесса переработки информации при формировании схематичного образа окружающей среды.

Позже в когнитивной психологии понятие «схемы» было постепенно обобщено до понятия «ментальной репрезентации», а внимание исследователей сосредоточилось на изучение формата и содержания репрезентаций (подробнее см. Гершкович, Фаликман, 2012).

В работах когнитивных психологов, например Познера и его коллег (Posner, Boies, 1971), был описан самостоятельный блок визуально-пространственной матрицы, имеющей две составляющие: визуальную (яркость, форма, цвет, размер) и пространственную (местоположение, взаимное расположение). Согласно предложенной ими когнитивной модели, информация об объектах окружающего пространства и их месторасположении осуществляется на самых ранних этапах формирования образов памяти.

Одним из важных вопросов изучения пространственной памяти является вопрос о метрической соотнесенности реальных объектов и их образов, который был обозначен как феномен перцептивной конгруэнтности. Изучением этого вопроса занимались многие западные (Ричардсон, 2006; Kosslyn et al., 2006) и отечественные исследователи (Величковский и др., 1986). Конструирование мысленного образа предполагает, что существует гипотетическое ментальное пространство, в котором представлены воспринимаемые объекты, а также сформированы когнитивные правила кодирования и мысленных манипуляций с ними. Было высказано предположение, что ментальные образы пространства целостны и законы их организации сходны с законами организации физического пространства (Ричардсон, 2006). С другой стороны, многие экспериментальные исследования показали, что мысленные образы не являются точным слепком реальных сцен, а их пространственные свойства зависят от многих психологических факторов. Например, в работе (Величковский и др., 1986) было показано, что точность пространственных представлений может зависеть от того, насколько знаком путь прохождения: расстояния знакомых маршрутов недооцениваются, тогда как расстояния мало знакомых маршрутов напротив – переоцениваются. В этом

же исследовании были получены данные об ошибках, связанных с влиянием группировки хорошо известных ориентиров, которые выступают как единый пространственный кластер. По мнению авторов, этот тип ошибок возникает в связи с особой стратегией организации пространственного знания, благодаря которой выделяются системы отсчета различного уровня обобщенности. Другим примером важной роли психологических факторов является исследование, показавшее влияние эмоциональных состояний на успешность формирования когнитивных карт пространства (Меньшикова и др., 2014). В данной работе был выявлен феномен субъективного «сжатия» пространства под воздействием негативных эмоций субъекта, осуществляющего навигацию в виртуальных лабиринтах.

Мысленные образы объектов трехмерны, и ими можно мысленно манипулировать: перемещать и вращать. В ряде работ (Shepard, 1988; Finke, 1989) изучались характеристики кодирования пространственной информации в памяти при использовании специальной методики мысленного вращения (Shepard, Metzler, 1971). Полученные результаты позволили высказать предположение о том, что зрительные образы сохраняют основные свойства реального пространства, их можно мысленно сканировать, причём время сканирования зависит от размеров воспринимаемой сцены и сложности ее пространственной структуры. Дальнейшие исследования в этом направлении показали, что и воображаемые, и реальные манипуляции с объектами обладают одинаковыми характеристиками динамики, и опосредованы одними и теми же когнитивными механизмами (Ричардсон, 2006).

Для изучения процессов запоминания пространственных характеристик окружающей среды при навигации Э. Толмен ввел понятие «когнитивные карты» (КК) и изложил результаты в основных работах: «Целенаправленное поведение у животных и человека» в 1932 году и «Когнитивные карты у крыс и у человека» в 1948 году (Tolman 1932, 1948). Согласно его определению, КК – это субъективный образ, отражающий свойства и структуру окружающего

пространства: он имеет пространственные координаты (верх-низ, право-лево, далеко-близко), в которых локализованы воспринимаемые объекты.

С развитием «экологического подхода к сознанию», У. Найссер включил схематичное понятие КК в «часть перцептивного цикла, которая является внутренней по отношению к воспринимающему, модифицируется опытом и тем или иным образом специфична в отношении того, что воспринимается» (Найссер, 1981, с.73). Таким образом, У. Найссер показал разворачивающийся циклический процесс формирования КК, который одновременно направляется внутренней активностью субъекта на основе уже имеющейся КК, создающей предвосхищение, т.е. готовность воспринять новые условия извне, и сразу же корректируется быстро изменяющимися в деятельности условиями. В каждый момент времени пространственные представления изменяются и дополняются в соответствии с актуальной информацией, субъективный образ пространства является не стационарным, а динамическим конструктом (Найссер, 1981). В дальнейших работах (Найссер, 1981, Hirtle, Jonides, 1985; McNamara, 1986) были развиты представления, отразившие сложную уровневую структуру КК, состоящую из локальных схем, включенных в более глобальные схемы.

Первая эмпирическая модель формирования ментальных карт пространства была разработана на материале навигации по городу (Lynch, 1960). Были введены новые эмпирические конструкты (элементы), составляющие основу формирования КК города, а также новые исследовательские процедуры. В качестве основных элементов были предложены пути (routes), границы (edges), районы (districts), узлы (nodes) и ориентиры (landmarks). Используя эту концепцию, К.Линч объяснил, как жители запоминают, что и где находится, формируя ментальную карту города с опорой на выделенные им элементы.

В то же время, когда Эдвард Толмен на территории США изучал формирование КК сначала у крыс, а затем у людей, в работах советского психолога Н. Ф. Шемякина (Шемякин, 1940) были описаны два вида КК: карты-

пути (маршруты между начальной и конечной точкой при навигации) и карты-обозрения (схематические карты, отражающие целостное представление об окружающем пространстве). Автор показал, что при знакомстве с новым пространством, сначала осваиваются карты-пути, в которых накапливаются данные об отдельных частях пространства, а затем, с течением времени по мере накопления информации — карты-обозрения, т.е. общая карта всего пространства.

В дальнейшем были разработаны более сложные уровневые модели формирования КК пространства. В одной из них, концепции мысленных образов Р. Шепарда (Shepard, 1988), предполагалось, что в КК в относительно полном виде сохраняются перцептивные отпечатки (снимки) окружающей среды, что позволяет предположить наличие метрического соответствия между структурой реального пространства и его субъективного образа. В другой модели - теории ментальных планов, предложенной Г. Эвансом (Evans, 1980), предполагалось, что КК представляют собой разновидность семантической сети, где узлы обозначают пространственные ориентиры, маршруты движения воспринимаются как прямые (или близкие к прямым) линии, а углы между направлениями движения воспринимаются как почти прямые. Ориентиры и маршруты задают не метрически точную, а грубую, приблизительную модель окружающей среды, причем во многих случаях такое схематическое представление является достаточным для решения задач навигации. Однако, для более точного решения пространственных задач, КК формируются с учетом других конфигурационных элементов (контуров, границ). Позднее была предложена модель формирования КК пространства, в которой акцент был сделан на когнитивных принципах организации пространственной информации (Tversky, 1992). В модели предполагалось, что структура КК имеет иерархический характер, причем в ней точнее отображаются высокоуровневые элементы (ориентиры, пересечения, направления) и весьма приблизительно - второстепенные элементы (дистанции, углы, детальные характеристики).

Когнитивный подход позволил объяснить многие экспериментальные данные по искажению структуры КК. В частности, данные эксперимента (Siegel, White, 1975), в котором были выявлены такие особенности КК как фрагментарность и проективная искаженность.

Современные подходы к изучению пространственного познания оперируют понятием пространственных репрезентаций, выступающих как когнитивные единицы пространственного познания.

1.2. Типы пространственных репрезентаций

Описание процессов формирования субъективных представлений об окружающем пространстве тесно связано с проблемами единиц отбора, удержания и обработки пространственной информации, в отношении которой осуществляется познавательная активность. В когнитивном подходе было введено понятие «пространственная репрезентация» (ПР). Оно определялось как способ ментальной визуализации окружающего пространства, благодаря которому формируются представления о локализации объектов и их взаимном расположении в пространстве (Shepard, 1973). Более общее понятие ПР, выходящее за рамки только когнитивного подхода, было сформулировано Ж.Ф. Ришаром (1998), которое дополнительно включало свойство сохранения топологии реального пространства, и представленность этого свойства в различных модальностях. Такое определение хорошо соотносилось с идеями познания окружающего мира, как «отражения» контексте ранней отечественной психологии.

Упоминаемые в ходе данной работы понятия «пространственная схема», «пространственное представление» и «пространственный образ» отражают способность человека создавать *ментальную репрезентацию пространственной структуры окружающей среды на основе сложившегося в актуалгенезе образа мира.*

В работах А.Н. Леонтьева о конструировании образа мира для возможности субъекта активно действовать в нём были добавлены такие свойства как амодальность (формирование части образа, не представленной в сенсорной модальности), а также целостность и неделимость (Леонтьев, 1975). Эти свойства в когнитивное понятие пространственных репрезентаций включил Б.М.Величковский. (Величковский и др., 1986), тем самым наметив сближение когнитивного подхода и психологической теории деятельности.

Для описания формата и содержания ПР вводилось понятие референциальной системы отсчета, позволяющей оценивать структуру взаимного расположения субъекта и окружающих его объектов. Так, например, в психолингвистической пространственной теории С. Левинсона (Levinson 2003; 1996; Majid et al. 2004) предлагалась референциальная система отсчета, основными элементами которой были референт, ориентир, точка обозрения (viewpoint) и начало системы отсчета. Более подробно когнитивная *модель референциальных систем отсчета Левинсона (Frames of reference)* обсуждается в п.1.3.

Идеи о референциальных системах отсчета, предложенные в психолингвистическом подходе, были развиты и неоднократно экспериментально подтверждены в когнитивном и нейрофизиологическом подходах. Так, анализируя особенности формирования ПР, Р. Клатцки предложила выделить два типа ПР, которые формируются при навигации: эгоцентрические (ЭПР) и аллоцентрические (АПР) (Klatzky, 1998). При формировании ЭПР положение объектов кодируется относительно наблюдателя, при этом точка начала координат располагается на его теле, тогда как при формировании АПР местоположение объектов кодируется друг относительно друга, и локализация объектов в реальном и мысленном пространстве осуществляется безотносительно позиции наблюдателя.

Необходимо отметить, что в разных работах используется различные термины для обозначения координатного пространства ПР, которые, по сути,

очень близки по смыслу. Так, некоторые авторы используют понятие эго- и аллоцентрических стратегий (Colombo et al., 2017; Fabroyir, Teng, 2018), другие используют понятие эго- и аллоцентрических фреймов, означающее в общем виде устойчивую смысловую рамку, используемую человеком для осознания себя в окружающем мире (Минский, 1979; Avraamides et al., 2004; Filimon, 2015; Iachini, Ruggiero, 2006). Также в литературе используется понятие эго- и аллоцентрических систем координат (Coluccia, 2008).

Исследование ПР получило наиболее сильное развитие по линии когнитивной психологии. Был выделен минимальный набор простых пространственных элементов (узлы, расстояния и направления), определяющих формат и содержание ПР. Идея выбора расстояний и направлений, как исходных элементов для формирования ПР, была основана на нейрофизиологических данных, выявивших наличие специальных клеток, проявляющих активность при нахождении животного в определённом месте пространства (place cells) (O'Keefe, 1976), или при повороте в определенном направлении его головы (head-direction cells) (O'Keefe and Dostrovsky, 1971). Основные принципы эгоцентрического или аллоцентрического кодирования пространственной информации представлены на рис. 1. Местоположение объектов окружающей среды в эгоцентрической системе координат представлено векторами, для построения которых фиксируются угол и расстояние между объектами и текущей ориентацией тела. Тогда как в аллоцентрической системе координат рассчитываются вектора расположения одних объектов относительно других.



Рис. 1. Эгоцентрические (слева) и аллоцентрические (справа) пространственные репрезентации.

Р. Клацки рассматривала преобразование пространственной информации как неосознаваемый процесс на основе не только зрительной информации, но и информации от других сенсорных систем (Klatzky, 1998). Так, репрезентации расстояний формируются в основном на основании зрительной модальности, тогда как репрезентации направлений – на основании вестибулярной и проприоцептивной информации. При этом процесс изменения ПР осуществляется по следующему циклу: сенсорные сигналы изменений направления поступают в систему АПР направления и оттуда информация поступает в обновляющиеся системы ЭПР или АПР расстояний.

Р. Клацки полагает, что два обозначенных типа пространственных репрезентаций необходимы и достаточны для описания феноменологии пространственного познания. Следует отметить, что выделенные С. Левинсоном три референциальные системы (встроенная, относительная и абсолютная) сводятся по смыслу к двум типам пространственных репрезентаций, описанных в модели Р. Клацки: относительная система соответствует эгоцентрическому типу, а встроенная и абсолютная системы – аллоцентрическому.

В работах Д. Милнера и М. Гудейл обсуждались функции двух типов пространственных репрезентаций (Goodale & Milner, 1995, 2008). ЭПР и АПР рассматривались как специальные когнитивные конструкторы памяти, благодаря которым выполняются и контролируются действия по отношению к внешним объектам:

- ЭПР играют более важную роль при контроле действий в персональном пространстве (в пределах досягаемости руки, например, при попытке дотронуться до объекта);
- АПР играют более значимую роль для запоминания объектов, сцен в выходящем за пределы персонального (за пределами досягаемости руки)

пространстве, что позволяет планировать будущие действия при навигации в знакомых и незнакомых средах (Berti et al., 2001).

Функциональные особенности двух типов репрезентаций позволили предположить, что ЭПР, которые обеспечивают действия в *персональном пространстве*, более точно отражают метрику окружающего пространства (расстояние в метрических единицах относительно тела наблюдателя), тогда как АПР сохраняют обобщенную пространственную схему и отражают в большей степени не метрику, а топологию пространства (выше-ниже, справа-слева и т.д.).

Недавно стали появляться работы, в которых было предложено оценивать ПР в *метрических* (или координатных) и *топологических* (или категориальных) единицах (Ruotolo et al., 2011, 2019; Lopez et al., 2020; Moraresku, Vlcek, 2020; Ruggiero et al., 2021). В когнитивных работах нашей группы такой подход к оценке точности формирования ЭПР и АПР применяется с 2016 года и отражен в первых публикациях по этой теме (Савельева, 2017; Савельева, Меньшикова, 2017, 2018; Меньшикова, Савельева, Ковязина, 2018; Меньшикова, Савельева, Величковский, Бугрий, 2020 и др.).

В работах Ж. Пиаже и Б. Инхелдера указаны последовательно формирующиеся у ребенка пространственные представления (Piaget, 1954; Piaget, Inhelder, 1966, 1983):

- топологические, приблизительные, сохраняющие обобщенную пространственную схему независимо от локализации наблюдающего субъекта;
- проективные, отражающие глубинные характеристики трехмерного образа и дистанцию до наблюдающего субъекта;
- метрические, сохраняющие точные координатные метрики пространства безотносительно локализации наблюдающего субъекта.

Развитие этих идей прослеживается в ряде дальнейших исследований. Например, С.Косслин предположил, что пространственные отношения могут быть закодированы метрически (координатные пространственные

репрезентации) или категориально (категориальные пространственные репрезентации) (Kosslyn, 1987). Такие репрезентации, по мнению Косслина, ложатся в основу разных функций: метрические, координатные пространственные репрезентации (например, оценка или сравнение расстояний) используется для двигательных действий, тогда как категориальные пространственные репрезентации (например, правый и левый, верхний и нижний) преимущественно используются для абстрактных мысленных представлений при запоминании и распознавании сцены или объекта.

Важно отметить, что сложилось понимание о различиях в закономерностях обработки пространственной информации о дальнем (карта города, местности) и ближнем (персональном) пространствах. В литературе встречаются термины крупномасштабное/персональное, дальнее/ближнее, локальное/глобальное пространство (Rasche, Velichkovsky, 2009). Для изучения ЭПР и АПР ближнего и дальнего пространства сложилась разная методология (Блинникова, 2010).

Следует отметить недавние работы, в которых была предложена более детальная классификация. Так, Руотоло с коллегами обнаружили нейронные корреляты для нескольких типов ПР, которые были обозначены как метрические и неметрические пространственные представления (*metric and non-metric spatial relations*), раскладывая их далее на четыре типа: эгоцентрические координатные, аллоцентрические координатные, эгоцентрические категориальные и аллоцентрические категориальные (Ruotolo et al., 2019). Эти данные хорошо коррелировали с психофизическими исследованиями этих же авторов, в которых изучалось восприятие, запоминание и двигательные манипуляции с 2D отрезками разной длины. Было показано, что выполнение двигательной задачи (построение движения, манипуляция с объектами) опирается на метрические ЭПР, тогда как задачи на память (вербальные ответы о пространственном расположении объектов) опираются на категориальные АПР (Ruotolo et al., 2015, 2016). А вот если задача основана на сочетании

моторных и немоторных характеристик, то для ее решения формируются категориальные ЭПР и метрические АПР. Также в более ранних исследованиях этой группы были сформулированы данные о взаимодействии ЭПР и АПР: когда пространственная информация организуется в соответствии с системой отсчета, метрические ЭПР и категориальные АПР обычно формируются быстрее и более точно (Ruotolo et al., 2011).

С учетом того, на какой отметке находятся когнитивные представления о ПР, и с учетом целей нашего исследования, мы предложили следующую формулировку данного понятия. **Пространственная репрезентация** – это *мысленный образ, в котором формируются координатные и категориальные характеристики объектов окружающей среды, представленные в метрических и топологических единицах, для решения субъектом текущих пространственных задач.*

Метрические единицы отражают соответствие точных пространственных координат объекта реального окружения мысленному образу: $A(x, y, z)$, где A – объект, а x, y, z – его координаты в 3D пространстве.

Топологические единицы отражают соответствие пространственной конфигурации расположения объектов: если в реальном мире один объект находится справа, а другой слева, то в мысленном образе их пространственная конфигурация должна оставаться конгруэнтной или подобной. Если ПР формируется с высокой метрической точностью, используется термин конгруэнтная репрезентация, тогда как для случая низкой категориальной точности, используется термин подобная репрезентация.

Выходя за рамки только когнитивного подхода, стоит отметить, что выделение этих параметров соотносится с идеями отечественного физиолога Н.А.Бернштейна, который предложил теорию уровневой организации движений (Бернштейн, 1966). В контексте кодирования пространственной информации, можно предположить, что часть пространственной информации (топологическая) может кодироваться для построения грубых, приблизительных

двигательных штампов или перемещения в пространстве тела и/или отдельных его частей, выполняемых в ситуации, где требуется учёт только приблизительной топологии. Для построения более точных координатных движений часть информации может кодироваться в проекционной и метрической системе координат.

А.Р. Лурия использовал аналогичные параметры для разработки нейропсихологических диагностических методов, которые теперь традиционно используются в отечественной нейропсихологии для изучения пространственной организации движений, пространственного восприятия, пространственных компонент речи и мышления (Лурия, 1962, 1971 и др.).

1.3. Модели формирования эго- и аллоцентрических репрезентаций пространственной информации

Проблема формирования ПР в большей степени изучалась в когнитивном подходе на материале долговременной памяти. Были изучены разные типы (ЭПР и АПР), их содержание, факторы, влияющие на их точность, особенности взаимодействия и когнитивные модели. Изучение ЭПР и АПР на ранних этапах их формирования в рабочей памяти является существенно менее изученной проблемой, с пока еще только складывающимися методическими приемами, требующими корректировок и уточнения. Для того, чтобы выбрать адекватные способы и процедуры изучения ЭПР и АПР в рабочей памяти, необходимо учесть массив знаний об ЭПР и АПР в долговременной памяти.

На основе полученных эмпирических данных было разработано несколько когнитивных моделей формирования ЭПР и АПР в долговременной памяти. Рассмотрим наиболее значимые из них.

Модель референциальных систем отсчета Левинсона (Frames of reference)

В данной модели была предложена референциальная система отсчета, основными элементами которой были «референт», «ориентир», «точка

обозрения» (viewpoint) и «начало системы отсчета». Она позволяла на основе предложенных элементов отобразить в языковой конструкции пространственную структуру воспринимаемой сцены. В предложении «Дерево растет справа от дома» референтом является дерево, ориентиром – дом, а началом системы отсчета, совпадающей с точкой обозрения (viewpoint) – субъект, наблюдающий сцену.

Далее автор выделял три типа референциальных систем по соотношению основных элементов: встроенную, или имманентную (intrinsic), относительную, или релятивную (relative) и абсолютную (absolute). Согласно определению, особенностью встроенной системы являлось совмещение начала координат с референтом. Относительная система характеризовалась совмещением точки обозрения с началом системы отсчета, что происходит в ситуациях, когда субъект описывает расположение объектов в пространстве относительно самого себя. В абсолютной системе по определению начало координат совмещено с ориентиром, а оси координат жестко связаны со сторонами света и никак не зависят от точки зрения воспринимающего субъекта.

Дасен и Мишра (Dasen, Mishra 2010) собрали многочисленные экспериментальные данные на выборке индийских, непальских, балийских и швейцарских детей с целью обозначить возрастные и культурные границы формирования абсолютной системы референции. Они подтвердили, что аллоцентрическая встроенная система референции формируется раньше других, а дальнейшее ее развитие зависит от семантики языка. Так, на выборке детей Бали, Индии и Непала в возрасте от 4-х до 6-ти лет было показано, что в этом возрасте пространственные представления опираются на аллоцентрическую абсолютную систему, и далее этот тип пространственного кодирования упрочивается и остается в качестве основной стратегии пространственного познания. Т.е., у детей этой выборки пространственные решения связаны с приоритетом аллоцентрической карты, а развитие

эгоцентрической релятивной системы в более позднем возрасте даже не было обнаружено.

Модель последовательного развития пространственных представлений Ж. Пиаже и Б. Инхелдер.

В психологических исследованиях всегда ставится вопрос об онтогенезе и актуалгенезе изучаемого процесса или явления. Вопрос о том, какой тип пространственных репрезентаций формируется первым, неявно рассматривался в психологии детского развития в работах Ж. Пиаже и Б. Инхелдер (Piaget, 1954; Piaget, Inhelder, 1966, 1983).

Учитывая данные психолингвистов о значимости культурного фактора в вопросе формирования пространственных представлений, стоит упомянуть, что данные Ж. Пиаже и Б. Инхелдер получены на детях европейской выборки. Они показали, что пространственные представления формируются в определенной последовательности, начиная с формирования репрезентаций топологического характера, далее развития пространственных репрезентаций проективного характера и, наконец, развития точных метрических оценок, свойственных для евклидова пространства.

Интересный анализ работ Ж. Пиаже и Б. Инхелдер и модели С. Левинсона был проведен в работах отечественного современного психолингвиста и когнитивного антрополога Бородай С. Ю. (Бородай, 2013). Показав общее соответствие этих концепций, он высказал ряд идей относительно особенностей систем референции топологических, проективных и евклидовых репрезентаций:

- топологические пространственные репрезентации характеризуются чисто качественными отношениями («внутри», «вблизи», «в», «на», «спереди», «сзади» и т.д.), и соответствуют встроенной системе референции в терминологии Левинсона;
- проективные пространственные репрезентации формируются с учетом точки обозрения и соответствуют релятивной системе референции;

- евклидовы пространственные репрезентации соответствуют абсолютной системе референции.

Ж. Пиаже и Б. Инхелдер указывают на последовательное формирование пространственной памяти: в раннем возрасте формируется встроенная система референции, далее, с 4-хлетнего возраста - релятивная и только затем - абсолютная. Используя введенные позже понятия ЭПР и АПР, можно сказать, что сначала, в раннем детстве, ребенок осваивает окружающее пространство с опорой на АПР, в которых учитываются только топологические пространственные отношения. Затем, начиная с 4-хлетнего возраста, преимущественно формируются метрические ЭПР. И только в еще более позднем возрасте – снова АПР, однако более точные, метрические, по сравнению с приблизительными топологическими АПР раннего детства.

Эта концепция развития пространственной памяти была частично подтверждена в работе (Nardini et al., 2009), где было показано, что у детей до пяти лет пространственная информация кодируется эгоцентрически, относительно собственного тела, а позже у них развивается способность кодировать местоположение объектов аллоцентрически.

Наряду с идеей последовательного развития пространственных представлений, были высказаны гипотезы о параллельном развитии проективных и евклидовых пространственных репрезентаций на основе топологических. Многочисленные исследования психолингвистов показали, что представители разных культур в целом способны к обоим видам кодирования, хотя бы в виде тенденции (обзор работ представлен у Бородай, 2013).

Эти идеи о культурном обусловливании, хорошо представленные в работах Л.С. Выготского и А.Н. Леонтьева и западных ученых, продолжающих эту линию (напр., Коул, 1997), еще не получили полноценной представленности в когнитивной литературе по проблеме ПР, хотя есть исследования, подтверждающие эти идеи. Показано, что культурная принадлежность была единственным значимым фактором, влияющим на выбор стратегии обработки

пространственной информации (Colombo et al., 2017). Показано, что американцы чаще формировали АПР по сравнению с европейцами, а южноамериканцы явно предпочитали полагаться на ЭПР при навигации и ориентации в окружающей среде.

Теория ментальных моделей (mental models)

Теория ментальных моделей (Jahn et al., 2007; Johnson-Laird, 1983; Johnson-Laird, 2004), рассматривающая ментальные репрезентации как преимущественно выстроенные на наглядном материале (иконических отпечатков на сетчатке глаза (Jones et al., 2011)), утверждает, что мысленные операции с воспринимаемым пространством осуществляются успешно только в том случае, если возможно построить непротиворечивую модель окружающего пространства, на основе опыта взаимодействия с реальным окружающим пространством и руководствуясь неявными когнитивными правилами. Предполагается, что ресурс на обработку пространственной информации ограничен, а хранение и переработка информации о пространстве происходит эффективно только при когнитивной согласованности всех частей воспринимаемой сцены. В работе (Jahn et al., 2007) испытуемым было дано задание описать окружающую среду с неоднозначным возможным взаимным расположением объектов слева – справа. В результате люди западной культуры предпочитали описывать воображаемую сцену, используя пространственную стратегию «слева направо» и «сверху вниз». Был отмечен интересный феномен описаний, показывающий тенденцию объединять в пространственной модели объекты, данные в вербальном описании, как смежные друг с другом. Эти данные показывают, что при формировании пространственных репрезентаций используются специфические когнитивные правила группировки объектов. Результаты показывают, что участники используют неявные ограничения при формировании ПР. Наличие этих неявных когнитивных правил было обнаружено в ряде исследований, в которых изучались успешность формирования ПР в задачах на сдвиг и переориентацию. В результате – АПР

формируются точнее, если сдвиг происходит ортогонально, и менее точно, если сдвиг происходит под некоторым углом по отношению к начальной ориентации (Kelly, McNamara, 2008; Mou, McNamara, 2002). И задача переориентации более легкая, по сравнению с задачей сдвига: лучше решаются задачи переориентации как в реальных, так и в виртуальных средах, а также лучше формируются любые ПР (ЭПР и АПР) в задачах переориентации по сравнению с задачами пространственного сдвига (Kelly, McNamara, 2008; Mou, McNamara, 2002).

Модель парных отношений пространственных репрезентаций (Pair-Wise Relations)

В работе (Meilinger, 2010) была предложена модель, рассматривающая взаимодействие разных типов репрезентаций. Утверждается, что области пространства, находящиеся на разных расстояниях от наблюдателя, воспринимаются как две отдельные элементарные пространственные репрезентации, представленные в различных системах координат, обозначенных как 1 и 2, соответственно. Далее утверждается, что проективные признаки глубины выделяются в новой, более сложной пространственной репрезентации, интегрирующей, как правило, две элементарные (Meilinger, 2008). Модель учитывает направление и расстояние, необходимое для перехода от системы координат 1 к системе координат 2, а также угол между ориентациями двух систем координат. С психологической точки зрения эта модель описывает построение отношений воспринимаемой перспективы между двумя объектами, поэтому модель парных отношений в первую очередь необходима для решения задач, связанных с определением пространственной перспективы, формирования пространственных репрезентаций улиц или коридоров в здании. Радиус действия модели парных отношений распространяется только на соседние объекты и в ситуации, когда есть когнитивные ресурсы на формирование избыточных репрезентаций. За пределами указанного радиуса данная модель слишком затратна для

формирования репрезентаций. В крупномасштабном пространстве города модель парных отношений выглядит очень громоздкой и непрактичной с точки зрения вычислительной мощности. Для сохранения в памяти месторасположения объектов городской среды более эффективной считается иерархическая модель, рассматриваемая далее. Стоит отметить, что данная модель, как и следующая включают в себя классические представления о когнитивной схеме У. Найссера, который тоже описывает когнитивные схемы как вложенные друг в друга, благодаря чему познавательные процессы функционируют на разных уровнях (Найссер, 1981).

Модель формирования иерархических пространственных репрезентаций (Hierarchical Relations)

Идея иерархической соподчинённости элементарных пространственных репрезентаций впервые была обозначена в работах А. Сигеля и С. Уайта (Siegel, White, 1975). Предполагалось, что репрезентации сложного окружения формируются фрагментарно, часто разрозненно, с отсутствием связей между отдельными фрагментами. Так, например, при осмотре города человек может отдельно вспомнить форму главной площади, основные здания главной улицы, изгибы набережной, но все эти репрезентации будут фрагментарны, неточны и искажены. Однако, на их основе человек, используя знания о принципах организации пространства, может сформировать общую репрезентацию уровнем выше, отражающую более правдоподобную и точную карту города.

Иерархическая модель вызвала наибольшее признание и получила широкое распространение (Hirtle, Jonides, 1985; McNamara et al., 2008; Stevens, Coupe, 1978). Модель применима и к менее масштабным пространствам, чем город. Пускай перед нами стоит задача закодировать местоположение объектов в комнате. Формирование сложной АПР, центрированной, например, относительно одного из углов комнаты, может включать в себя вложенные АПР, кодирующие расположение соседних предметов, а также вложенные ЭПР, кодирующие расположение объектов относительно наблюдателя. Формирование

таких иерархических АПР изучалось в нескольких работах в задаче передвижения наблюдателя по улицам города (Byrne, Becker, Burgess, 2007). Было показано, что АПР обновляются в каждый момент времени по мере передвижения наблюдателя по заданному маршруту. В силу того, что детализированность модели была невысокой, оставался открытым вопрос о том, как именно выделяется иерархический уровень, относительно которого происходит обновление, а также вопрос о соединении сложных иерархических пространственных репрезентаций при переходе с одной улицы на другую. Парные отношения также могут формироваться между отдельными пространственными репрезентациями и быть частью сложной иерархии, что может объяснить экономное представление маршрута (или просто расстояния) между удалёнными репрезентациями.

Следует отметить, что связь удалённых репрезентаций в составе сложной иерархической репрезентации может осуществляться не пространственным способом, а при помощи языковых ярлыков, которые кодируют ориентиры: «ратуша», «центр города» или «кладбище». Эти ярлыки могут входить в состав одной или нескольких пространственных репрезентаций из разных систем координат (Meilinger, 2008).

Несомненным достоинством модели иерархических пространственных репрезентаций является её экономность: обработке подвергается только та иерархическая вкладка, которая соответствует поставленной пространственной задаче. Можно предположить, что верхним уровнем иерархии в задаче кодирования местоположение объектов в комнате, могут выступать ЭПР. Они экономически обоснованы, если способствуют лучшему распознаванию объектов с выраженными структурными особенностями, т.е. когда отдельные части объектов выступают ориентирами и кодируются относительно наблюдателя (Hayward, 2003).

Модель уровневой обработки от эгоцентрических пространственных репрезентаций к аллоцентрическим при навигации. (Updating egocentric representations + configuration error paradigm)

В работе Р. Ванга и Е. Спелке (Spelke & Wang, 2000) был описан процесс формирования пространственных репрезентаций от ЭПР к АПР при движении наблюдателя в окружающей пространственной среде. В их модели были выделены:

- Первый уровень – формирование ЭПР, зависящих от позиции наблюдателя на основе двумерных сетчаточных изображений, пространственная структура которых зависит от точки наблюдения (viewpoint representations);
- Второй уровень – информация о смене точки наблюдения, которая интегрируется из визуальных, проприоцептивных и вестибулярных сигналов, приводящая к обновлению ЭПР первого уровня (egocentric spatial updating);
- Третий уровень – геометрический модуль переориентации (geometric module for reorientation), пересчитывающий ЭПР в АПР с учётом движения наблюдателя.

Графически эта модель представлена на рис. 2. Модель предполагает, что процесс формирования идет по восходящему потоку переработки информации и осуществляется последовательно снизу вверх: сначала пространственная информация обрабатывается в эгоцентрических координатах, а затем осуществляется ее перекодирование в аллоцентрические координаты. Модель Р. Ванга и Е. Спелке (Spelke & Wang, 2000) утверждает, что два типа хранения эгоцентрической информации, вместе с процессом переориентации являются достаточной когнитивной основой для организации успешной навигации человека.

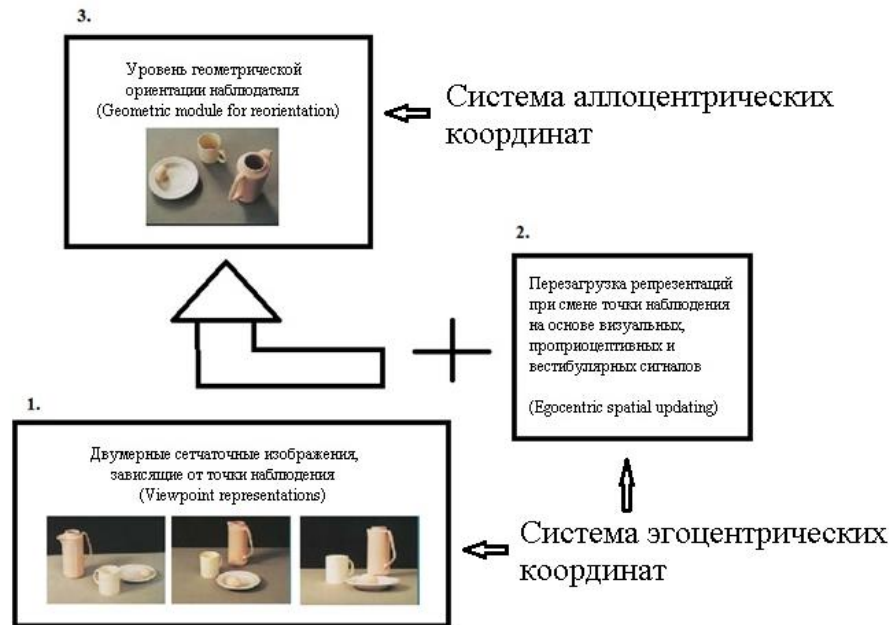


Рисунок 2. Модель переработки информации Р. Ванг и Е. Спелке. Первая система (1) - формирование ЭПР, вторая система (2) перекодирование ЭПР в соответствии со сменой точки обозрения, третья система (3) – формирование АПР.

Переход к парадигме пространственного обновления позволил Р. Ванг и Е. Спелке (Spelke & Wang, 2000) разработать обобщающую модель формирования ЭПР и АПР в парадигме восходящих процессов, которая обладает большой объяснительной силой (Wang, 2012). В результате было пересмотрено представление о первичной роли АПР и высказано предположение о том, что именно ЭПР выступают, как основной механизм, лежащий в основе кодирования локализации объекта. При этом по мере движения по маршруту в памяти сохраняются многочисленные ЭПР, которые трансформируются в АПР при помощи модуля переориентации, хранящего информацию о движении наблюдателя.

Итак, психолингвистические методы показали культурно обусловленную вариативность преимущественного формирования ЭПР или АПР при решении пространственных задач, но в целом надолго определили идею о нисходящих процессах обработки пространственной информации. Дискуссия когнитивного подхода по проблеме формирования ЭПР и АПР, а также их взаимодействия

свелась к тому, что люди руководствуются неявными, неосознаваемыми когнитивными правилами: группировки, порядок кодирования элементов репрезентации и т.д. Попытка когнитивистов идти от решаемой пространственной задачи показала, что объяснительные модели могут быть весьма разнообразными. Переход к более экологически валидной парадигме пространственного обновления тоже предложил модель в блочно-модульной когнитивной логике, усилив позиции восходящих процессов обработки пространственной информации.

Эклектичность подходов к построению моделей формирования ЭПР и АПР естественна для психологии, как мультипарадигмальной науки. Рассмотренные модели не отрицают друг друга, а образуют гетерархичную систему. Первые гетерархичные структуры в когнитивной психологии были обозначены в теории уровней переработки информации Ф. Крейка и Р. Локхарта (Craik, Lockhart, 1972) указавших на диффузию, взаимопроникновение информации между уровнями, обеспечивающими анализ сенсомоторной, перцептивной и накопленной в опыте субъекта информации. Стоит отметить слабую разработанность проблематики ПР в рамках системно-деятельностного подхода, который имеет потенциал при ориентации на полное и точное описание структуры и функций ЭПР и АПР перейти от эклектики к удачному синтезу (Асмолов, 2015).

Системно-деятельностный подход напрямую не обращался к проблематике именно пространственных репрезентаций, как объекту исследования. Однако общие представления о построении образа активным субъектом рассматриваются через категорию деятельности и положения о том, что «не мир образов, а образ мира регулирует и направляет деятельность человека» (С.Д. Смирнов, 1981, с. 17). Там же: «Построение образа внешней реальности есть прежде всего и главным образом актуализация той или иной части уже имеющегося образа мира и лишь во-вторых это есть процесс уточнения, исправления, обогащения или даже радикальной перестройки

актуализированной части картины мира или образа мира в целом» (С.Д. Смирнов, 1981, с. 25). Таким образом, рассмотренные когнитивные модели описывают частные случаи описания процессов формирования ЭПР и АПР, приходя к закономерному заключению о том, что актуализация той или иной когнитивной модели зависит как от опыта субъекта, т.е. от сформированного у него «образа мира», так и от самой пространственной задачи, выступающей как внешнее требование среды, определяющее структуру перцептивной активности человека. (Ю.Б. Гиппенрейтер 1983а,б,в; Гусев 2004, 2013 и т.д.)

Усилия когнитивистов и смежных дисциплин по поиску универсальной объяснительной модели формирования ЭПР и АПР не привели к безоговорочному успеху. Однако в литературе остался ряд рассмотренных моделей, который лег в основу более детальных экспериментов, накапливающих эмпирические данные по проблеме ЭПР и АПР.

1.4. Исследования процессов формирования пространственных репрезентаций в долговременной памяти

Большое число эмпирических исследований по формированию ЭПР и АПР преимущественно велось на материале изучения ориентации и навигации в окружающем пространстве (Coluccia, 2008; Wang, Spelke, 2000), что предполагает большие временные затраты на запоминание внешнего окружения, а, следовательно, обращение к процессам долговременной памяти.

Одним из важных направлений исследований являлось изучение взаимодействия ЭПР и АПР в процессе формирования пространственного образа сложных сцен. Одна из гипотез состояла в том, что в процессе кодирования пространственной информации одновременно активируются процессы формирования и ЭПР и АПР. Например, предложение «собака справа от дома» репрезентирует три объекта: собаку, дом и наблюдателя. Согласно гипотезе взаимодействия, в визуализированном образе положение собаки относительно дома кодируется аллоцентрически, а положение дома -

эгоцентрически. Эти предположения подтвердились результатами многих исследований (Diwadkar, McNamara, 1997; Meilinger et al., 2012; Simons, Wang, 1998), в которых люди правильно реконструировали взаимные расстояния между объектами даже после дезориентации, при которой отмечается снижение точности кодирования эгоцентрической информации. Для объяснения этого эффекта высказывалось предположение о симультанном кодировании ЭПР и АПР сложной сцены, которое является более эффективным по сравнению с объяснением, в котором предполагается последовательное кодирование: сначала кодирование ЭПР, на основе которого затем формирование АПР сцены.

Было выявлено, что взаимодействие ЭПР и АПР зависит от степени знакомства с окружающей средой (Xiao et al., 2009; Waller, Hodgson, 2006): в знакомых средах местоположение объектов кодируется скорее аллоцентрически, в то время как малознакомые среды запоминаются в большей степени эгоцентрически. При этом соотношение меняется по мере ознакомления человека с особенностями окружающей среды.

Многочисленные экспериментальные работы были посвящены вопросу о том, какой тип репрезентации формируется на начальных этапах запоминания пространственной информации (например, Landau, Spelke, & Gleitman, 1984; Maguire et al., 2003; Tolman, 1932, 1948). Сначала, на основе первых психолингвистических данных был выявлен приоритет аллоцентрической системы координат. Первичная роль АПР также была выявлена в работах (Thorndyke & Hayes-Roth, 1982; Levinson 2003; 1996; Меньшикова и др., 2014), посвященных формированию когнитивных карт пространства. Однако, по мере накопления данных и разработке новых теоретических концепций, приоритет кодирования аллоцентрической информации был поставлен под сомнение. В работах отечественного психолога Ф.Н. Шемякина (Шемякин, 1940) были введены понятия карт-путей (аналог ЭПР) и карт-обзрений (аналог АПР). Карты-пути - это пространственные представления, которые формируются из зрительных впечатлений во время передвижения по маршруту от исходной

точки к цели навигации. Они могут включать в себя сегменты пути, пересечения разных путей и кодирование положения ориентиров на протяжении всего пути. Карты-обозрения содержат целостную информацию о сцене, а также о пространственных отношениях между значимыми ориентирами. Они построены посредством дополнительной пространственной обработки и интеграции в мысленную карту с точки зрения высоты птичьего полета (вид сверху). Согласно идеям Ф.Н. Шемякина карты-пути первичны и в филогенезе, и в онтогенезе. Карты-пути новых незнакомых пространств формируются с опорой на сенсорные данные. Так, например, при прогулках по новому парку у человека постепенно накапливается информация о том, как выглядит пруд, теннисные площадки и другие части парка. Затем, по мере обобщения таких отдельных представлений, формируются карты-обозрения, фрагментарные и неточные. Обобщение данных о том как выглядят части парка с разных точек обозрения формирует сначала локальные карты-обозрения только пруда, теннисных площадок и т.д., а затем и общую карту-обозрение всего парка.

В другой работе, основываясь на парадигме пространственного обновления, был продемонстрирован последовательный характер формирования ПР, согласно которому сначала формируются более простые ЭПР, которые затем перекодируются в более сложные АПР (Sholl, 1996; Wang, Spelke, 2000). Идеи первичности ЭПР получили признание в научной литературе в связи с представлением об абстрактном схематическом характере АПР по сравнению с более точным кодированием ЭПР, полученных на основе актуальных сенсорных данных (Величковский, 1977; Grush, 2000; Sholl, 1996). Аналогичные выводы о первичной роли ЭПР были сделаны по результатам работы (Wen et al., 2013), в которой изучалось формирование ПР при навигации в виртуальном городе.

Был изучен вопрос о влиянии местоположения наблюдателя, его точки обозрения (viewpoint) на формирование ПР. В ряде исследований было показано, что участники успешно находили изменения в массиве

предъявляемых предметов как с новой, так и с уже известной им точки обозрения (Simons, Wang, 1998). Эти данные успешно интерпретировались при использовании конструкта АПР: именно АПР остаются относительно неизменными при изменении точки обозрения и остаются сохранными даже после дезориентации человека (Holmes, Sholl, 2005; Wang, Spelke, 2000). В том же исследовании (Simons, Wang, 1998) было показано различие между двумя способами изменения характеристик окружающего пространства: при одном способе все пространство комнаты сдвигалось относительно наблюдателя (*orientation changes*), при другом - сам наблюдатель мог переместиться (*viewpoint changes*) в пределах экспериментальной комнаты. Результаты показали, что изменения точки обозрения (*viewpoint changes*) почти не влияет на распознавание сцены, а изменение ориентации сцены (*orientation changes*) существенно снижает эффективность пространственной памяти.

В одной из работ (Shelton, McNamara, 1997) исследовалась эквивалентность репрезентаций, сформированных при наблюдении объекта из разных точек пространства. Было показано, что пространственные репрезентации объекта, наблюдаемого из разных точек, не являются эквивалентными и различаются по скорости и точности суждений о направлении местоположения объектов. Последующие исследования (Diwadkar, McNamara, 1997) показали, что время распознавания запомненной сцены линейно увеличивалось при увеличении угла, на который она была повернута. Это позволило выявить влияние ракурса наблюдения сцены на точность кодирования пространственных отношений между объектами. Также было показано, что распознавание объектов, повернутых относительно своего исходного положения при предъявлении наблюдателю, не зависит от размеров этих объектов (Roskos-Ewoldsen & McNamara, 1998).

Отдельные исследования были посвящены особенностям формирования ЭПР и АПР у слепых людей, для которых процесс формирования ПР проходил без участия наиболее важного сенсорного канала формирования ЭПР

(Блинникова, 2010). Слепые испытуемые на заключительных этапах освоения местности, имея сформированную «карту-обозрение», отражающую холистическое представление об окружающем пространстве (аналог АПР), не использовали ее в различных пространственных задачах - на достижение указанной цели, определение направления предположительного движения, при оценке направления на стартовую точку. Эти результаты отличались для зрячих людей, которые активно опирались на «карту-обозрение» при решении таких задач. Было выявлено, что слепые использовали «карту-обозрение», но для решения очень узкого класса умозрительных задач, таких, как определение направления на отдаленные точки или определение расстояний между точками по прямой. А вот в практической деятельности, опираясь на «карты-пути», соотносящие начальную и конечную точки маршрута (аналог ЭПР), слепые люди не допускали тех маршрутных ошибок, которые были выявлены в их «картах-обозрениях». Авторы сделали вывод о том, что нарушение зрения приводило к снижению эффективности функционирования АПР («карт-обозрения»), что проявлялось в резком ограничении задач, в которых АПР успешно используется в норме, а также снижению эффективности их использования в практической деятельности.

Были получены интересные данные об изменении способности формировать ПР с возрастом. Недавние исследования процессов изменения пространственной памяти при здоровом старении (т.е. без сопутствующей естественным инволюционным процессам патологии) показали, что с возрастом сохраняется способность формировать адекватные ЭПР окружающего пространства, но снижается способность оценивать местоположение объектов в аллоцентрической системе координат (Colombo et al., 2017). Кроме того, с возрастом также ухудшается способность переключаться между этими двумя типами визуализации пространственной информации. В исследовании (Lopez et al., 2019) эти данные были уточнены – ухудшение процессов формирования ЭПР и АПР относились к запоминанию

текущей пространственной информации и практически не проявляется в материале, упроченном в долговременной памяти.

Были проведены оригинальные исследования зрительно-пространственной памяти (Ruggiero et al., 2021), которые продемонстрировали важность такого фактора, как доступность моторного ресурса. В работе изучалась точность формирования ЭПР и АПР в условиях доступности или недоступности моторного ресурса (руки испытуемых были свободны или скованы за спиной). Результаты показали, что ЭПР и АПР связаны с категориальными (неметрическими) и координатными (метрическими) пространственными отношениями, и что моторные ресурсы играют важную роль при обработке пространственной информации в личностном (в пределах досягаемости руки) пространстве по сравнению с условием экстраличностного (за пределами досягаемости руки) пространства. В повседневной деятельности, эти пространственные компоненты взаимодействуют по континууму от целей, связанных с распознаванием (например, распознавание стимулов) до целей, связанных с действием (например, достижение стимулов). Следовательно, возможно, что некоторые типы пространственных представлений больше полагаются на действия / двигательные процессы, чем другие. Фиксация рук отрицательно повлияла только на точность ЭПР в ближнем пространстве. АПР репрезентации дальнего пространства опираются на визуально-перцептивную информацию, и скованность рук даже способствовала увеличению их точности.

При изучении построения движения на основе ЭПР и АПР показано, что для совершения двигательного акта необходимо формирование не только актуальных ЭПР, но также ЭПР, полученных из определенных ракурсов наблюдения и хранящихся в долговременной памяти. Интеграция множественных ЭПР позволяет минимизировать преобразования, необходимые для обработки пространственной информации об окружающей среде. (Meilinger, Franz, Bühlhoff, 2012).

Развитие представлений о том, какой тип репрезентаций формируется первично, связано с идеей о том, что приоритет формирования того или иного типа репрезентаций не является априорно заданным, а зависит от задачи, решаемой в данный момент наблюдателем (Burgess, 2006).

Было показано, что на процесс доминирования той или иной репрезентации влияют такие факторы как продолжительность навигации между запоминанием и воспроизведением, сложность пространственной структуры среды, а также степень знакомства с окружением. На сегодняшний день многие исследователи согласны с этой гипотезой и проблему включенности двух типов репрезентаций в успешность навигации и ориентации в окружающей среде решают с учетом специфики актуальных пространственных задач (Avraamides and Kelly, 2008; Меньшикова, Савельева, Ковязина, 2018).

Следует отметить, что фактор задачи не всегда оказывается решающим. Так, в одном из исследований было показано, что, даже решая некоторую задачу, провоцирующую формирование ЭПР или АПР, испытуемый использовал не тот тип репрезентации, который ожидали авторы исследования (Wang, Spelke, 2000). В указанной работе исследовалась пространственная память при восприятии оформленной рамкой картины. Авторы ожидали приоритет в формировании ЭПР. Однако, было обнаружено, что у некоторых людей происходило и формирование АПР, что проявлялось в кодировании местоположения отдельных элементов картины относительно рамки. Аналогичный результат был получен и в другой работе (Tlauka, Nairn, 2004). Авторы давали задачу на запоминание карты с отмеченными на ней ориентирами, которые, как предполагалось, должны кодироваться аллоцентрически. Однако, в ряде случаев, в зависимости от точки обозрения, карта с ориентирами воспринималась наблюдателем как один целостный объект, который кодировался эгоцентрически. Таким образом, была выявлена важная роль процедуры исследования, в рамках которой экспериментаторы задавали формирование либо АПР, либо ЭПР.

В работе (Xiao et al., 2009) исследовали использование репрезентаций пространственных отношений «я-объект» или «объект-объект» во время передвижения. Участники изучали геометрически правильное или неправильное расположение объектов в массиве, стоя на краю или посередине, а затем указывали на объекты с завязанными глазами в 3 условиях: до поворота (базовая линия), после поворота на 240° (обновление) и после дезориентации (дезориентация). Результаты показали, что люди в основном используют пространственное представление «объект-объект» в стандартном, геометрически правильном пространстве (комнате стандартной прямоугольной формы) и пространственное представление «я-объект-объект» в нестандартном, нерегулярном окружении (комнате необычной формы). Также результаты показали, что эффект дезориентации можно смягчить инструкциями. Ошибки конфигурации увеличивались после дезориентации для обычного геометрически правильного массива, когда давались эгоцентрические инструкции, и оставались постоянными для нерегулярного массива объектов, когда давались объект-объектные инструкции. Эти результаты показывают, что на пространственное обновление могут влиять нисходящие факторы, такие как мотивация или внимание (Amorim, Glasauer, Corpinot, & Berthoz, 1997).

Итак, полученные эмпирические данные продемонстрировали противоречия между объяснениями формирования ЭПР и АПР, построенными на основе нисходящих и восходящих процессов обработки пространственной информации. Была показана важная роль решаемой субъектом пространственной задачи, определяющей формат и содержание формирующихся ЭПР и АПР. Вопрос о точности пространственных репрезентаций исследовался в отдельных работах (Köhler et al., 2001; Pouliot, Gagnon, 2005), где было показано, что точность ЭПР в среднем составляет от 80% до 90%, тогда как точность АПР колеблется в пределах 38% - 56%. Однако, на настоящий момент плохо разработаны количественные подходы к оценке точности ЭПР и АПР, зачастую исследователи дают только ранговые,

приблизительные оценки и не всегда используемые процедуры единообразны для оценки точности разных типов пространственных репрезентаций.

На этом пути получены важные результаты, которые необходимо учитывать в дальнейших исследованиях особенностей формирования ЭПР и АПР, например, доступность моторного компонента, существенно влияющего на точность формирования ПР в персональном пространстве (Ruggiero et al., 2021). Предпосылки для включения моторного компонента как дополнительной переменной в эксперимент можно найти в работах Н.Н. Ланге, предложившего моторную теорию внимания, в который внимание рассматривалось как «целесообразная реакция организма, моментально улучшающая условия восприятия» (Ланге, 1893, с.140) и в тезисе о «гипотезе уподобления» («уподобление состояний органов чувств» физическим свойствам отражаемого объекта), сформулированной в работах А.Н. Леонтьева (Леонтьев, 1965).

Основные идеи культурно-деятельностной психологии состоят в том, что психика развивается (и порождается) во внешних взаимодействиях субъекта с предметным миром, а мозг выступает в качестве необходимого, но недостаточного условия для ее развития. Процессы уподобления проходят в функциональной системе. В работах А.Н.Гусева было показано, что сенсорная задача порождает формирование функционального органа (по А.А. Ухтомскому) (Гусев, 2013). Понятие «функциональный орган» ввел в науку отечественный физиолог А.А. Ухтомский. Он определил его как «всякое сочетание сил, могущее привести при прочих равных условиях всякий раз к одинаковым результатам» (Ухтомский, 2002, с. 124). По мере развития перцептивных механизмов, уподобляющиеся объекту движения и процессы в органах чувств свертываются, редуцируются и замещаются внутренними нервно-мышечными операциями и физиологическими процессами, что мы и наблюдаем в последовательности развития сенсомоторного интеллекта, как это показано в концепции Ж.Пиаже.

Гипотеза уподобления, как это показано в работе (Маланов, 2015) позволяет построить следующие рассуждения: ориентировочно-исследовательская (психическая) активность субъекта в окружающем пространстве — физиологическая подстройка внутренних процессов субъекта для ориентировки и умственного построения предметно-практических и умственных действий — разработка и осуществление при помощи ЦНС приемов и способов динамического воспроизведения таких физиологических процессов в форме функциональных систем. Психический образ пространства строится и актуализируется как функциональная система на различных тканях, органах и физиологических функциях организма как результат взаимодействий субъекта с объектами окружающего пространства

М.В.Фаликман указывает, что связь внимания с необходимостью моторной (телесной) активности, включает эту функцию в познавательную деятельность субъекта (Фаликман, 2015). Это понимание привело к развитию современных когнитивных подходов, получивших название «воплощенное познание» (*embodied cognition*) и «ситуативное (контекстно-обусловленное) познание» (*embedded cognition*).

В своей докторской диссертации М.В.Фаликман указывает на следующее соответствие:

- 1) «воплощенное познание» (*embodied cognition*) соответствует познанию человека как «телесного материального субъекта» (Леонтьев, 1973);
- 2) «ситуативное (контекстно-обусловленное) познание» (*embedded cognition*) соответствует познание в контексте реальной деятельности (ср. П.И. Зинченко, 1959; А.А. Смирнов, 1966).

В работах Н.А. Бернштейна отмечается, что: «задача действия есть закодированное так или иначе в мозгу отображение или модель потребного будущего» (Бернштейн, 1966). Решение пространственной задачи требует включения в исследовательские процедуры возможности активного

естественного движения, что способствует повышению экологической валидности эмпирических данных. Идеи Н.А.Бернштейна развивались рядом отечественных психологов, в частности в работах Ю.Б. Гиппенрейтер проведена аналогия между процессом решения двигательной задачи по Бернштейну и процессом решения зрительной задачи (обнаружения, опознания и т.п.) (Гиппенрейтер, 1983а).

1.5. Эмпирические исследования процессов формирования пространственных репрезентаций в рабочей памяти

Анализ научной литературы, представленный в предыдущем параграфе, показал, что изучение процессов формирования ЭПР и АПР велось, в основном, в рамках когнитивных исследований долговременной памяти (Величковский и др., 1986; Меньшикова и др., 2014; Блинникова, 2013; Блинникова и др., 2000; Byrne et al., 2007; Jahn et al., 2007; Johnson-Laird, 1983; Shelton, McNamara, 1997; Holmes, Sholl, 2005; Wang, Spelke, 2000). Гораздо меньше работ посвящено изучению формирования пространственных репрезентаций в рабочей памяти (РП). В настоящее время все больше работ проводится по изучению формирования ЭПР и АПР в РП, поскольку основой для сохранения пространственных свойств среды в долговременной памяти являются данные, закодированные на ранних этапах переработки пространственной информации, а именно в РП.

Рабочая память была определена как оперативная система хранения и переработки информации в целях обеспечения решения человеком текущих задач (Baddeley, 1986, 2000). Изучение вопроса о хранении и переработке информации в РП показало, что объем РП составляет 3-4 единицы (Cowan, 2011), а время хранения информации, на которую направлено внимание субъекта, составляет 20-25 секунд. При этом скорость угасания следов памяти связана с когнитивной нагрузкой – чем она выше, тем скорее происходит забывание (Barrouillet, Camos, 2012). Современная версия модели РП включает

в себя визуально-пространственный блокнот (sketchpad), фонологическую петлю (или вербальный блок), эпизодический буфер, а также возможность обращения к долговременной памяти (Baddeley, 1992; 2000; 2010). Эпизодический буфер интегрирует все потоки информации, Фонологическая петля запечатлевает и сохраняет вербальную информацию, а визуально-пространственный блокнот (ВПП) одновременно хранит и визуальную, и пространственную информацию. Визуальная информация касается формы и цвета объектов, тогда как пространственная — данных об их местоположении. Такая версия модели мультикомпонентной памяти А.Бэддели представлена нами на рисунке 3.

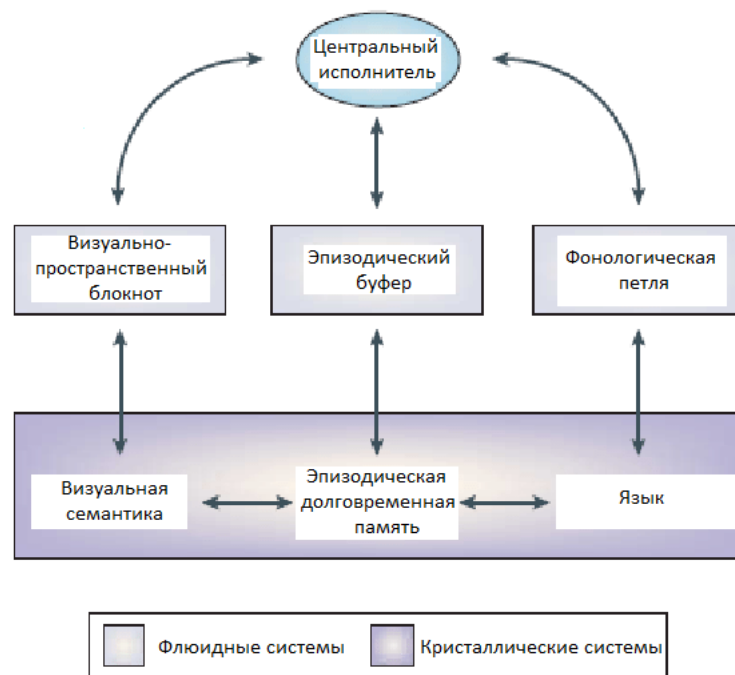


Рис. 3. Современная версия модели мультикомпонентной памяти А.Бэддели.

В работе (Logie, 1995; Baeyens, Bruyer, 1999) была предложена более детальная модель ВПП, основанная на идеях, высказанных в работе (Mishkin, Ungerleider, Masko, 1983) о наличии в мозге двух независимых потоков переработки информации: вентральной системы («что»), обеспечивающей распознавание объектов и дорсальной системы («где»), отвечающей за

обработку информации о локализации объекта в пространстве. Суть этой модели состояла в следующем:

- Существует «визуальный кэш», содержащий информацию о форме и цвете.
- Существует «внутренний самописец», который работает с пространственной и двигательной информацией. Он также повторяет информацию визуального кэша и транслирует её в центральную исполнительную систему.

Таким образом, в структуре визуально-пространственного блокнота были выделены два блока или системы: визуальная, помогающая определить, что именно воспринимает человек, и пространственная, определяющая, где объект расположен в зрительном поле. Предполагалось, что эти системы работают независимо.

Следует отметить, что ресурсный подход оказался высокоэффективным для объяснения многих феноменов памяти вообще и рабочей памяти в частности (Нуркова, 2015; Величковский, 2015, 2019), поэтому его идеи широко использовались и при моделировании процессов формирования пространственных репрезентаций (см. п. 1.4) (Byrne, Becker, Burgess, 2007; Meilinger, 2008, 2010, 2012; Wang, 2012 и другие).

Возникло понимание, что оценивать эффективность процессов запоминания и воспроизведения надо по двум составляющим: эффективности работы визуальной системы (ВС) и пространственной системы (ПС) (или, согласно нейрофизиологическому подходу, вентральной системы «Что» (вентральный путь, ведущий из первичной зрительной коры в нижневисочную и обеспечивающий «восприятие для опознания») и дорсальной системы «Где» (дорзальный путь, ведущий в теменную и далее в премоторную кору и обеспечивающий, в свою очередь, «восприятие для действия») (Milner, Goodale, 2006)). Для оценки эффективности ВС, основной функцией которой является идентификация объекта и удержание его в памяти, используется показатель

числа запоминаемых объектов при решении текущих задач. Для оценки эффективности ПС можно обратиться к координатным и категориальным параметрам точности формирования ЭПР и АПР в метрических и топологических единицах, особенности которых обсуждались выше в п.1.2.

Основным методологическим дополнением к процедурам исследования ЭПР и АПР в РП по сравнению с процедурами их изучения в ДП, стало обращение к методу *двойной задачи*.

Для исследования роли различных систем РП в формировании пространственных репрезентаций использовался метод *двойной задачи* (Pazzaglia & Cornoldi, 1999; Smyth & Scholey, 1994; Smyth & Waller, 1998, Garden et al., 2002; Coluccia, 2008). Вторая задача при этом выступала в качестве помехи, дистрактора по отношению к изучаемому процессу формирования ЭПР и АПР, и позволяла оценить роль той или иной системы РП в решении пространственных задач. Основная идея метода двойной задачи состоит в создании дополнительной нагрузки на тот или иной компонент рабочей памяти, а затем сравнении эффективности памяти в условиях с/без нагрузки, что позволяло выявить роль данного компонента в кодировании пространственной информации.

Самые ранние работы по изучению пространственной РП показали связь успешности запоминания с пространственными способностями. Так, в работе (Vanetti, Allen, 1988), а также в работе (Conte et al., 1995) было показано, что участники с высокими пространственными способностями составляли описания маршрутов точнее и подробнее. Сначала у детей тестировали показатели визуально-пространственной рабочей памяти (ВПРП), для чего давали задание на воспроизведение позиций некоторых клеток в матрице и задание следовать по маршруту. Дети с высокими результатами этих тестов также хорошо выполнили реальную задачу передвижения по комнате с завязанными глазами. В работе (Denis et al., 1999) была показана связь между способностью формировать адекватные пространственные репрезентации и

характеристиками РП. Авторы работы обнаружили значимую корреляцию между показателями ВППП, измеренными по тесту Корси (Corsi Block Test) и успешностью пространственного ориентирования, которая оценивалась по показателям эффективности вербального описания маршрутов. Описанные работы позволили сделать вывод о том, что ВППП вносит существенный вклад в построение пространственных репрезентаций, причем пространственная информация могла быть представлена не только в визуальном, но и в вербальном формате.

Позднее появились работы, в которых изучение процессов формирования ЭПР и АПР в РП выступало как самостоятельный объект исследования. Так, в работе (Pazzaglia, Cornoldi, 1999) исследовалась роль отдельных визуальных и пространственных систем РП в задаче навигации. Одна и та же среда для навигации была описана двумя способами: с точки зрения описания маршрута (route descriptions) и с акцентом на визуальные ориентиры среды (visual descriptions). Затем испытуемые должны были в свободной форме описать маршрут. Были введены две параллельные дистракторные задачи, одна визуальная и одна пространственная. Авторы показали, что успешность формирования пространственной репрезентации нарушается параллельной пространственной задачей, однако не во всех случаях, а выборочно. Пространственная задача сильнее, чем визуальная понизила точность описания маршрутов (route descriptions). Обе задачи одинаково снизили точность визуального описания (visual descriptions). Эти результаты показали, что пространственная система рабочей памяти играет более важную роль в процессе формирования пространственной репрезентации маршрута, а не в запоминании отдельных визуальных деталей окружающей среды (ориентиров).

Влияние специфики прохождения маршрута (вертикальный и горизонтальный) на эффективность работы ВППП изучалось в работе (Smyth and Waller, 1998): исследовалось, насколько успешно профессиональные альпинисты запоминали два маршрута по альпинистской стене: вертикальный и

горизонтальный. После тренировки участники формировали пространственные репрезентации, мысленно представляя себе прохождение по маршрутам. На все компоненты рабочей памяти были введены дистракторные задачи; использовался динамический визуальный шум, пространственное постукивание и кинестетическое подавление. Помимо общего вывода о том, что ВПП играет важную роль в задачах планирования и выполнения перемещения по маршруту, были получены некоторые уточняющие данные. Пространственное постукивание увеличило продолжительность мысленного прохождения обоих маршрутов; динамический визуальный шум увеличивал продолжительность на вертикальном маршруте, а кинестетическое подавление увеличивало продолжительность по горизонтальному маршруту. Таким образом, было показано, что выделенные системы рабочей памяти вносят различный вклад в решение различных пространственных задач.

Роль ВПП в задаче «обучение маршруту» (route learning) исследовалась в работе (Garden, Cornoldi, Logie, 2002). Участникам надо было запомнить последовательность изображений маршрута с точки зрения птичьего полета. Каждое изображение отражало участок маршрута, а, мысленно проинтегрированные, они отображали целостную карту. Участники запоминали маршрут, выполняя одновременно двойную задачу с пространственной помехой, с вербальной помехой или без помех. Результаты показали, что пространственные помехи более негативно влияют на запоминание маршрута по сравнению с вербальными. Аналогичный эксперимент был проведен в работе (Coluccia et al., 2007), где участники воспроизводили карту, параллельно выполняя задачи с пространственными/вербальными помехами или без помех. Был получен несколько другой результат: успешность формирования пространственных репрезентаций ухудшалась после пространственных помех и не подвергалась влиянию вербальных помех.

В работе (Coluccia, Martello, 2004) была изучена корреляционная связь между эффективностью ВПП и картографическим обучением (map learning).

Опираясь на метод, предложенный в работе (Bosco et al., 2004), они использовали разные типы карт. Сначала участники изучали карту с нерегулярной и сложной структурой, а потом карту «Палантин» (Bosco et al., 2004) с регулярной и упорядоченной структурой. Эффективность ВПП оказалась связанной с успешностью ориентации по карте в обоих случаях. А вот такие отдельные показатели как эвклидовы дистанции (euclidean distance), «знания относительных позиций» (relative positions knowledge), соответствующие ЭПР, или направления при вращении карты, соответствующие АПР, не были связаны с ВПП.

Исследования (Coluccia et al., 2004, 2007; Garden et al., 2002) показали ключевую роль ВПП в задачах навигации по новым пространственным средам. В подробной работе (Coluccia, 2008) на материале плана города «Палантин», изучалось формирование пространственных репрезентаций ЭПР и АПР, соответствующих трем референциальным системам (Levinson, 1996, 2003):

- 1) «знаний о маршруте» (route knowledge), представленные в виде положения объекта относительно локальной системы координат, что соответствует АПР;
- 2) «знания относительных позиций» (relative positions knowledge), представленные в виде взаимосвязи между ориентирами и оценкой расстояния и направления, что соответствует ЭПР;
- 3) «знания абсолютных позиций» (absolute positions knowledge), представленные в виде положения объекта относительно структурированной системы координат, что соответствует АПР.

При этом, согласно методу двойной задачи, вводились различные нагрузки на компоненты РП. Результаты показали, что ВПП активно участвует в формировании «знания абсолютных позиций» и «знаний о маршруте», т.е. в формировании АПР, но при этом слабо задействовано в формировании «знания относительных позиций», т.е. ЭПР (Coluccia, 2008). Такие результаты

подтвердили предположения о первичности формирования АПР для решения текущих задач, что подчеркивает главенствующую роль нисходящих процессов в пространственной памяти.

Кроме этого, было сформулировано понимание, что при изучении карты вклад разных компонент ВПРП может различаться в зависимости от типа формируемой пространственной репрезентации, которая в свою очередь задаётся решаемой пространственной задачей.

Исследуя точность формирования пространственных представлений, Боско, Лонгони и Векки (Bosco, Longoni, Vecchi, 2004) изучали вопрос о том, насколько показатели ВПРП коррелировали с успешностью изучения пространственных свойств окружающей среды. Участники должны были изучить карту реальной среды и выполнить батарею из восьми задач (map-knowledge tasks). Авторы обнаружили, что ВПРП предсказывает эффективное решение в таких задачах как: распознавание ориентиров (landmark recognition task), распознавание близлежащего ориентира (landmark's surrounding recognition task), формирование карты (map completion task) и распознавание маршрута (route recognition task). Для оценки показателей ВПРП были выбраны четыре задачи: «задача головоломки» (jigsaw puzzle task) (Richardson & Vecchi, 2002), «задача мысленного пути» (mental pathway task), (Vecchi & Cornoldi, 1999), «тест визуального паттерна» (visual pattern test) (DellaSala, Grey, Baddeley, & Wilson, 1997) и «тест Корси» (Corsi span test) (Milner, 1971). На основе полученных данных были построены несколько регрессионных моделей, выявивших высокую корреляцию показателей ВПРП с топологией пространственных свойств окружающей среды. Был выявлен важный результат отсутствия значимой связи между ВПРП и выполнением точных метрических оценок евклидовых дистанций, «знания относительных позиций» (ЭПР) и направлений. Эти данные показали, что точные метрические представления о дальнем пространстве формируются в РП крайне плохо. Позднее эти данные

подтвердились в исследованиях группы Руотулло (Ruotullo, 2019), но только на 2D стимульном материале.

В последнее время появились работы, в которых исследовались индивидуальные особенности в формировании ЭПР и АПР в РП. Отличительной особенностью этих работ являлось использование технологий виртуальной реальности для предъявления трехмерных виртуальных сред (Wen et al., 2013). Авторы работы изучали, как разные компоненты РП участвуют в формировании ЭПР и АПР у участников с хорошим и плохим чувством направления (Sense Of Direction - SOD). Участники виртуально проходили маршруты, одновременно решая вторую задачу (вербальную, визуальную или пространственную), после чего оценивалась точность ЭПР и АПР. Результаты показали, что участники с хорошим SOD кодировали и интегрировали знания об ориентирах и маршрутах в эгоцентрических координатах с поддержкой двух компонентов РП (вербальной и пространственной), которые затем трансформировались в аллоцентрические координаты с поддержкой всех трех компонентов РП. При этом информация о расстояниях обрабатывалась в вербальной и пространственной РП, а о направлении - в визуальной и пространственной РП. Напротив, у участников с плохим SOD эффективно работала вербальная РП и существенно меньше были задействованы визуальная и пространственная компоненты РП, что проявилось в ухудшении формирования АПР.

На основе результатов была предложена когнитивная модель для объяснения индивидуальных различий в приобретении пространственных знаний (Рис.4).

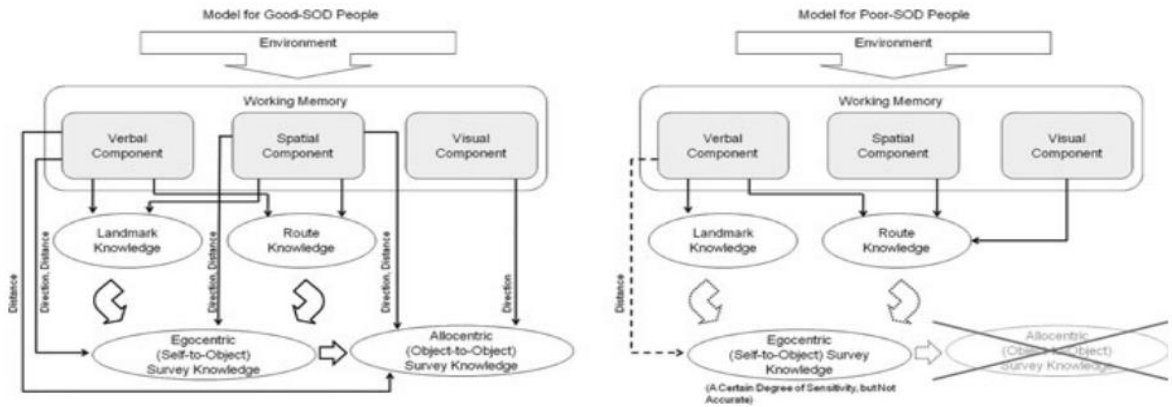


Рис. 4. Когнитивная модель формирования ЭПР и АПР у людей с разным чувством направления (по: Wen, Ishikawa, Sato, 2013).

В модели показана важная роль пространственной системы РП в формировании ЭПР, менее активная роль вербальной системы (зависящая от SOD) и слабое участие визуальной системы РП при оценке дистанций, закодированных как в эгоцентрических, так и в аллоцентрических координатах. Эти выводы коррелируют с проведенными ранее исследованиями, показавшими важную роль вербальной и пространственной систем РП в формировании пространственных знаний об ориентирах и маршрутах, а значит и в формировании ЭПР и АПР (Garden et al., 2002; Meilinger et al., 2008; Wen et al., 2011). Также в модели подчеркивается независимость процессов обработки информации о направлении и расстоянии, что также подтверждается результатами, полученными ранее (Chieffi, Allport, 1997). Стоит отметить также согласованность полученных авторами психофизических данных с данными нейронаук, в которых были выявлены различия в зонах мозга, обрабатывающих информацию о направлениях и расстояниях (O'Keefe, Dostrovsky, 1971; O'Keefe, 1976; O'Keefe, Nadel, 1978).

Модель формирования ЭПР и АПР у людей с разным чувством направления SOD была разработана для дальнего пространства. Аналогов такой модели, разработанной для ближнего/персонального пространства, еще не существует.

Закономерности формирования ЭПР и АПР ближнего пространства в рабочей памяти изучались в задачах обработки пространственной информации о *массиве предметов* (array of objects/ array of items). Например, в работе (Heywood-Everett, Baker, Hartley, 2020) проверялась точность формирования ЭПР и АПР при изменении точки обозрения. Участники должны были определить, изменилось ли местоположение одного из четырех объектов, когда они смотрели на массив из новой точки обозрения. Показано, что пороги обнаружения изменений монотонно, но нелинейно увеличивались по мере разнесенности в пространстве начальной и конечной точек обозрения.

(Zhang, Qian, 2018) исследовали кодирование глубины в РП с помощью задачи обнаружения изменений и задачи оценки. Объекты для запоминания были разнесены по глубине в диапазоне от $-0,51^\circ$ до $0,51^\circ$ с шагом $0,17^\circ$. Участники должны были оценить глубину каждого объекта. Авторы обнаружили, что:

- 1) точность обнаружения изменений была намного ниже, чем та, о которой сообщалось для визуальной системы РП;
- 2) эффективность памяти (точность локализации и идентификации) ухудшалась с увеличением количества объектов для запоминания;
- 3) точность была выше для объектов, представленных на ближайшей и самой дальней глубине по отношению к участникам;
- 4) эффективность памяти была лучше, когда изначально был представлен зонд вместе с другими объектами.

Эти результаты показывают, что хранилище в РП для информации о глубине более ограничено и неточно, чем для визуальной информации. Эффективность памяти улучшается, если существует подсказка в виде зонда. Кроме того, преимущество в запоминании ближайших и самых далеких объектов предполагает эффект последовательного позиционирования и указывает на то, что кодирование глубины в РП зависит от эгоцентрического расстояния между наблюдателем и запоминаемым объектом.

Была выявлена роль дополнительных зрительных признаков и важность расстояний между объектами и ориентирами окружающей среды. При реконструкции массива точность пространственного воспроизведения зависела не только от запоминания отдельных объектов, но от относительных расстояний между объектами и ориентирами в окружающей среде. Чем ближе был объект к ориентиру, тем точнее была реконструирована его локализация в пространстве. Авторы представили простую модель, в которой АПР формировались независимо от ЭПР (Aagten-Murphy, Bays, 2019).

Интересные данные были получены относительно емкости РП: она оказалась не фиксированной величиной в 3-4 элемента, а варьировала в зависимости от времени предъявления стимулов (Brady et al., 2016). При этом увеличение длительности предъявления стимулов не увеличивало емкость рабочей памяти, если объекты визуально просты. Другие данные были получены в исследовании (Li et al., 2020), проведенном с объектами реального мира: показано, что емкость зрительной памяти становится больше, чем 3-4 единицы при увеличении времени кодирования пространственной информации независимо от типа стимула, визуально простого или сложного.

Таким образом, при переходе от исследований ЭПР и АПР в ДП к исследованию их в РП, поменялись экспериментальные процедуры. Мультикомпонентная модель РП А.Бэддели задала дизайн с применением двойной задачи. Результаты исследований согласованы в том, что в рабочей памяти наиболее важной системой, обеспечивающей формирование ЭПР и АПР, является ВПРП. В свою очередь ЭПР и АПР выступили как конструкты, при помощи которых можно обсуждать особенности работы когнитивных систем рабочей памяти.

Одним из основных вопросов в рамках блочно-модульной логики был вопрос о том, какой тип репрезентаций формируется первым, а какой вслед за ним. На материале запоминания карты и передвижения по городу были получены противоречивые результаты: одни исследователи сообщали о

приоритете АПР (например, Coluccia, 2008), а другие о приоритете ЭПР (например, Wen, Ishikawa, Sato, 2013). Мы можем говорить о противоречивых объяснениях процессов формирования пространственных репрезентаций в терминах нисходящих и восходящих процессов переработки пространственной информации. Подобные данные о приоритете формирования ЭПР или АПР ближнего пространства отсутствуют в силу ограничений методов исследований. Если при изучении дальнего пространства уместно использовать приблизительные, ранговые оценки точности расстояний, то в ближнем/персональном пространстве требуются точные метрические оценки расстояний, а таких методик еще нет, они только разрабатываются, например, в работах нашей исследовательской группы лаборатории «Восприятие» факультета психологии МГУ. (Савельева, Меньшикова, 2017; Меньшикова, Савельева, Ковязина, 2018; Меньшикова, Савельева, Величковский, Бугрий, 2020) В данной работе продолжается совершенствование предлагаемой нами методики, что вместе с более детальным обсуждением ключевых достоинств и недостатков основных работ по теме будет обсуждаться в Главе 2.

Также важно отметить, что в литературе чрезвычайно мало данных о формировании ЭПР и АПР окружающих сред, находящихся в движении относительно неподвижного наблюдателя. Хотя требования экологической валидности предполагают изучение именно динамического пространственного окружения, часто встречающегося в обычной жизни. Такие данные накоплены в современном кинематографе, их анализ проведен (May & Barnard, 2018) и предложена многоуровневая когнитивная модель обработки такой информации. Отдельные исследователи предполагают существование отдельной системы обработки пространственной динамической информации в рабочей памяти (Cocchi et al., 2007). Но в целом, проблематика формирования ЭПР и АПР динамических сред крайне мало разработана.

Особенности формирования АПР и ЭПР в процессах долговременной памяти (ДП) и рабочей памяти (РП), рассмотренные в П 1.5 и П 1.6 играют

важную роль для решения вопроса о том, насколько различаются механизмы запоминания в ДП и РП.

Связь процессов ДП и РП обсуждалась многими авторами. *Теория уровней переработки информации* Ф. Крейка и Р. Локхарта (Craik, Lockhart, 1972) и *функциональная модель непосредственной памяти* (Nairne, 1990) не рассматривают РП и ДП как разные системы и объясняют все феномены, выявленные в экспериментальных исследованиях РП, как выражение общих для этих систем закономерностей хранения информации. Согласно теории Ф. Крейка и Р. Локхарта, перемещение человека ведёт к непрерывному обновлению ЭПР, в ходе которого должны накапливаться ошибки точности формирования ПР безотносительно к видам памяти.

В соответствии с *моделью вложенных процессов* N. Cowan (1999), РП образована вложенными друг в друга компонентами – фокусом внимания, активированным поиском и ДП. В фокусе внимания (около 4-х независимых элементов) содержатся активированные репрезентации, которые осознаются человеком (угасают в течение 10–20 с). Другая необходимая для решения текущей задачи информация может быть получена из ДП путем ее извлечения с помощью процессов активного поиска.

Развивая эту модель К. Oberauer (2002) предложил *концентрическую модель* РП из трех компонентов. Он разделил собственно фокус внимания и регион прямого доступа: фокус внимания содержит активированную репрезентацию, которая осознается и является объектом текущей когнитивной переработки, а регион прямого доступа содержит около 4-х репрезентаций, находящихся в состоянии высокой доступности и защищенных от негативного действия угасания и интерференции. Также модель задает доступ к ДП. Интересно, что фокус внимания способен оперировать только одной единицей информации, как показано в экспериментах Н. Garavan (1998)

Для объяснения процессов взаимодействия РП и ДП в некоторых моделях акцент делается на ресурсном подходе (Barroulliet, Camos, 2007). Переработка и

хранение информации использует ограниченные ресурсы внимания, поэтому реализация одной функции РП оставляет меньше ресурсов для реализации другой. Если внимание отвлекается от процессов переработки в РП, то наблюдается снижение их сохранения в ДП с течением времени. Обработка, требующая внимания, осложняет удержание информации в РП из-за невозможности ее реактивации. Разделение ресурсов внимания осуществляется по времени и заключается в быстром и частом переключении внимания между функциями переработки и хранения.

Разделение РП и ДП на две отдельные системы из-за их функциональных различий наблюдается в работах многих авторов (Аткинсон, 1980; Baddeley, 1986; Schacter, Tulving, 1994). Функцией РП является временное сохранение информации для решения текущих задач, а функцией ДП является сохранение опыта прошлого взаимодействия со средой. Центральный исполнитель отвечает за извлечение информации из ДП в РП, осуществляя процесс постоянного взаимодействия между этими системами. Если ресурсов недостаточно, то извлеченная информация может быть ошибочна.

В модели А. Бэддели, взаимодействие РП и ДП обеспечивает эпизодический буфер, который является интерфейсом между эпизодической и семантической памятью, с одной стороны, и РП и сознанием, с другой стороны (Величковский, 2015). Именно эпизодический буфер обеспечивает успешное воспроизведение несвязанных отрывков текста, интеграцию зрительного и вербального кодирования, влияние эффектов ДП на субъективную яркость актуальных образов, а также индивидуальные различия в эффективности хранения информации (Baddeley, 2002).

Взаимодействие РП и ДП ярко проявляется в эффектах укрупнения (chunking) – образования составных элементов из отдельных подлежащих сохранению элементов для их последующего удержания и воспроизведения (Ericsson, Kintsch, 1995). Так, в работе (Ericsson, Kintsch, 1995) было показано, что у экспертов многократно увеличивается объем РП (более 80 не связанных

друг с другом элементов). С точки зрения автора, эффективность РП при решении текущих задач значительно повышается за счет активного обращения к ДП, хранящей материал, который знаком экспертам по их профессиональной деятельности. Авторы предполагают существование специальных механизмов РП, хранящих «ключи» доступа к ДП.

Таким образом, вопрос о том, насколько процессы рабочей и долговременной памяти схожи или различны, остается открытым. Изучение процессов формирования ЭПР и АПР в РП и ДП возможно даст новые данные по этому вопросу.

1.6. Нейробиология формирования эго- и аллоцентрических репрезентаций пространственной информации

За последние двадцать лет в нейронауке стало активно развиваться направление исследований, посвященное мозговым механизмам кодирования пространства. Стали проводиться исследования нейронных коррелятов локализации объектов и их пространственной конфигурации. Нейро- и когнитивные подходы к исследованию пространственного познания тесно связаны между собой и на разных этапах обогащали и развивали друг друга.

В отечественной нейропсихологии изучение пространственной памяти было проведено А.Р. Лурия и его коллегами. В работах (Лурия, 1962, 1971) были исследованы пространственная организация движений, пространственное восприятие, пространственные компоненты речи и мышления, а также было уделено большое внимание мозговым механизмам нарушений в процессах формирования координатных, проекционных и структурно-топологических пространственных представлений.

За последние 50 лет в нейронауке были получены уникальные данные относительно мозговых механизмов формирования пространственных представлений. В работе (O'Keefe, Dostrovsky, 1971) выявлены нейроны, получившие название (head-direction cells), которые активировались при

определенной ориентации головы крысы в процессе навигации. В дальнейших исследованиях в гиппокампе крыс были найдены нейроны места (place cells), которые становились активными при нахождении крысы в определенной области экспериментального пространства (place field) вне зависимости от ориентации животного и не реагирующие на простые сенсорные стимулы или моторное поведение (O'Keefe, 1976). Эти данные позволили сделать вывод о наличии мозговых коррелятов процесса конструирования абстрактной (не связанной с сенсорными сигналами) «пространственной карты» (spatial map), позволяющей ориентироваться в пространстве. Было показано, что пространственные отношения между элементами конфигурации кодируются в гиппокампе (O'Keefe, Nadel, 1978). Таким образом, на нейрофизиологическом уровне была подтверждена гипотеза о формировании ментальных когнитивных карт, предсказанная в 1948 году Эдвардом Толменом. Позднее супругами Мозерами и их сотрудниками были открыты так называемые нейроны решетки (grid cells), являющиеся важными компонентами нейронной системы ориентации (Hafting et al., 2005; Abbott, 2014; Moser et al., 2014). Было показано, что нейроны решетки в энторинальной коре (entorhinal cortex) участвуют в обработке пространственной информации при навигации (Hafting et al., 2005). Также было установлено, что информация о направлении головы обновляется в нейронах направления головы (head-direction cells), расположенных во многих областях головного мозга, таких как ретросплениальная кора, дорсальные таламусовые ядра и энторинальная кора (entorhinal cortex) (Taube et al., 1990). Эти клетки образуют универсальную картографическую систему, позволяющую млекопитающим воспринимать положение своего тела в окружающем пространстве.

На основе выявленных нейронных клеток, кодирующих направление и местоположение, можно конструировать реальные нейронные сети, которые на уровне субстрата мозга обеспечивают любое взаимодействие субъекта с окружающей средой. Структура этих сетей обусловлена как изначальными

заданными биологическими индивидуальными характеристиками, так и текущими пространственными задачами. Для изучения работы таких сетей необходимо сочетать нейро- и когнитивный подходы.

Дальнейшие исследования были направлены на выявление нейронных коррелятов ЭПР и АПР. Были получены данные, показавшие, что их формирование может быть связано с активностью отдельных нейронных ансамблей в билатеральной лобно-теменной зоне коры головного мозга. (bilateral fronto-parietal network) (Zaehle et al., 2007). Были получены и другие данные относительно локализации мозговых механизмов пространственных репрезентаций. Так, в ряде работ (Cook and Kesner, 1988; Potegal, 1972) было показано, что формирование ЭПР обеспечено активацией хвостатого ядра и медиальной теменной доли (medial parietal lobe), с основным участием задней теменной области (поле Бродмана 7) в процессе интеграции различных ЭР (Burgess, 2008). Формирование АПР обеспечиваются в основном «клетками места» гиппокампа (Ekstrom et al., 2003; O'Keefe and Dostrovsky, 1971; Ono et al., 1993), которые срабатывают в определенных пространственных местоположениях независимо от ориентации субъекта. Также к зонам мозга, отвечающим за формирование АПР, кроме парагиппокампа (Aguirre et al., 1996; Committeri et al., 2004; Janzen and van Turenhout, 2004; Rosenbaum et al., 2004; Wolbers and Buchel, 2005; Zhang and Ekstrom, 2013) относят и ретросplenальную кору (retrosplenial cortex) (Auger and Maguire, 2013; Epstein and Higgins, 2007; Iaria et al., 2007; Takahashi et al., 1997; Wolbers and Buchel, 2005; Zhang and Ekstrom, 2013).

Были выделены зоны мозга, отвечающие за возможность переключения между двумя типами репрезентаций (смены точки мысленного обозрения сцены) во время передвижения в окружающей среде. К ним относят заднюю и ретросplenальную кору головного мозга (Byrne et al., 2007; Maguire, 2001; Vann et al., 2009; Wolbers and Hegarty, 2010).

Позже Р. Бургесс и его коллеги предложили *модель пограничных векторных клеток* (the Boundary Vector Cells Model), определяющую соединения белого вещества между гиппокампом и неокортексом в качестве основного пути интеграции (Burgess et al., 2001) и, в частности, определили ретроспленальную кору в качестве основной структуры коры, участвующей в связывании информации о направлении головы с репрезентациями внешней сцены (Burgess et al., 2001). Полученные позже данные подтвердили эту модель (Boccia et al., 2016a; Boccia et al., 2017; Kravitz et al., 2011), а также выявили роль ретроспленальной коры в аллоцентрическом кодировании направлений головы (Sulpizio et al., 2016).

Таким образом, объективное нейрофизиологическое подтверждение существования когнитивных конструктов ЭПР и АПР и их активного участия в процессах обработки пространственной информации об окружающей среде, было получено во многих работах. Однако, полученные нейрокорреляционные данные во многом носят фрагментарный характер, и на сегодняшний день все еще отсутствует достаточно убедительная нейрокогнитивная модель формирования ЭПР и АПР.

Недавние исследования нейронных коррелятов метрических и неметрических ЭПР и АПР (Ruotolo et al., 2019) выявили, что в формировании категориальных ЭПР принимала участие двусторонняя лобно-теменная сеть, в основном ее правая часть, в то время как метрические ЭПР связаны с работой правого лобно-теменного контура. Двусторонняя затылочная сеть была больше задействована в категориальных АПР. Наконец, меньшая часть этой двусторонней сети (то есть Calcarine Sulcus и Lingual Gyrus) вместе с правой супрамаргинальной и нижней фронтальной извилинами поддерживала метрические АПР.

Интересно, что работа систем ЭПР и АПР выглядит автономной и независимой с нейрокогнитивной точки зрения, что подтверждается в работах (Allen, Ueno, 2018; Aagten-Murphy, Bays, 2019; Murphy, Bays, 2019).

Мы полагаем, что рассмотрение визуальной и пространственной систем рабочей памяти, которые соответствуют работе достаточно хорошо изученных систем «Что» и «Где», в свою очередь обеспеченных активностью вентрального (затылочные доли) и дорсального (височные доли) каналов, позволит по-новому взглянуть на проблему поиска нейрофизиологических коррелятов того, как наш мозг выстраивает адаптивные пространственные представления, чтобы эффективно реагировать на требования окружающей среды и решать пространственные задачи.

Нейрофизиологическая основа работы вентральной и дорсальной систем также уточняется современными исследователями. Например, в работе (Finlayson, Zhang, Golomb, 2017) показано, что трехмерная репрезентация объекта формируется в более высокоуровневых зонах зрительной коры, нежели это считалось ранее. Авторы объясняют полученные результаты тем, что на ранних этапах процесса в построении трехмерной репрезентации могут участвовать лишь отдельные нейроны, функции которых недостаточны для этой работы.

Несмотря на многочисленные методологические трудности, полученные данные о мозговых механизмах формирования ЭПР и АПР активно используются для разработки устройств, позволяющих корректировать нарушения пространственной памяти. Например, для улучшения пространственной памяти был разработан кибер-протез (Deadwyler et al., 2020). Участниками стали больные эпилепсией. Им в область гиппокампа были внедрены электроды, активирующие эту область при выполнении задачи на запоминание геометрических фигур. Показано, что кибер-протез усилил эффективность запоминания примерно на 33-40%. Такие практические разработки вселяют надежду, что в дальнейшем удастся разработать устройства для корректировки процессов формирования ЭПР и АПР. Это особенно востребовано в клинической практике, например, при здоровом старении (Colombo et al., 2017) или в ряде нозологий: болезни Альцгеймера (Morganti et

al., 2013; Bianchini et al., 2014), аутизме (Ring et al., 2018) и синдроме Вильямса (Broadbent et al., 2014).

Нейрокогнитивный подход накапливает данные о нейронных коррелятах ЭПР и АПР. Получаемые данные чрезвычайно важны для выхода на высокий уровень обобщения этих процессов. Выявление нейронных механизмов и функциональных ролей каждого типа репрезентации и их взаимодействий обещает обеспечить основу для исследования организации человеческой психики в более широком смысле. Так, Б.М. Величковский показывает, что возможность построения образа мира и «модели психического» вместе с выходом на уровень «метакогнитивных координаций», строится именно на основе накопления пространственных данных о взаимодействии субъекта с предметным миром в виде практических предметных действий (Velichkovsky, 2002).

Выводы по Главе 1

По результатам теоретического анализа предложено уточнение понятия *«пространственная репрезентация»* как *мысленного образа, отражающего категориальные и координатные характеристики объектов окружающей среды в метрических и топологических единицах, необходимого субъекту для решения текущих пространственных задач.*

Анализ функциональных особенностей двух типов репрезентаций позволил предположить, что ЭПР, которые обеспечивают действия в ближнем пространстве, более точно отражают *метрику* (воспринимаемые расстояния между наблюдателем и объектами и между самими объектами), тогда как АПР сохраняют обобщенную пространственную схему и отражают в большей степени не метрику, а *топологию* пространства (выше-ниже, справа-слева и т.д.). (Kosslyn, 1987; Ruotolo et al., 2011, 2019; Савельева, 2017; Савельева, Меньшикова, 2017, 2018; Меньшикова, Савельева, Ковязина, 2018; Меньшикова, Савельева, Величковский, Бугрий, 2020 и др.).

Проведен анализ наиболее обсуждаемых в научной литературе когнитивных моделей формирования ЭПР и АПР. Выявлены как общие принципы кодирования пространственной информации, так и специфическое для каждой модели понимание процессов хранения и переработки пространственной информации. Отмечены расхождения между моделями относительно таких вопросов как приоритет развития того или иного типа пространственной репрезентации, роль пространственной задачи, влияние языковой культуры и др. Так, например, в работах (Piaget, Inhelder 1983; Nardini et al., 2009) показано, что в раннем детстве ребенок (европейская выборка) формирует приблизительные топологические АПР, а позднее, начиная с 4-х летнего возраста, проявляется способность строить метрические ЭПР, которые и выступают преимущественной когнитивной основой для построения действий у взрослых. Психолингвистические исследования народов Океании подтверждают наличие у детей первичной топологической АПР, но указывают, что в дальнейшем взрослые формируют более точные АПР, а не ЭПР, как у европейской выборки (Levinson 2003; обзор работ см. у Бородай, 2013).

Дискуссия о приоритете ЭПР и АПР продолжилась в исследованиях (Byrne et al., 2007; Jahn et al., 2007; Coluccia, 2008; Меньшикова и др., 2014), которые показывают главенствующую роль нисходящих процессов в пространственной памяти и приоритетное формирование АПР при запоминании карты местности. Однако переход к парадигме пространственного обновления позволил Р. Ванг и Е. Спелке (Spelke & Wang, 2000) разработать обобщающую модель формирования ЭПР и АПР в парадигме восходящих процессов, которая обладает большой объяснительной силой (Wang, 2012). В результате было пересмотрено представление о первичной роли АПР и высказано предположение о том, что именно основанные на сенсорных данных ЭПР выступают, как основной механизм, лежащий в основе определения местоположения объектов окружающего пространства. При этом по мере движения наблюдателя по маршруту в памяти сохраняются многочисленные

ЭПР, которые трансформируются в АПР при помощи модуля переориентации, обрабатывающего информацию о движении наблюдателя.

Проведен анализ многочисленных эмпирических данных об особенностях формирования ЭПР и АПР в долговременной памяти в зависимости от различных факторов. Показано, что точность формирования ЭПР и АПР может снижаться при смене точки обзора наблюдателя (Simons, Wang, 1998), она зависит от факторов возраста и остроты зрения (Colombo et al., 2017), доступности моторного ресурса (Ruggiero et al., 2021), знакомости окружающего пространства (Xiao et al., 2009; Waller, Hodgson, 2006; Lopez et al., 2019).

Анализ данных других авторов показал, что: а) в ближнем пространстве ЭПР формируются большей метрической точностью, чем АПР и опираются на доступность моторного компонента; б) в дальнем пространстве АПР формируются большей топологической точностью, чем ЭПР и опираются на визуально-пространственные признаки; в) метрические ЭПР и топологические АПР формируются быстрее и точнее, чем топологические ЭПР и метрические АПР.

Рассмотрены немногочисленные эмпирические данные об особенностях формирования ЭПР и АПР в мультикомпонентной модели РП (Baddeley, 1986, 2000). Проведен анализ функций визуально-пространственного блокнота (ВПП), его визуальной (ВС) и пространственной систем (ПС) в процессах формирования ЭПР и АПР. Отмечается независимый характер работы ВС и ПС в составе ВПП (Logie, 1995; Baeyens, Bruyer, 1999). Также отмечается важная роль ресурсного принципа для объяснения взаимодействия различных систем РП (Нуркова, 2015; Величковский, 2019). Показана ведущая роль ПС при формировании ЭПР и АПР в РП для задач навигации в дальнем пространстве (Wen, Ishikawa, Sato, 2013) и приоритет формирования более точных ЭПР, которые в задачах навигации являются основой для формирования менее точных абстрактных АПР. Отмечено, что процессы формирования ЭПР и АПР

для ближнего пространства значительно менее изучены, что связано с отсутствием адекватного, экологически валидного способа их измерения.

Все данные по точности формирования ЭПР и АПР неподвижного окружения в РП получены на материале *статических стимулов*. В научной литературе отсутствуют данные о формировании пространственных репрезентаций *динамических стимулов*, хотя в реальной жизни мы часто должны запоминать сцены с движущимися объектами. Немногочисленные исследования опираются на данные кинематографа (May & Barnard, 2018) и предполагают существование отдельной системы обработки пространственной динамической информации в рабочей памяти (Cocchi et al., 2007).

Выявлены мозговые механизмы пространственной памяти, отражающие основные процессы кодирования пространства – местоположение объектов, дистанции и направления (O'Keefe, Nadel, 1978; Moser et al., 2014; Burgess et al., 2001; Sulpizio et al., 2016). В настоящее время активно изучаются нейронные корреляты ЭПР и АПР (Ruotolo et al., 2019), что обеспечит основу для исследования организации человеческой психики в более широком смысле.

Показана эффективность интеграции когнитивного и системно-деятельностного подхода (Асмолов, 1985; Фаликман, 2015) к проблематике формирования ЭПР и АПР, как объекту исследования. на основе принципа активности. Отмечено, что представления об активности субъекта при построении образа окружающего мира создает основу для более полного и точного описания структуры и функций ЭПР и АПР, что позволяет перейти от эклектики к синтезу различных теоретических подходов (Асмолов, 2015).

Для дальнейшего изучения ЭПР и АПР необходима разработка методики оценки точности ПР, позволяющей единообразно в одних и тех же единицах оценивать точность ЭПР и АПР при запоминании статических и динамических сцен а именно: идентификации и локализации в топологических и метрических единицах в различных экспериментальных условиях с возможностью контроля временных условий.

ГЛАВА 2. ПРОБЛЕМА МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕПРЕЗЕНТАЦИЙ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ИНФОРМАЦИИ

Анализ проблемы исследования ЭПР и АПР в РП, выполненный в главе 1 показал, что необходима разработка методики оценки точности ПР, позволяющей единообразно в одних и тех же единицах идентификации и локализации оценивать точность ЭПР и АПР при запоминании пространственных сцен в различных экспериментальных условиях с возможностью контроля временных периодов. В данной главе будут рассмотрены преимущества и ограничения современных методов и приемов исследования ЭПР и АПР, сформулированы основные требования к разработке методики, преодолевающей выявленные ограничения, и представлена авторская методика количественной оценки точности формирования разных типов пространственных репрезентаций при помощи технологий виртуальной реальности.

2.1. Методы исследования репрезентаций пространственной информации в долговременной памяти

Для изучения пространственной памяти были разработаны методики прямой и косвенной оценки, апробированные при исследовании формирования когнитивных карт пространства (Tolman, 1948; Найссер, 1981; Wang, Spelke, 2000; Rinck, Denis, 2004). Рассмотрим некоторые из этих методик.

Методика реконструкции. При помощи данной методики осуществляется реконструкция субъективного пространства при использовании прямого или косвенного оценивания воспринимаемых расстояний. Прямая реконструкция представляет собой отображение ментального представления пространства в виде карты «вид сверху»: наблюдателя просят нарисовать на бумаге или на экране компьютера карту, отражающую сохраненные в памяти объекты и их пространственное расположение. Косвенная реконструкция основана на

процедуре ранжирования расстояний, триангуляции, субъективной оценке расстояний, которые позволяют затем реконструировать субъективное пространство (Величковский, Блинникова, Лапин, 1986). Современное применение этой методики можно рассмотреть на примере исследования (Wen et al., 2013), в котором изучалось взаимодействие ЭПР и АПР в задаче передвижения по виртуальному городу. Участникам в шлеме виртуальной реальности предъявлялся заранее записанный на видео маршрут передвижения по городу с остановками около значимых ориентиров. Затем им показывали фотографии каких-либо пунктов маршрута, из которых были видны ориентиры, просили представить себе точное местоположение и направление фотосъёмки, а также указать направление к другому ориентиру, невидимому из данной точки (эгоцентрическое направление), а также направление между двумя другими невидимыми ориентирами (аллоцентрическое направление). Затем участники рисовали карты предъявленных в виртуальной реальности маршрутов максимально подробно, указывая расположение пяти ориентиров. Для изучения АПР часто используют методику косвенной реконструкции при помощи рисунков на бумаге (метод скетчей) или мониторе (моторная экспликация на основе образов восприятия). Однако, был выявлен ряд существенных недостатков этого варианта методики реконструкции. Люди могут отличаться по своим художественным способностям, по моторным навыкам, что может повлиять на точность изображения пространственных характеристик и количество деталей рисунка. Выполненные наброски отличались по масштабу у разных людей, что затрудняло их сравнение. Исследователи пытались преодолеть эти ограничения, совершенствуя методики косвенной реконструкции. Так, в исследовании (Меньшикова, 2014) участники, проходившие виртуальные лабиринты, воспроизводили когнитивную карту изученного пространства не при помощи рисунков, а на экране компьютера, выбирая заранее подготовленные прямоугольники (с возможностью изменять их форму) и воспроизводя из них схему запомненного лабиринта. Это упрощало

задачу сравнения, так как все воспроизведенные лабиринты имели приблизительно одинаковый масштаб.

Наряду с методикой реконструкции исследователи обращались к методике **опознания**. В исследовании (Coluccia, 2008) на карте задавалась исходная и конечная точка, а затем участников просили определить маршрут между ними. Для оценки правильности их решения предлагалось выбрать один из трех вариантов ответа. Аналогичные процедуры узнавания и сличения с образами, хранящимися в памяти, использованы в исследованиях (Dabbs, Chang, & Strong, 1998; Miller & Santoni, 1986; Schmitz, 1997; Ward, Newcombe и Overton, 1986). На наш взгляд, методика опознания проще по сравнению с методикой реконструкции с точки зрения процедуры измерения, но менее точна в оценке пространственных отношений, поскольку процедура сличения с предложенными образцами сужает вариативность ответов.

Методика изменения точки обозрения (*perspective-taking test*) основана на запоминании пространственной сцены из одной точки обозрения и последующем ее воспроизведении из другой точки. Наблюдатель запоминает пространственную конфигурацию объектов из определенной точки пространства. Потом ему дают задачи на:

- *опознание сцены (scene recognition)*, т.е. находясь в исходной точке обозрения решать, совпадает ли предъявленная сцена с запомненной;
- *воспроизведение (reproduction)*, т.е. размещать запомненные объекты в их исходных положениях, когда наблюдатель перемещен в другую точку обозрения;
- *определение относительных направлений (judgment of relative directions)*, т.е. указывать направление одного объекта относительно другого;

Предполагается, что ЭПР строятся на сенсорной информации от органов чувств, а АПР – абстрактные конструкторы, которые получаются путем преобразования сенсорных данных. Поэтому, если задачи на опознание решаются лучше, то пространственная информация при запоминании сцены

кодируется в ЭПР, если различий нет, то информация изначально кодируется в АПР (Endress & Wood, 2011; Mou & McNamara, 2002; Shelton & McManara, 2001; Wang, 2007). Одним из вариантов методики являлось предъявление наблюдателю зрительной сцены, после чего его просили вербально описать ее, мысленно находясь в другой точке наблюдения (Avraamides et al., 2004; Coluccia, 2008). По анализу вербальных описаний можно было оценить топологические и метрические искажения пространственных отношений. Следует отметить, что подобные задачи тестировали способность человека к абстрактному перерасчету пространственных характеристик мысленного образа.

Достоинством данной методики при изучении разных типов пространственных репрезентаций является его дифференцирующая сила, задающая различия между ЭПР и АПР. Благодаря этому приему можно инициировать процессы формирования ЭПР или АПР. Например, инструкция наблюдателю реконструировать сцену именно так, как она ему предъявлялась при запоминании, актуализирует процессы формирования ЭПР, тогда как инструкция мысленно представить, как могла бы выглядеть сцена, если посмотреть на нее из другой точки пространства, инициирует процессы формирования АПР. Таким образом, именно методика изменения точки обозрения является процедурой, наилучшим образом операционализирующей разные типы пространственных репрезентаций.

Методика моторной экспликации или реконструкции запомненной сцены в реальном пространстве основана на предъявлении наблюдателю объектов, расположенных относительно него на разном расстоянии, и последующей реконструкции той же сцены наблюдателем, который перемещается в другую точку пространства. Данная методика основана на идее о том, что пространственная сцена сохраняется в памяти наблюдателя, а затем наблюдатель эксплицирует ее в реальный мир (для обзора см. Wen et al., 2013). Методика *моторной экспликации* обладает большей экологической валидностью по сравнению с иными способами реконструкции

пространственных репрезентаций. Это показывают как эмпирические данные нейрокогнитивных психологов (Ruggiero et al., 2021), полученные с учетом самых современных тенденций когнитивной психологии: «воплощенное познание» (*embodied cognition*) и «ситуативное (контекстно-обусловленное) познание» (*embedded cognition*), так идеи культурно-деятельностной и системно-деятельностной психологии, представленные в тезисе о «гипотезе уподобления», сформулированной в работах А.Н. Леонтьева (Леонтьев, 1965). Как мы уже обсуждали в разделе 1.4, психический образ (ЭПР и АПР) строится и актуализируется как функциональная система на различных тканях, органах и физиологических функциях организма как результат взаимодействий субъекта с объектами окружающего пространства.

Описанные выше методики исследования АПР и ЭПР, широко применяющиеся в современных исследованиях по этой проблеме, обладают одной существенной особенностью, состоящей в том, что в каждом из них в процесс реконструкции вовлекаются различные когнитивные механизмы, задействованные в формировании пространственных репрезентаций. И при этом, даже в рамках одного исследования, эти приемы могут применяться одновременно. Рассмотрим этот вопрос подробнее.

Предполагается, что в формирование ЭПР и АПР вовлекаются два основных когнитивных механизма - вербальная экспликация на основе образов памяти и моторная экспликация на основе образов восприятия. В одних методиках реконструкции задействуется один механизм (образы памяти, эксплицируемые вербально), а в других – другой (образы восприятия, эксплицируемые моторно). Эклектичное объединение этих приемов в одном исследовании можно увидеть на примере (Wen et al., 2013). В эксперименте для реконструкции эго- и аллоцентрических расстояний участников просили выполнить 2 задания. Во-первых, их просили оценить, на каком прямолинейном расстоянии в метрах, по их мнению, находятся невидимые из данной точки обзора ориентиры (механизм вербальной экспликации пространства на основе

образов памяти). Во-вторых, их просили максимально подробно нарисовать карты предъявленных в виртуальной реальности маршрутов, указывая расположение пяти ориентиров по ходу маршрута (моторная экспликация на основе образов восприятия).

Проблема ряда исследований по проблеме ЭПР и АПР состоит в том, что некорректно сравнивать результаты исследований, полученных разными методиками. Дискуссия по этому вопросу в контексте формирования ЭПР и АПР показала, что часть исследователей считает эти механизмы эквивалентными при формировании ЭПР и АПР (Loomis, Lippa, Klatzky & Golledge, 2002), тогда как другие указывают на их существенные различия (Avraamides et al., 2004). Современные эмпирические данные о важности моторного компонента (Ruggiero et al., 2021) закрепляют и результаты дискуссии когнитивистов и соотносятся с теоретическими идеями «гипотезы уподобления» системно-деятельностного подхода (Леонтьев, 1965).

Следует отметить и проблемы различий когнитивных процессов, задействованных в формировании репрезентаций персонального и внеперсонального пространства, которые в работах Б.М.Величковского встречаются в виде терминов локальное и глобальное пространство (local and global space) (Rasche, Velichkovsky, 2009). Мы провели анализ работ, посвященных изучению ПР (в большей степени АПР) объектов, расположенных в персональном и внеперсональном пространстве.

При изучении АПР дальнего/внеперсонального пространства, чаще всего используются рисуночные методики (скетчи), тестирующие способность наблюдателя мысленно изменить точку наблюдения сцены. В отличие от них в ближнем пространстве АПР изучаются приемом узнавания предъявляемых пространственных сцен, в которых задействованы такие механизмы как манипулирование мысленным образом. Здесь также возникает проблема применения этих методик, связанная с трудностями сравнения результатов исследований, полученных разными способами.

Обзор методик изучения точности формирования ЭПР и АПР в долговременной памяти показал, что преимущественно для изучения:

- ЭПР применяется реконструкция при помощи вербальной оценки расстояния (вербальная экспликация);
- АПР применяется реконструкция при помощи скетчей (моторная экспликация на основе образов восприятия + смена точки обозрения);
- АПР применяется реконструкция при помощи опознания сцены (сличение с образами памяти + мысленное вращение).

Отмеченные особенности различных методик приводят к трудно сопоставимым результатам накопленных эмпирических данных формирования ЭПР и АПР. При этом существенно затрудняется сравнение результатов не только различных исследований, но и возможность сравнения ЭПР и АПР в рамках даже одного исследования. Таким образом, одно из требований к разработке методики исследования ЭПР и АПР становится выбор наиболее универсального когнитивного механизма, задействованного в процессе формирования ЭПР и АПР. Мы полагаем, что наиболее адекватным для наших задач является механизм *моторной экспликации* на основе образов восприятия и памяти, который должен единообразно использоваться и в задаче реконструкции ЭПР и в задаче реконструкции АПР.

Современные когнитивные исследования пространственного познания, получившие название «*situated cognition*», начинают учитывать, что познание разворачивается не в психологической лаборатории, а в реальной окружающей среде, во взаимодействии субъекта с окружающим миром. Это направление продолжает идеи «экологического подхода к познанию», представленные в работах Дж. Гибсона (1988) и У. Найссера (1981).

Следует отметить и другие методические проблемы, возникающие при планировании исследований ЭПР и АПР. Выполнение каждой пробы для формирования ПР с большим количеством объектов занимает довольно длительное время. Следствием таких длительных проб является недостаточно

большое число количественных показателей для статистического анализа полученных данных. Например, в исследовании (Wen et al., 2013) было рассмотрено по 5 проб для каждого экспериментального условия. Для того, чтобы создать возможность статистического анализа данных, исследователи преимущественно оперируют приблизительными ранговыми показателями, редко обращаясь к точным метрическим показателям. С точки зрения статистики, разработка показателей, достаточно чувствительных к «малым эффектам», требует многократного повторения проб. Применительно к задачам нашего исследования, разработанная процедура должна быть основана на выполнении большого количества достаточно кратких проб, чтобы участник исследования мог выполнять их в оптимальном функциональном состоянии без риска утомления. Выполнение этого требования позволит анализировать не только ранговые, но и точные метрические показатели.

Как ещё одно существенное требование к методу, можно обозначить *3D формат* тех визуальных сцен, на основе которых формируются ЭПР и АПР. Наиболее распространенные психометрические способы оценки пространственных способностей основаны на материале 2D изображений, например, тест Амтхауэра (Акимова и др. 1993), или серия матриц Равена, оценивающая способность к пространственной перестановке фигур в матрице по горизонтальному и вертикальному направлениям (Равен, 1997). В этих методиках используются 2D рисунки, на которых отображается 2D либо 3D информация. Однако, в обычной жизни мы запоминаем объекты и сцены именно трехмерного окружения, поэтому экологически валидной задачей является разработка метода изучения ЭПР и АПР на материале 3D сцен.

Исследование на материале 3D сцен достаточно трудно осуществить в обычных лабораторных условиях, поскольку необходимо обеспечить единообразие предъявления 3D стимуляции, обеспечить контроль за временем предъявления сцены, а также разработать методы регистрации нарушений реконструкции объектов и их локализации. Преодолеть указанные ограничения

могут современные технологии виртуальной реальности, описание которых представлено ниже в п. 2.3.1 данной главы.

Следует отметить и требование, связанное с возможностью не приблизительно, а точно количественно оценивать характеристики ЭПР и АПР. Мы полагаем, что одним из наиболее эффективных приемов оценки ПР является методика *прямой реконструкции на основе моторной экспликации*, позволяющая количественно оценивать их пространственные характеристики. Результатом прямой реконструкции является объектно-эксплицированная субъективная пространственная репрезентация, сформированная наблюдателем, что даёт возможность наглядного сличения её и объективных пространственных характеристик окружающей среды. Используя задачи, инициирующие формирование одной из репрезентаций (ЭПР либо АПР), возможно количественно измерять характеристики при использовании одних и тех же единиц, что, в свою очередь, позволяет сравнивать точность формирования как АПР, так и ЭПР единообразно. Таким образом, метод реконструкции можно рассматривать как универсальный метод сравнения точности формирования ЭПР и АПР, и его необходимо применять одновременно к изучению обоих типов репрезентаций.

Реализовывать указанные процедуры возможно в лабораторном эксперименте при помощи технологий виртуальной реальности, что было продемонстрировано в исследованиях кратковременной памяти (Савельева, 2017; Савельева, Меньшикова, 2017, 2018; Меньшикова, Савельева, Ковязина, 2018). Технологии виртуальной реальности позволяют фиксировать точные пространственные характеристики в каждый момент времени и создавать гибкие экспериментальные условия. В виртуальном пространстве можно задать любые задачи, даже трудноосуществимые в реальных средах и фиксировать точность их выполнения в режиме реального времени. Методика прямой реконструкции носит универсальный характер и может быть применима как для изучения точности формирования ЭПР, так и АПР.

2.2. Методы исследования репрезентаций пространственной информации в рабочей памяти

Естественно предположить, что любые начальные этапы хранения и обработки пространственной информации должны происходить в рабочей памяти, причем пространственные репрезентации должны постоянно обновляться во время движений наблюдателя. Это подразумевает, что в достаточно короткое время должны осуществляться формирование ЭПР на основе сенсорной информации и дальнейшее перекодирование в абстрактные АПР с учётом информации об изменении положения тела в пространстве (Wang, 2012). В РП в процессе перекодировки должно идти активное обращение к разным сенсорным модальностям, а также к системе долговременной памяти. Таким образом, для понимания процессов формирования ЭПР и АПР исследователи обратились к первоначальной обработке пространственной информации, которая осуществляется в РП. Для изучения объема и структуры зрительной РП были разработаны несколько методических приемов (для обзора см. Уточкин и др., 2016; Войтов, Косихин, Ушаков, 2015; Величковский, 2015).

Методика двойной задачи (dual task). Многокомпонентная модель А. Бэддели и Г. Хитча (Baddeley, Hitch, 1974), определила дизайн последующих эмпирических исследований РП, внедрив в исследовательскую практику методику двойной задачи. Действительно, по своему определению РП отвечает за решение более чем одной текущей задачи и эффективность ее работы можно оценить только в условиях одновременного решения двух или более задач. Были разработаны разнообразные типы двойных задач, реализующие нагрузку на разные компоненты РП - на центральный исполнитель, фонологическую петлю и т.д. (Baddeley, 2000, 2002, 2012), Суть введения двойной задачи состоит в увеличении нагрузки на РП, что должно приводить к снижению эффективности решения основной задачи. Методика двойной задачи применялась и для изучения ВПРП в РП. Ее использование продемонстрировало ведущую роль ВПРП в задачах пространственной

навигации (Pazzaglia & Cornoldi, 1999; Smyth & Scholey, 1994; Smyth & Waller, 1998, Garden et al., 2002; Coluccia, 2008), а также при формировании ЭПР и АПР (Wen, Ishikawa, Sato, 2013; Knight, Tlauka, 2017).

Основные проблемы применения этой методики для изучения характеристик РП состоят в том, что не во всех экспериментальных исследованиях достаточно точно соблюдаются временные рамки запоминания пространственных характеристик окружающей сцены и их реконструкции в виде ЭПР и АПР. Ограничения времени процессов запоминания и последующего воспроизведения (не более 20-25 секунд) позволяют достаточно точно операционализировать процессы РП в отличие от процессов ДП. В ряде исследований, связанных с прохождением маршрутов, временные показатели не контролировались, что приводит к вопросу о том, действительно ли процессы РП актуализировались при решении этих задач. Поэтому данные о формировании ЭПР и АПР, полученные в маршрутных задачах (Conte et al., 1995; Smyth and Waller, 1998; Garden, Cornoldi, Logie, 2002; Coluccia et al., 2008; Wen et al., 2013; Knight, Tlauka, 2017 и др.) требуют дополнительного анализа с уточнением времени выполнения задач для того, чтобы сделать более достоверные выводы о процессах формирования ЭПР и АПР в РП.

Методика «n-back» является наиболее часто используемой в современных исследованиях РП (Kane et al., 2007) и мы не можем не упомянуть ее. Участнику последовательно предъявляются стимулы, которые он должен сохранять в РП. Его задачей является определить, идентичен ли текущий стимул тому стимулу, который предъявлялся на *n* позиций раньше. Чем дальше позиции сравниваемых стимулов, тем больше ошибок совершает участник, что и является показателем объема РП. Эта методика имеет ряд ограничений для изучения зрительной РП, одно из которых связано с тем, что информация предъявляется последовательно, тогда как запоминание зрительных сцен осуществляется при помощи симультанного кодирования. Так что метод «n-

back» с нашей точки зрения не применим для изучения особенностей формирования ЭПР и АПР в РП.

Методика обнаружения зрительного сигнала (*signal detection theory (SDT)*) широко используется для оценки объема РП (Luck, Vogel, 1997). Участнику предъявляется сцена, состоящая из нескольких объектов, затем она исчезает на время, требуемое для угасания сенсорного образа (800-1000 мс), после чего сцена снова появляется, причем в ней либо все объекты и их позиции сохраняются неизменными, либо один из объектов изменяется. Участник должен сказать, было изменение в сцене или нет. Предполагается, что при увеличении количества предъявляемых объектов наблюдается увеличение ошибок, что связано с ограничением объема РП. То максимальное число объектов, которое еще не вызывает ошибки ответов и принимается за объем РП. Одна из основных проблем данной методики связана с тем, что она основана на двух базовых процессах припоминания – целостного впечатления всей сцены и локального припоминания отдельного объекта, что может приводить к искажениям в оценках объема РП (Wilken, Ma, 2004). Следует отметить, что этот прием можно использовать не как самостоятельный, а как дополнительную пространственную нагрузку в двойной задаче (Меньшикова, Савельева, Величковский, Бугрий, 2020).

Методика обнаружения изменений (*theory of change detection*) в своей начальной стадии повторяет методику обнаружения зрительного сигнала: участнику предъявляется сцена, состоящая из нескольких объектов, затем она исчезает на время, после чего сцена снова появляется, причем один из объектов (или признак объекта) сцены удален. Участника просят восстановить по памяти этот объект (или его признак), используя специальный интерфейс, позволяющий из библиотеки объектов (или признаков) выбрать нужный. Данная процедура позволяет оценить степень точности формирования ПР в РП на основе анализа стандартных отклонений оценок участника относительно правильного ответа (Wilken, Ma, 2004).

Разработка *универсальной методики оценки точности формирования ЭПР и АПР* была начата в наших предыдущих исследованиях, целью которых было изучение кратковременной памяти при помощи CAVE технологии виртуальной реальности (Saveleva et al., 2016; Меньшикова и др., 2017). Универсальность методики состоит в том, что с ее помощью можно оценивать точность как ЭПР, так и АПР, а также применять ее, создавая экспериментальные условия актуализации различных видов памяти. Также особенностью методики является возможность применять ее на выборках разных возрастов, культурных особенностей и с учетом других переменных. Единообразие процедуры делает возможным сравнение точности ЭПР и АПР, сформированные под воздействием различных факторов.

В рамках данной работы мы модифицировали разработанные нами ранее экспериментальные процедуры и создали условия для актуализации процессов формирования ЭПР и АПР в РП. Для этого мы совместили приемы изучения РП - парадигму двойной задачи, методику обнаружения изменений, а также приемы изучения ДП - методику реконструкции и методику смены точки обзора. Рассмотрим более подробно этапы разработки нашей методики.

2.3. Разработка авторской методики оценки точности пространственных репрезентаций при помощи технологий виртуальной реальности

Разработка методики оценки точности ПР была основана на ряде следующих вводных.

Мы исходили из модели мультикомпонентной РП А. Бэддели и Г. Хитча (Baddeley, Hitch, 1974). Как было показано в обзоре, основную роль в формировании ЭПР и АПР играет визуально-пространственный блокнот (ВПП) в РП, который, согласно модели РП, выполняет функцию хранения и переработки зрительной информации. В структуре ВПП были выделены две системы - визуальная и пространственная (Smith et al., 1995). Предполагается,

что они выполняют различные функции при формировании ЭПР и АПР: визуальная отвечает за процессы идентификации запоминаемых объектов, а пространственная кодирует их местоположение в пространстве (см. главу 1. 5). В нашем исследовании для изучения роли этих структур в процессах формирования ЭПР и АПР, была использована **парадигма двойной задачи**, которая неоднократно показала свою эффективность в многочисленных исследованиях РП (Величковский, 2015; Меньшикова, Савельева, Величковский, Бугрий, 2020).

Поскольку основной целью нашего исследования являлось изучение точности формирования ЭПР и АПР, в качестве второй задачи использовалась пространственная нагрузка. Идея состояла в том, чтобы предъявлять дополнительное изображение, которое необходимо держать в РП при выполнении основной задачи, чтобы после выполнения основной задачи попросить участника ответить на вопросы про характеристики дополнительного изображения. Для тестирования правильности выполнения второй задачи использовалась **методика обнаружения изменений**. Идея состояла в том, чтобы изменять (или не менять) местоположение элементов дополнительного изображения и затем тестировать влияние нагрузки при анализе ответов на вопрос о том, сместились ли элементы дополнительного изображения.

В парадигме двойной задачи принято задавать два уровня нагрузки: низкий и высокий. Сложность нагрузки варьируется при помощи количества визуально-пространственных деталей дополнительного изображения, которые требуется запомнить. Например, это может быть разное количество элементов или зрительных признаков элементов (местоположение, цвет, форма и др.). Стоит отметить, что к уровню нагрузки должны быть выдвинуты строгие требования, которые соблюдались не во всех проанализированных нами в обзоре литературы экспериментах. Высокий и низкий уровни нагрузки должны быть обоснованы предварительными экспериментами, которые показали

значимое воздействие нагрузки на точность формирования пространственных репрезентаций. Одной из таких работ явилось исследование (Knight, Tlauka, 2017). В четырех экспериментах участники изучали карту в условиях выполнения одновременно второй задачи (высокая когнитивная нагрузка), либо без нее (низкая когнитивная нагрузка). В эксперименте 1 использовалась визуально-пространственная задача, в эксперименте 2 - задача обратного счета (вербальная нагрузка), в эксперименте 3 - задача артикулярного подавления (вербальная нагрузка) и эксперимент 4 - задача n-back (нагрузка на центральный исполнитель). Формирование пространственных представлений оценивалось в двух тестах: оценке направления и картировании. Полученные данные показали, что при формировании ПР карт, испытуемые используют мультимодальную стратегию, отражающую интеграцию всех систем РП. Авторы сделали вывод о том, что любая когнитивная нагрузка на РП ухудшает эффективность обработки пространственной информации независимо от интерференционной модальности. Такой результат в целом очевиден и подтверждается данными других работ (Smyth and Waller, 1998). Следует отметить, что именно требование грамотного выбора уровня пространственной нагрузки позволит оценить вклад различных систем ВПРП в процессы формирования ЭПР и АПР.

Анализ методических проблем оценки точности формирования ПР в рабочей памяти показал, что наиболее адекватным приемом исследования можно считать **методику прямой реконструкции**, которая обладает следующими достоинствами для целей нашего исследования:

- возможность предъявления и реконструкции 3D сцен для формирования ЭПР и АПР;
- доступность моторного компонента при реконструкции;
- возможность задавать многочисленные кратковременные пробы;

- возможность совмещения с методикой изменения точки обозрения сцены, что позволяет использовать единообразную процедуру для изучения ЭПР и АПР;

- возможность регистрации количественных показателей точности формирования ЭПР и АПР в визуальной и пространственной системах РП;

- возможность создать нагрузку на ВППП в парадигме двойной задачи.

Для разработки универсальной методики прямой реконструкции пространственных репрезентаций, обеспечивающей хорошую валидность планируемого эмпирического исследования формирования ЭПР и АПР в РП, нам пришлось решить несколько методических задач, связанных с:

- 1) выбором технологии предъявления 3D сцен для запоминания и последующей реконструкции;
- 2) операционализацией эгоцентрических и аллоцентрических репрезентаций;
- 3) способом обработки данных и выбора показателей, отражающих точность формирования ЭПР и АПР;
- 4) операционализацией пространственных задач (как основных, так и дополнительных (dual task)), от которых зависит точность идентификации и локализации при формировании ЭПР и АПР.

2.3.1. Выбор технологии предъявления 3D сцен.

Целью нашего исследования является изучение особенностей, в первую очередь – точности формирования ЭПР и АПР в рабочей памяти. Для ее достижения одной из основных задач является разработка и апробация методики оценки точности формирования ЭПР и АПР. В настоящей главе мы рассмотрим приемы исследования ЭПР и АПР, сформулируем основные проблемы оценки их точности и опишем современные технологии виртуальной реальности, позволяющие более эффективно и надежно проводить эти измерения. Для решения первой методической задачи был проведен анализ литературы, показавший, что в настоящее время все больше работ по

исследованию когнитивных процессов проводится с применением систем виртуальной реальности (ВР) (Зинченко и др., 2010; Menshikova et al., 2013; Zinchenko et al., 2015; Ковязина и др., 2019; Величковский, Гусев, Виноградова, Арбекова, 2016). Результаты этих исследований показали высокую эффективность технологии ВР для изучения памяти, восприятия, внимания, социальных процессов и др. За последние 10 лет эта технология стала активно использоваться для изучения процессов формирования ЭПР и АПР. Так, например, метаанализ исследований ЭПР и АПР (Colombo et al., 2017) выявил большое число работ, использующих виртуальные среды (Rodgers et al., 2012; Goeke et al., 2015; Wiener et al., 2012; Moffat et al., 2006; Harris et al., 2012; Harris and Wolbers, 2014; Morganti and Riva, 2014), и всего одну работу, в которой в качестве стимульного материала использовалась реальная среда (Gazova et al., 2013).

Действительно, возможность фиксации точных пространственных характеристик в каждый момент времени, которую дают технологии виртуальной реальности, позволяет изучать широкий спектр психологических феноменов и конструктов. Например, в социальной психологии правила проксемического взаимодействия (установление приемлемой для данной социальной ситуации дистанции между партнерами по общению) позволяют уловить неозвучиваемые или даже неосознаваемые субъектом установки, которые опосредуют общение (Menshikova, Saveleva, Zinchenko, 2018; Menshikova, Tikhomandritskaya, Saveleva, & Popova, 2018; Зинченко, Шайгерова, Долгих, Савельева, 2019)

Повышенный интерес исследователей к применению ВР связан с большим числом преимуществ по сравнению с обычными лабораторными экспериментами (Zinchenko et al., 2015; Menshikova et al., 2013). К ним необходимо отнести:

1. экологическую валидность ВР (трехмерность, естественное взаимодействие с виртуальными объектами, мобильность наблюдателя);

2. полный контроль за параметрами виртуальной среды, так как они программируются исследователями;
3. возможность программировать большое число разнообразных задач;
4. высокую точность регистрации моторных и других реакций наблюдателя;
5. контроллеры, с помощью которых возможно манипулировать виртуальными объектами;

ВР представляет особую привлекательность для целей нашего исследования, поскольку позволяет не только предъявлять, но и затем реконструировать 3D виртуальные сцены различной сложности. Это позволяет приблизить строгие стандарты контроля переменных в лабораторном эксперименте к «дублирующему реальный мир», естественному эксперименту.

На факультете психологии МГУ в 2012 году был организован научный центр «Виртуальная реальность», в котором по программе развития МГУ были закуплены HMD шлемы и CAVE системы виртуальной реальности. В данном центре ведутся исследовательские работы в области изучения схемы тела (Меньшикова, Ковалёв, 2015), восприятия трехмерных зрительных иллюзий (Menshikova, 2013), феномена слепоты к изменениям (Гусев, Садовская, 2015), эффекту присутствия в ВР (Velichkovsky et al., 2017) и по многим другим направлениям.

Таким образом, наиболее эффективным современным инструментом можно считать технологии ВР, которые позволяют создавать экологически валидные среды и строить гибкие дизайны экспериментов.

2.3.2. Аппаратура и программное обеспечение

В нашем исследовании для предъявления 3D сцен была задействована HMD технология в виде шлема виртуальной реальности HTC Vive, которая позволяет строить гибкие условия предъявления стимуляции в сочетании с

методическими приемами прямой реконструкции, изменения точки обозрения, двойной задачи для изучения точности формирования ЭПР и АПР в РП. На рис. 5 отображен наблюдатель со шлемом HTC Vive на голове. В его руках находится контроллер для взаимодействия с виртуальной средой, с помощью которого возможно манипулировать виртуальными объектами и управлять запрограммированными задачами предъявления стимуляции. Например, на контроллере выделены кнопки, которые позволяют запускать различные экспериментальные варианты предъявления виртуальных сцен, а также запускать указания на дальнейшие действия участника.



Рис. 5. Общий вид экспериментальной установки в ходе эксперимента.

На основе программного обеспечения Unity PRO была разработана виртуальная среда, включающая библиотеку виртуальных объектов, естественное 3D виртуальное пространство, в котором предъявлялась сцена, состоящая из нескольких объектов для запоминания, и комфортный интерфейс для его реконструкции. На рис. 7б (ниже) представлен пример 3D виртуальной сцены с набором виртуальных объектов.

2.3.3. Операционализация эго- и аллоцентрических репрезентаций

Для решения второй методической задачи был проведен анализ литературы, посвященной задачам, актуализирующим формирование ЭПР или АПР (см. п 2.1). Предполагается, что в повседневной жизни при запоминании сложной стационарной или динамической сцены актуализируются оба типа репрезентаций, опосредующих процесс кодирования пространственной информации при решении текущих задач. Однако, для целей нашего исследования необходимо было разработать специальные процедуры, используя которые, мы могли бы инициировать формирование преимущественно либо ЭПР, либо АПР.

Для изучения точности формирования ЭПР использовалась классическая методика **прямой реконструкции**, согласно которой участнику предъявлялась 3D виртуальная сцена, состоящая из нескольких 3D виртуальных объектов. Участнику необходимо было запомнить объекты и их местоположение, и затем сразу после их исчезновения реконструировать сцену – при помощи контроллера взять нужные объекты из библиотеки виртуальных объектов и расставить их в виртуальном пространстве. В этой задаче начало координат, относительно которого запоминалась и реконструировалась сцена, располагалось на теле участника (эгоцентрическая система координат). Для решения этой задачи участнику давалась следующая инструкция: «Реконструируйте сцену так, как Вы ее увидели в процессе запоминания». Участнику нужно было реконструировать местоположение объектов так же, как они были расположены относительно него в процессе запоминания, что по определению задаст условия формирования ЭПР.

Для изучения точности формирования АПР мы обратились к методическому приему **изменения точки обозрения**. Был разработан модифицированный вариант, согласно которому начало координат, относительно которого реконструировалась сохраненная в памяти сцена, мысленно перемещалось в точку, находящуюся вне тела участника. Участник должен был запомнить

массив объектов и их взаимное расположение, затем мысленно представить, как бы этот массив выглядел, если бы он увидел его из другой мысленной точки обозрения, например, сверху, и затем в соответствии с мысленным образом реконструировать массив объектов, располагая их в местах, соответствующих измененной точке обозрения сцены. Инструкция для выполнения задания звучала следующим образом: «реконструировать сцену так, как если бы Вы увидели ее сверху». Предполагалось, что в данной процедуре участник запоминал сцену в эгоцентрических координатах, затем, в соответствии с задачей смены точки обозрения, перекодировал ее мысленно в аллоцентрические координаты и затем реконструировал на основе АПР.

Методический прием изменения точки обозрения позволяет надежно дифференцировать эгоцентрический или аллоцентрический тип пространственной репрезентации, задавая в инструкции систему координат для их воспроизведения.

Итак, задавалось два экспериментальных условия:

1. реконструировать сцену, выбирая объекты из библиотеки и расставляя их в виртуальном пространстве так, как они были расположены относительно участника в процессе запоминания (ЭПР);
2. реконструировать сцену в соответствии с измененной точкой обозрения, как если бы сцена обозревалась из мысленного ракурса сверху, так же выбирая объекты из библиотеки и расставляя их в виртуальном пространстве (АР).

Указание ракурса при смене точки обозрения задавалось при помощи виртуальной сцены, в которой появлялись стрелки, указывающие направление мысленного обзора (Рис. 6). Стрелка, направленная в глубину сцены, задавала эгоцентрическую систему координат, а стрелка, направленная вниз - аллоцентрическую систему.

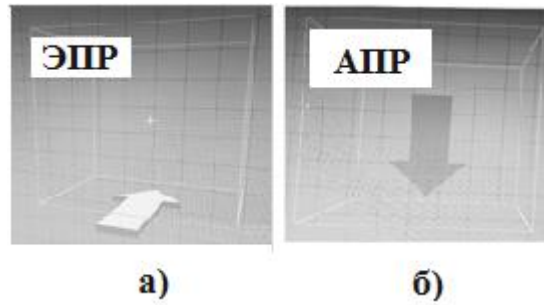


Рис. 6. Внешний вид стрелок, обозначающих ракурс реконструкции сцены при смене точки обозрения.

2.3.4. Оценка точности пространственных репрезентаций

Для решения третьей методической задачи был разработан авторский универсальный метод оценки точности формирования ЭПР и АПР, который был основан на регистрации 2 типов координат: сначала при предъявлении 3D виртуальной сцены регистрировались координаты точек локализации виртуальных объектов на стадии запоминания, а затем координаты виртуальных объектов при их реконструкции. Оценка точности реконструкции сцены проводилась интегративно на основании показателей точности идентификации объектов (этот показатель показывает объём РП), а также точности их локализации при реконструкции.

Точность идентификации объектов

В реконструированной сцене отмечалось количество правильно запомненных и реконструированных объектов, т.е. объектов, совпадающих с предъявленными для запоминания. Для каждого участника рассчитывалось число правильно реконструированных объектов отдельно по каждому экспериментальному условию (формирование ЭПР/АПР, низкая/высокая пространственная нагрузка). Затем оценивались усредненные по выборке значения в относительных единицах. Так, показатель точности идентификации 1 соответствует тому, что все объекты были запомнены верно и реконструированы точно.

Точность локализации объектов

Точность пространственной локализации предполагалось оценивать интегративным методом. Мы обратились к двум параметрам для оценки точности формирования ЭПР и АПР по локализации:

- топологический, отражающий точность реконструкции пространственной схемы, конфигурации расположения объектов;
- метрический, отражающий точное координатное местоположение объектов в сцене.

Для оценки точности локализации *в топологических единицах* сравнивались изменения попарных расстояний между виртуальными объектами. Длины этих отрезков вычислялись по стандартной формуле оценки расстояний:

$$A_1A_2 = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}.$$

Где A_1 и A_2 – точки в 3D пространстве с координатами (x_1, y_1, z_1) и (x_2, y_2, z_2) . Мы считали, что искажение структурно-топологического параметра связано с изменением пространственной конфигурации взаимного расположения объектов, которое происходит из-за существенного сдвига реконструированного местоположения объекта по одной, двум или всем трём пространственным координатам. Данный параметр рассчитывался в относительных единицах, как отношение исходного расстояния между объектами в задаче запоминания к расстоянию в задаче реконструкции. Когда исходное и реконструированное расстояния совпадают, данный параметр равен 1. Его отклонение от единицы показывает, насколько далеко сдвинулся реконструированный объект, исказив структуру конфигурации. Топология рассчитывалась для каждой пробы, а затем усреднялась по выборке отдельно для каждого экспериментального условия.

При оценке точности локализации *в метрических единицах* для каждого участника по каждой пробе рассчитывалось число объектов, реконструированных в окрестности 15 см (размер ячейки составляет 20x20x20

см) от своего эталонного местоположения при предъявлении. Этот показатель отражал, сколько объектов заняли свои исходные места. Когда исходное и реконструированное местоположение объектов совпадает или находится в близкой окрестности, данный параметр равен 1. Его отклонение от единицы показывает сколько предметов были реконструированы далеко от исходных координат предъявления. Метрика рассчитывалась для каждой пробы, а затем усреднялась по выборке отдельно для каждого экспериментального условия.

Данные по точности идентификации объектов, а также по точности их локализации в метрических и топологических единицах были переведены в относительные величины, показывающие снижение точности относительно единицы, соответствующей 100% точности.

Предыдущие исследования точности формирования ЭПР и АПР предпринимали попытки разработать математические способы оценки их точности. Так, в работе (Coluccia, 2008) в задаче запоминания и воспроизведения пространственного расположения ориентиров на карте города впервые встречается алгоритм оценки точности «абсолютных знаний об окружающей среде». Участники после изучения карты воспроизводили местоположение основных ориентиров, указывая всевозможные дистанции. По мнению авторов, даже если относительные дистанции («относительные знания об окружающей среде») воспроизведены неверно, то всё равно будет воспроизведено положение ориентира относительно структурированной системы координат. Такой алгоритм близок к нашему алгоритму оценки структурно-топологического параметра, но дальнейшего активного применения в исследовательской практике он не получил.

Итак, был разработан авторский универсальный метод оценки точности формирования ЭПР и АПР, основанный на оценке точности идентификации объектов и точности их локализации в топологических и метрических единицах.

2.3.5. Операционализация пространственных задач

Для решения четвертой методической задачи была разработана виртуальная среда и основная пространственная задача.

Общее описание виртуальной среды

Была разработана виртуальная среда, включающая библиотеку виртуальных объектов (50 штук), естественно-подобное 3D виртуальное пространство, в котором предъявлялся массив объектов для запоминания и библиотека для реконструкции конфигурации объектов при помощи контроллера. Гибкие условия управления сложностью виртуальной среды позволяли варьировать количество предъявляемых объектов (от 1 до 9 шт), время экспозиции (от 1 до 360 секунд), последовательность выполнения заданий, сложность экспериментальных условий и т.д. Конфигурация массива объектов формировалась рандомно, что обеспечивало уникальность каждой предъявляемой сцены.

Виртуальная среда представляла собой комнату 3м x 3м x 3м. Стены комнаты были окрашены в светло-серый цвет и имели текстуру, состоящую из продольных и поперечных тонких черных линий с шагом 20 см. В комнате тонкими белыми линиями был обозначен параллелепипед, в котором размещались виртуальные объекты для запоминания (рис. 7б).

Он имел размеры 1м x 1м x 0,6м, висел перед испытуемым на расстоянии 1 м на высоте 1,6 м от пола. В центре параллелепипеда находилась центральная точка – трехмерный желтый крест размером 1см x 1см x 1см. Зрительный угол параллелепипеда составлял $20^{\circ} \times 20^{\circ}$. Таким образом, в зрительную сцену были внесены дополнительные зрительные признаки (границы объема для реконструкции объектов и центральная точка), позволяющие лучше запомнить, а затем реконструировать 3D сцену.

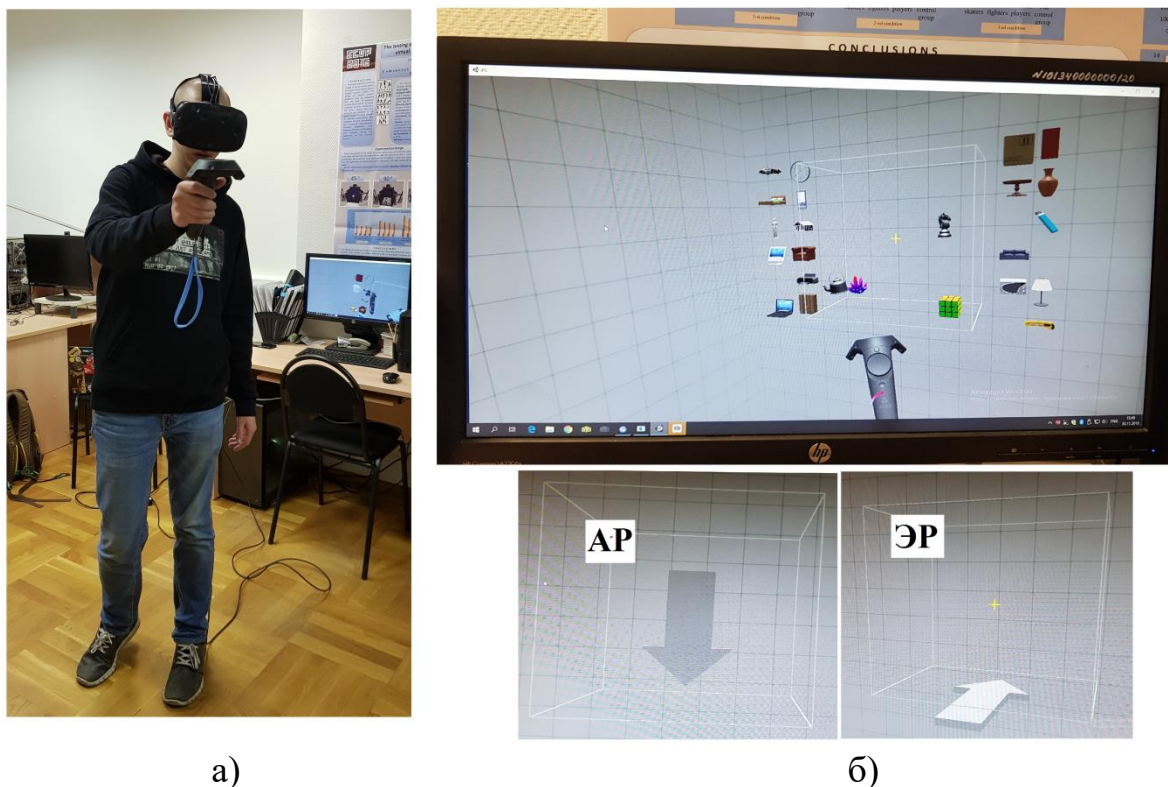


Рис. 7. а) Общий вид установки; б) наверху – вид сцены, массива виртуальных объектов; внизу – внешний вид стрелок, обозначающих ракурсы реконструкции при смене точки обозрения

Разработанная программная среда позволяла гибко менять параметры предъявления. Например, менять количество объектов в зрительной сцене от 1-го до 9-ти, задавать от 1 сек до 1 часа время их экспозиции, варьировать зрительные признаки объектов (цвет, яркость, местоположение), включать дополнительные зрительные признаки, позволяющие более точно запоминать структуру виртуальной сцены (обозначение центральной точки тестового пространства, параллелепипеда, обозначенного тонкими белыми линиями, ячеек в нем, обозначенных такими же линиями).

Была разработана библиотека виртуальных объектов (50 штук), которые представляли собой трехмерные обычные объекты: стол, шкаф, яблоко и т.д. Они имели размеры 15см x 15см x 15см и располагались так, чтобы не

заслонять друг друга в процессе запоминания. Средняя яркость объектов варьировала незначительно и составляла величину 55 кд/м²

Была запрограммирована возможность управления пространственной средой при помощи контроллера, специального прибора, который участник держал в руке и мог передвигать с его помощью объекты в виртуальном пространстве и осуществлять другие запрограммированные действия. Участник реконструировал запомненную 3D виртуальную сцену: выбирал нужные объекты из библиотеки и расставлял их в виртуальном пространстве. Также контроллер позволял участнику следить за временем выполнения пробы (на его виртуальной рукоятке был бегунок, отсчитывающий минуту) и переключаться на выполнение следующего задания.

Итак, разработанная программная среда и задействованная аппаратура позволили создать методику оценки точности ЭПР и АПР при помощи технологий виртуальной реальности с обращением к приему прямой реконструкции на основе моторной экспликации субъективной пространственной репрезентации, сформированной наблюдателем.

Тайминг проб, их количество, количество объектов в сцене и другие подробности указаны в описании экспериментов глав 3 и 4.

2.3.6. Операционализация нагрузок на пространственную систему рабочей памяти

Изучение роли пространственной системы РП в процессах формирования ЭПР и АПР связано с задачей операционализации разных типов нагрузок.

В нашем исследовании нагрузка на визуальную систему ВПРП сохранялась неизменной, поскольку количество объектов в запоминаемой сцене не изменялось. Сложность объектов рассматривалась как одинаковая, так как это культурно привычные, легко распознаваемые предметы с хорошими зрительными признаками: стол, компьютер, свеча и т.д. Нагрузка на

пространственную систему была задана при помощи основной и второй (дополнительной) задачи.

Операционализация основной задачи

Участникам ставилась задача, состоявшая в запоминании и реконструкции стационарного массива объектов в виртуальной среде. В процессе выполнения основной задачи он мог свободно и естественно совершать необходимые привычные движения, чтобы наилучшим образом запечатлеть все характеристики запоминаемой 3D сцены.

Время предъявления стационарной 3D сцены для запоминания было ограничено и составляло 2000 мс. Затем сцена исчезала и на 500 мс появлялась стрелка, задающая ракурс мысленной точки обозрения для ее реконструкции. Если она была направлена от участника в глубину, то он должен был реконструировать сцену из эгоцентрической системы координат (формирование ЭПР) (Рис.6а). Если же она была направленная сверху вниз, то он должен был мысленно переместиться в положение «сверху» и из него реконструировать сцену (формирование АПР) (Рис.6б).

Затем предъявлялась виртуальная среда, где в параллелепипеде уже не было объектов, и задачей участника было реконструировать конфигурацию объектов с учетом заданного ракурса мысленного обозрения. Для этого он должен был при помощи контроллера захватить по очереди те объекты из библиотеки, которые были ему предъявлены в основной сцене, и расставить их в нужных местах виртуального пространства. На реконструкцию сцены давалась 1 минута, бегунок в программной форме был помещен на виртуальный контроллер, чтобы участник мог следить за временем. Регистрировались координаты предъявленных для запоминания объектов, а также координаты объектов в реконструированной сцене и время реконструкции.

Операционализация второй (дополнительной) задачи

При разработке дизайна эксперимента мы планировали разработку второй задачи в 3D формате. Однако, многочисленные данные литературы показывают,

что достаточно использовать классический вариант нагрузки на визуально-пространственную систему РП в виде 2D сцены (Величковский, 2015), состоящей из нескольких квадратов, расположенных в разных позициях на плоскости. Для реализации низкого уровня нагрузки использовалось меньшее количество квадратов, для высокого уровня - большее количество квадратов.

Для предъявления дополнительной задачи использовалось изображение большого плоского квадрата бирюзового цвета с расположенными на его фоне более мелкими красными квадратами. Большой квадрат был размером 1х1 м, окрашен в светло-голубой цвет и проходил фронтально через центральную точку параллелепипеда. На плоскости были расположены красные квадраты размером 15х15 см в пределах центрального поля зрения размером 50х50 см. Время его предъявления - 500 мс. Участнику нужно было запомнить расположение квадратов. Низкий уровень пространственной нагрузки был обеспечен двумя квадратами, высокий – шестью квадратами. Количество квадратов для обеспечения уровня высокой нагрузки подбиралось в ходе предварительных опытов. Вид 2D изображения для дополнительной задачи с низкой нагрузкой приведен на Рис. 8.

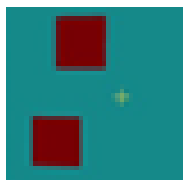


Рис. 8 Вид 2D сцены для создания низкой нагрузки на пространственную систему РП.

Сценарий чередования основной 3D сцены и дополнительной 2D сцены был следующим. Сначала на 500 мс предъявлялась дополнительная сцена (с низкой или высокой нагрузкой). Задачей участника было запомнить расположение квадратов. Затем на 2000 мс предъявлялась стационарная основная сцена. Задачей участника было запомнить объекты и их расположение. Затем снова на 500 мс появлялась дополнительная сцена с квадратами, в которой расположение квадратов могло поменяться. Участнику

нужно было нажать на кнопку контроллера, если он заметил, что расположение квадратов изменилось. В половине случаев расположение квадратов в дополнительной сцене не изменялось, а в половине – один из квадратов смещался на 15 см в случайно выбранном направлении. Участнику давалась обратная связь: если он решил задачу правильно, то сцена окрашивалась в зеленый цвет, если неправильно – в красный. Затем на 500 мс предъявлялась стрелка, указывающая ракурс реконструкции массива из новой точки обозрения сцены (Рис.7б). Затем предъявлялась виртуальная среда, где в параллелепипеде уже не было объектов, и задачей участника было реконструировать конфигурацию объектов с учетом заданной точки мысленного обозрения сцены. Для этого он должен был при помощи контроллера захватить по очереди те объекты из библиотеки, которые были ему предъявлены в основной сцене, и расставить их в нужных местах виртуального пространства. На реконструкцию сцены давалась 1 минута. Последовательность действий участника изображена на Рисунке 9.

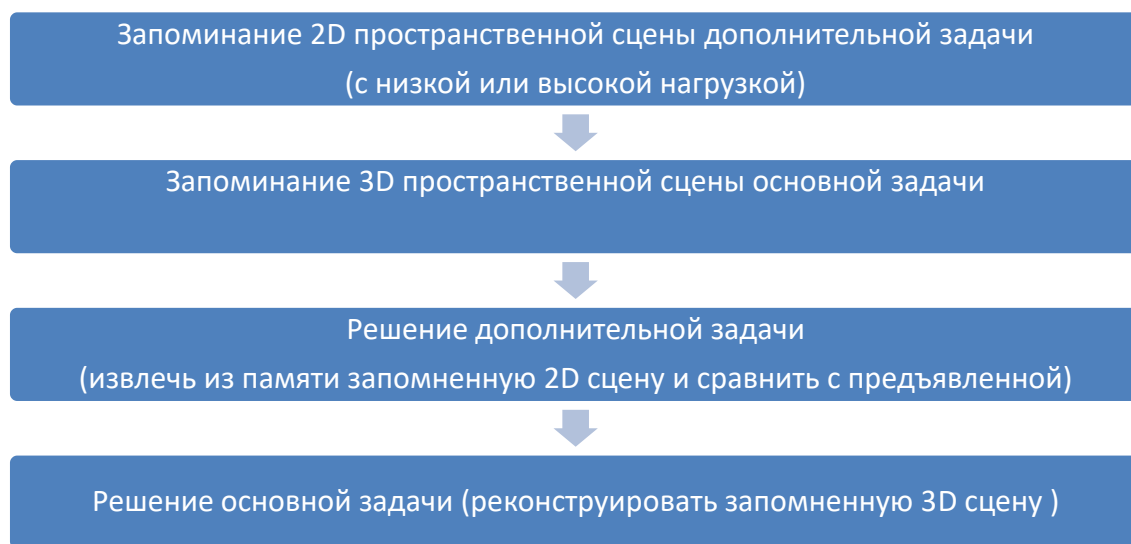


Рис. 9. Последовательность предъявления и решения основной и дополнительной задач.

Таким образом, основные методические проблемы, связанные с выбором технологии предъявления 3D сцен для запоминания и последующей реконструкции, операционализацией ЭПР и АПР, разработкой способа

обработки данных и выбора показателей, отражающих точность формирования ЭПР и АПР, а также операционализацией пространственных задач были успешно решены.

Также необходимо указать способ контроля того, что участник принял задачу и мотивирован направлять свою активность именно на ее решение, а не на формальное участие. С позиций психологической теории деятельности мы можем рассматривать формирование ПР как перцептивную задачу, ход решения которой зависит как от внутренних факторов, т.е. личностных особенностей участника, так и от внешних факторов, т.е. условий и целей пространственной задачи. Для успешного решения пространственной задачи необходима произвольная активация функции внимания, которая рассматривается В.А. Иванниковым как «временный психический орган решения текущей задачи, поставленной потребностями субъекта или принимаемой личностью как задача, обязательная для её решения» (Иванников, 2010, с. 298).

Исследуя формирование ЭПР и АПР, мы исходим из допущения принятия участниками эксперимента этих задач. Для контроля этого факта к расчету принимаются только пробы, в которых дополнительная задача о том, сместились ли красные квадраты на фоне бирюзового квадрата или их положение осталось неизменным, решается верно. Участнику дается обратная связь – вся плоскость загорается зеленым, если он правильно решил задачу и красным, если сделал ошибку.

Выводы по главе 2

Анализ методов изучения ЭПР и АПР в долговременной и рабочей памяти позволил сформулировать их основные достоинства и недостатки.

На основе проведенного анализа были сформулированы основные требования к авторской методике оценки точности формирования ЭПР и АПР в РП. К ним относятся:

- прием прямой реконструкции на основе моторной экспликации субъективной пространственной репрезентации, сформированной наблюдателем на основе образов восприятия;
- *3D формат* визуальных сцен, на основе которых формируются ЭПР и АПР;
- выбор смены точки обозрения как универсального когнитивного механизма, задействованного в процессе формирования ЭПР и АПР, и надежно инициирующего формирование ЭПР или АПР;
- многократное повторение проб, позволяющее анализировать не только ранговые, но и точные метрические показатели;
- возможность задавать дополнительную задачу для актуализации процессов рабочей памяти и варьировать нагрузку на системы РП, создаваемую этой задачей;
- гибкое изменение параметров предъявления сцены: количество объектов, статичный или динамичный характер, время экспозиции, дополнительные зрительные признаки, позволяющие более точно запоминать структуру (текстура поверхностей, обозначение центральной точки тестового пространства и т.д.);
- регистрация количественных показателей точности ЭПР и АПР (идентификации, локализации в метрических и топологических единицах) и времени реконструкции.

Разработан интегративный метод исследования точности формирования ЭПР и АПР в РП, совмещающий методики изучения РП - парадигму двойной задачи и методику обнаружения изменений, а также приемы изучения ДП – методики реконструкции и смены точки обозрения.

При использовании технологии виртуальной реальности разработана среда, позволяющая эффективно изучать процессы формирования ЭПР и АПР в РП.

Разработана авторская универсальная методика оценки точности формирования ЭПР и АПР, основанная на оценке точности идентификации

объектов и точности их локализации в топологических и метрических единицах.

ГЛАВА 3. ИЗУЧЕНИЕ ТОЧНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ЭГО- И АЛЛОЦЕНТРИЧЕСКИХ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ РЕПРЕЗЕНТАЦИЙ В РАБОЧЕЙ ПАМЯТИ

3.1. Постановка проблемы

В Главе 1 было отмечено, что изучение особенностей формирования эгоцентрических (ЭПР) и аллоцентрических (АПР) репрезентаций велось преимущественно для исследования долговременной памяти в задачах навигации. Существенно меньше работ было посвящено изучению роли рабочей памяти (РП) в процессах формирования ЭПР/АПР для решения актуальных пространственных задач. В рамках модели РП был выделен визуально-пространственный компонент (ВППП), функцией которого являлась обработка визуальной и пространственной информации (McAfoose, Baune, 2013). Было высказано предположение (Logie, 1995; Baeyens, Bruyer, 1999), что ВППП не является однородной структурой, а состоит из двух систем - визуальной (ВС) и пространственной (ПС), причем функцией ВС является идентификация объектов, т.е. распознавание и запоминание характерных зрительных признаков (яркость, форма, цвет и т.д.), а функцией ПС - локализация объектов в топологических или метрических пространственных единицах точности. Топологические единицы отражают конфигурацию объектов в сцене (справа, слева и т.д.), а метрические – точное кодирование координат объектов в пространстве.

Согласно этой модели, первоначальные процессы хранения и переработки зрительной информации происходят в ВС и ПС в ВППП. Можно предположить, что обе системы должны быть задействованы в процессах формирования как ЭПР, так и АПР. Одним из доказательств этого предположения являются данные о значимой корреляции между индивидуальными различиями в ВППП и эффективностью кодирования ЭПР и АПР (Wen, Ishikawa, Sato, 2013).

Целью нашей работы было выявить точность формирования ЭПР и АПР в ВПРП. Для этого мы предлагали участникам решить пространственные задачи по запоминанию и реконструкции пространственной сцены при помощи технологий виртуальной реальности по разработанной нами методике.

Нас интересовало несколько вопросов: во-первых, насколько точность ЭПР выше/ниже АПР в пространственных метрических и топологических единицах; во-вторых, как снижается точность их формирования под действием пространственной нагрузки на ВПРП; в-третьих, насколько быстрее или медленнее кодируется эгоцентрическая информация по сравнению с аллоцентрической в РП. Для решения этих вопросов была разработана авторская методика (см. главу 2, п. 2.3), совмещающая как методики изучения РП - парадигму двойной задачи и обнаружения изменений, а также методики изучения долговременной памяти (ДП) - реконструкции и смены точки обзора. Применение проверенных эффективных процедур к исследованию ЭПР и АПР в ДП и РП дает возможность сравнить особенности формирования пространственных репрезентаций в двух видах памяти.

Особенностью нашей методики являлось применение технологии виртуальной реальности, позволившей на основе разработанной процедуры количественно оценить точность формирования ЭПР и АПР. При этом оценка точности формирования опиралась на оценку точности локализации (пространственная система ВПРП) и точности идентификации (визуальная система ВПРП). Эффективность работы ВС ВПРП предполагалось контролировать при помощи оценки эффективности идентификации объектов, а эффективность работы ПС ВПРП – оценивая точность локализации объектов в процессе реконструкции запомненной сцены в среде виртуальной реальности.

При исследовании точности формирования ЭПР и АПР кроме эффективности идентификации нас интересовала пространственная точность, а именно насколько эффективно в РП сохраняется информация о взаимном расположении объектов (топология) и о точных расстояниях между объектами и

наблюдателем (метрика). Для изучения этого вопроса процедура эксперимента была разработана таким образом, чтобы создать нагрузку именно на пространственную систему (ПС) ВПРП, что должно было привести к снижению точности формирования как ЭПР, так и АПР. Мы ожидали, что точность локализации в метрических единицах снизится, а вот способность запечатлеть и удержать в памяти общую конфигурацию объектов в окружающем пространстве (топология), останется относительно сохранной.

Изучение точности формирования ЭПР и АПР в РП не являлось самоцелью, поскольку полученные результаты могли бы дать ответ на нескольких важных вопросов о процессах хранения и переработки зрительной информации в РП. Один из вопросов касается проблемы взаимосвязи ВС и ПС. В литературе представлены данные о независимой работе ВС и ПС (Logie, 1995; Baeyens, Bruyer, 1999; Baddeley, 2002). Мы бы хотели уточнить этот вопрос на материале формирования пространственных репрезентаций. Поскольку обе системы перерабатывают зрительную информацию, можно было бы предположить наличие взаимодействия между ними. Результаты нашего эксперимента могли бы оставить открытой для дальнейшей проверки или опровергнуть гипотезу о независимой работе ВС и ПС при формировании ПР. Емкость ВС определена в 3-4 единицы (см. обзор Величковский, 2015). Так, если точность идентификации сцены, состоящей из 4-х объектов, останется неизменной при увеличении пространственной нагрузки на ВПРП, а точность локализации будет снижаться, то это покажет независимый характер хранения и переработки зрительной информации визуальной и пространственной систем ВПРП. Если же при увеличении пространственной нагрузки на ВПРП точность идентификации тоже будет снижаться вместе со снижением точности локализации, то это покажет взаимозависимость работы ВС и ПС.

Другим интересующим нас вопросом являлся вопрос о том, насколько точнее и быстрее формируются ЭПР по сравнению с АПР в ВПРП. Полученные данные могли бы уточнить, какая из моделей формирования ПР (нисходящих

или восходящих процессов) обладает большей объяснительной силой в условиях нашей пространственной задачи. В моделях нисходящих процессов предполагается первоочередность формирования АПР (как когнитивных схем, инициирующих процессы формирования образов памяти), тогда как модели восходящих процессов предполагают первичность формирования ЭПР (приоритет сенсорных данных). Мы придерживаемся гипотезы о восходящих процессах обработки пространственной информации в пространственных задачах, решаемых в персональной зоне, вслед за аргументами о парадигме обновления (Wang, 2012). По данным о точности идентификации, локализации и времени реконструкции сцены можно оставить открытой для дальнейшей проверки или опровергнуть указанную гипотезу. В случае более быстрого и точного формирования ЭПР по сравнению с АПР можно предположить, что наши данные лучше описываются моделью восходящих процессов. Подобные выводы были получены в работе (Wen, Ishikawa, Sato, 2013), где было показано, что в процессе навигации по городу ЭПР формировались быстрее и с большей метрической точностью, и затем они являлись основой для формирования менее точных абстрактных АПР, но эти результаты относятся к внеперсональному пространству.

Еще один вопрос, который мы хотели бы уточнить: какой тип переработки информации сильнее влияет на точность формирования ПР.

Мы придерживаемся ресурсного подхода к процессам РП, несмотря на классические возражения У. Найссера о том, что наличие «центральных ограничений» в работе мозга не доказано (Найссер, 1981). Ресурсный подход к РП предполагает его ограниченность и распределение ресурса между различными когнитивными процессами, протекающими одновременно.

Современное понимание ресурсных ограничений связано с проблемой *параллельной и последовательной* переработки информации (напр., Kahneman, Treisman, 1984). На языке когнитивных метафор: если модель предполагает высокую пропускную способность/высокий уровень энергии, то потоки

информации будут обрабатываться *параллельно*, т.е. одновременно в больших количествах; если модель предполагает узкую пропускную способность/низкий уровень энергии какого-либо участка, то переработка станет последовательной. Например, как показано у Дж. Дункана (Duncan, 1984), информация о разных признаках одного и того же зрительного объекта может обрабатываться параллельно, тогда как информация об отдельных объектах – только последовательно.

Назовем *эгоцентрическим* типом переработки информации тот, который предположительно осуществляется в задаче воспроизведения только что увиденной сцены из *эгоцентрической* позиции: участник должен мысленно визуализировать сцену и затем воспроизвести ее методом реконструкции. Назовем *аллоцентрическим* типом переработки информации тот, который предположительно осуществляется в задаче воспроизведения из *аллоцентрической* позиции: участник мысленно визуализирует сцену, затем мысленно перекодирует ее из эгоцентрических в аллоцентрические координаты и затем реконструирует. Исходя из этих определений, для формирования АПР необходимо провести дополнительные операции, связанные с изменением точки обзора мысленной сцены, сформированной первоначально в эгоцентрических координатах, что затруднительно в условиях ограниченных ресурсов РП. Тогда, согласно ресурсной модели работы РП, эффективность ПБ в ВПРП должна нарушаться по-разному в зависимости от выделенных типов переработки информации. Точность локализации АПР должна снижаться значительно сильнее по сравнению с точностью локализации ЭПР в силу того, что ресурсов на вторичные процессы перекодирования эгоцентрических координат в аллоцентрические в РП не хватает.

Была сформулирована **общая гипотеза** первого эксперимента:

1. При формировании эгоцентрических и аллоцентрических пространственных репрезентаций визуальная и пространственная системы рабочей памяти работают независимо друг от друга.

И был сформулирован ряд **эмпирических гипотез**:

1) Точность идентификации объектов эгоцентрических и аллоцентрических репрезентаций одинакова.

2) Точность локализации объектов при формировании эгоцентрических репрезентаций выше по сравнению с аллоцентрическими вне зависимости от единиц измерения (топологических или метрических);

3) Время реконструкции сцены при формировании эгоцентрических репрезентаций меньше по сравнению с аллоцентрическими;

4) Пространственная нагрузка на визуально-пространственный блокнот рабочей памяти:

- не влияет на точность идентификации объектов;
- снижает точность локализации объектов в метрических единицах;
- не влияет на точность локализации объектов в топологических единицах.

3.2. Метод

Выборка

В исследовании принимали участие 35 человек (20 женщины и 15 мужчин). Средний возраст участников составил $(21,4 \pm 1,4)$ лет. Все обладали нормальным или скорректированным до нормального зрением, а также не имели нарушений вестибулярного аппарата и травм головного мозга.

Стимуляция

В качестве базовой использовалась разработанная нами программная среда, описанная в главе 2, п. 2.3. Она была модифицирована в соответствии с целями данного исследования - созданием нагрузки на пространственную систему ВПРП в РП. Для этого была разработана виртуальная среда (*основная сцена*), которая состояла из массива стационарных 3D объектов для запоминания. Также была разработана виртуальная среда (*дополнительная сцена*), которая выступала в роли второй задачи, создающей низкую и высокую

нагрузку на ВППП в РП. Основная сцена представляла собой комнату, в которой в центре находился параллелепипед, обозначенный белыми контурами (Рис. 10). Программно он был разделен на 75 ячеек, в каждый из которых мог помещаться 3D объект. В центре параллелепипеда помещался желтый крест для обозначения его центральной точки. Были разработаны 8 уникальных виртуальных сцен, каждая из которых состояла из 4 стационарных объектов, которые располагались случайно в одной из 75 ячеек. Стимульный материал в виде массива из 4-х объектов был выбран из расчета создания оптимальной нагрузки на РП (объем РП составляет 3-4 единицы).



Рис. 10. Внешний вид параллелепипеда с 4 стационарными 3D объектами.

Дополнительная сцена представляла собой фронтальную плоскость, ограниченную контурами параллелепипеда и проходящую через его центр. В качестве нагрузки на пространственную систему ВППП использовалась сцена с квадратами, расположенными на плоскости в случайных местах. В серии предварительных экспериментов были установлены низкий уровень нагрузки – 2 квадрата и высокий уровень – 6 квадратов. Плоскость размером 50x50 см была окрашена в голубой цвет, квадраты размером 15x15 см окрашены в красный цвет (Рис. 11).

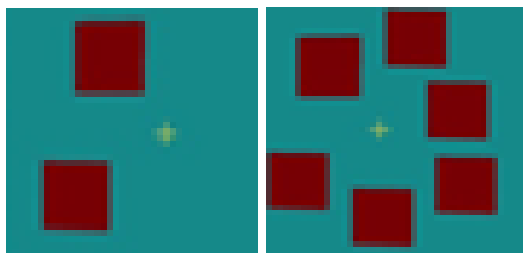


Рис. 11. Внешний вид плоскости с двумя квадратами (низкая нагрузка) и шестью квадратами (высокая нагрузка).

Аппаратура и программное обеспечение.

Виртуальные среды были разработаны на основе программного обеспечения Unity PRO и предъявлялись с помощью шлема виртуальной реальности HMD HTC Vive с контроллером. Подробное описание аппаратуры приведено в главе 2, п.2.3.2

Процедура

На начальном этапе участникам предлагалось выполнить тренировочное задание, направленное на знакомство с внешним видом виртуальной среды и контроллером, позволяющим взаимодействовать с виртуальными объектами. Среднее время знакомства составляло 3-5 мин.

Затем участникам ставилась основная задача, состоявшая в запоминании и реконструкции массива 3D объектов в виртуальной среде в условиях решения второй пространственной задачи. Участник при этом мог свободно и естественно совершать необходимые движения, рассматривая сцену, чтобы наилучшим образом запомнить все характеристики 3D сцены.

Параметры процедуры исследования (время предъявления основной и дополнительной сцен, количество проб, время реконструкции основной сцены) были подобраны в ходе нескольких предварительных экспериментов, в которых приняли участие 39 испытуемых.

На рис. 12 представлена схема одной пробы, в ходе которой участнику предъявлялась 3D сцена, которую он должен был затем реконструировать по памяти, решая по ходу дополнительную пространственную задачу. Последовательность предъявления основной и дополнительной сцен была следующей: 1) на 500 мс предъявлялась дополнительная сцена (плоскость с двумя или шестью квадратами); 2) на 10 с предъявлялась основная сцена; 3) на

500 мс предъявлялась дополнительная сцена, в которой расположение одного квадрата могло измениться; 4) на 500 мс появлялась стрелка, указывающая из какой точки обзора нужно воспроизвести основную сцену; 5) на 60 секунд предъявлялся параллелепипед без объектов, в котором нужно впоследствии реконструировать запомненную сцену из заданной точки обзора.

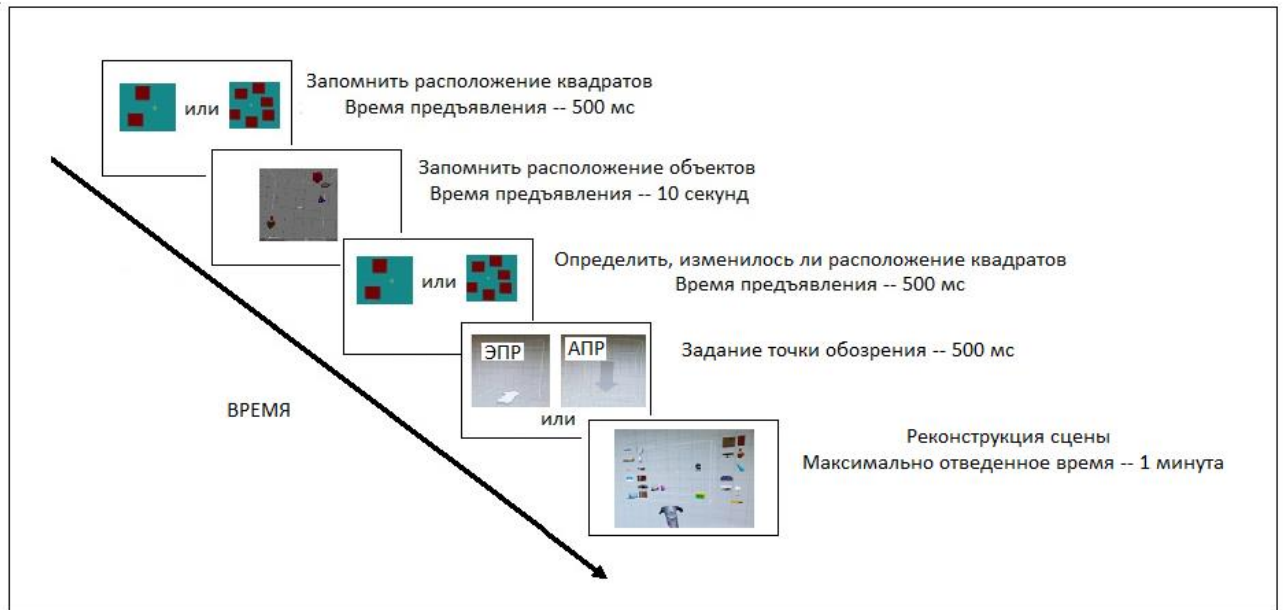


Рисунок 12. Схема пробы, в которой предъявлялась и реконструировалась по памяти статичная 3D сцена.

Инструкция формулировалась следующим образом: «Сначала Вам покажут плоскость с цветными квадратами. В одних пробах их будет два, в других - шесть. Вы должны запомнить их расположение. Затем будет предъявлена основная сцена: массив, состоящий из 4-х объектов. Ваша задача заключается в том, чтобы запомнить сами объекты, а также их локализацию в пространстве. Затем снова покажут плоскость с квадратами. Их расположение может измениться. Если хотя бы один из квадратов сместился, вам нужно нажать кнопку на контроллере. Если пространственное расположение квадратов осталось неизменным, то ничего делать не нужно. Если Вы ответили правильно, то вся плоскость на мгновение загорится зеленым цветом, если ответили неправильно, то красным. Затем перед вами появится стрелка, направление которой укажет из какой мысленной точки обзора Вы должны

реконструировать запомненную сцену: стрелка «вперед» (уходящая от Вас в глубину) означает, что надо реконструировать массив объектов так, как вы его видели при запоминании; стрелка «сверху вниз» означает, что Вы должны воспроизвести сцену из мысленной позиции сверху. Затем перед вами появится пустая сцена, в которой Вы должны реконструировать запомненную сцену при помощи библиотеки из 24 объектов. С помощью контроллера захватите те объекты, которые Вы запомнили и разместите их в пространстве в соответствии с указанной точкой обзора. Если Вы не уверены в правильности выбранных объектов или их локализации, можете сделать корректировку.

Это задание выполняется не на скорость, но мы просим выполнить задачу как можно быстрее. У вас есть минута на реконструкцию сцены. Когда Вы закончите, нажмите кнопку на контроллере для перехода к следующей пробе. Всего Вам будет показано 8 уникальных сцен».

В ходе краткой предварительной тренировки наши участники проясняли все вопросы, и к эксперименту переходили только после полного прояснения процедуры.

Таким образом, четыре сцены реконструировались из мысленной эгоцентрической точки обзора так, как она воспринималась в момент запоминания (формирование ЭПР), а остальные четыре – из мысленной аллоцентрической точки обзора так, как если бы она наблюдалась из мысленной точки обзора сверху (формирование АПР). Среди четырех сцен с одинаково заданной точкой обзора две сцены предъявлялись с низкой нагрузкой на ПБ ВПП и две - с высокой.

В целом эксперимент по реконструкции 8-ми уникальных сцен вместе с тренировкой занимал 10-12 минут, в течение которых участнику удавалось эффективно удерживать внимание на выполнении задачи.

В ходе эксперимента регистрировались:

- 1) точность идентификации объектов при формировании ЭПР и АПР,

2) X, Y и Z координаты объектов в предъявляемой и реконструированной сценах,

3) время реконструкции сцены.

По окончании эксперимента участнику задавалось несколько вопросов, целью которых было выявление стратегии запоминания объектов и их локализации.

Экспериментальными факторами исследования являлись:

➤ **Смена мысленной точки обозрения 3D сцены при реконструкции массива объектов, задаваемая стрелкой:**

- «вперед» – инициирующая формирование ЭПР;
- «сверху вниз» – инициирующая формирование АПР.

➤ **Пространственная нагрузка на ПС ВПП:**

- низкая (предъявление дополнительной сцены с 2-мя квадратами),
- высокая (предъявление дополнительной сцены с 6-ю квадратами).

Анализировались:

- ✓ точность идентификации объектов;
- ✓ точность локализации объектов (в единицах метрики и топологии);
- ✓ время реконструкции сцены.

3.3. Результаты

Участники эксперимента в целом успешно справились с задачей запоминания и реконструкции сцены, состоящей из 4-х виртуальных объектов, однако не во всех пробах им удавалось правильно решить дополнительную задачу.

Были собраны данные по 234-м пробам, из них в 68% пробах дополнительная задача с оценкой местоположения квадратов была решена правильно, а в 32% пробах - с ошибкой. В дальнейшем мы анализировали только те 159 проб, в которых дополнительная задача была решена правильно.

Отведенную на реконструкцию минуту не использовал ни один из наших участников, все заканчивали реконструкцию сцены значительно раньше. И в эгоцентрическом, и в аллоцентрическом условии сцена реконструировалась достаточно быстро: как правило, наши участники сначала выбирали из библиотеки все 4 предмета и схематично расставляли их в пространстве. Затем участники вносили правки в точное положение объектов, стараясь реконструировать их местоположение максимально близко к исходным координатам.

В результате были проанализированы: 41 ЭПР при низкой нагрузке, 38 ЭПР при высокой нагрузке, 39 АПР при низкой нагрузке и 38 АПР при высокой нагрузке.

Процедура оценки точности идентификации и локализации в метрических и топологических единицах в общем виде приведена в главе 2, п. 2.3.4. Здесь повторим ключевые моменты, конкретизируя их для сцены из 4-х объектов.

Данные по точности идентификации объектов, а также по точности их локализации в метрических и топологических единицах были переведены в относительные величины, показывающие снижение точности относительно единицы.

Точность идентификации составляет 1, если правильно выбраны из библиотеки все 4 объекта, если только 3 объекта, то – 0,75 и т.д.

Для оценки точности локализации в топологических единицах рассчитывались длины всех отрезков, соединяющих попарно объекты в сцене. Для сцены из 4-х объектов таких отрезков было 6. Затем высчитывалось отношение реконструированного расстояния к исходному. Объект мог быть поставлен как ближе к исходному положению, так и дальше, поэтому нас интересовал только сдвиг, показывающий искажение топологической информации, его величина. Сдвиг относительно единицы брался по модулю и вычитался из единицы. Полученная величина показывала точность локализации

в топологических единицах. Для каждой пробы считался средний показатель по всем 6-ти отрезкам, соединяющим объекты сцены. Далее рассчитывались усредненные по выборке показатели по интересующим экспериментальным условиям. Стоит отметить, что при умножении точности локализации в топологических единицах на 100, можно рассматривать полученную цифру как процент сохраненной топологической информации.

Точность локализации в метрических единицах рассчитывалась исходя из того, насколько точными были координаты в реконструированной сцене относительно исходных координат сцены. Здесь единица означает, что все 4 объекта заняли свои исходные или близкие к окрестности исходных координат места, если только 4 объекта попали в расчетные зоны, то точность локализации в метрических единицах составляла 0,75 и т.д..

Все статистические расчеты, которые приведены далее в тексте, сделаны в программе SPSS Statistic 22.

По каждому из четырех экспериментальных условий (точности идентификации, точности локализации в метрических и топологических единицах, а также времени реконструкции сцены) проведена проверка распределения данных на нормальность с помощью критерия Колмогорова-Смирнова. Статистические выкладки приведены в Приложении 1. Результаты проверки на нормальность распределения данных по точности идентификации, локализации и времени реконструкции указаны в Таблице 1.

Таблица 1.

Распределение данных по точности идентификации, локализации и времени реконструкции.

Экспериментальные условия	ЭПР		АПР	
	Пространственная нагрузка		Пространственная нагрузка	
	Низкая	Высокая	Низкая	Высокая
Точность идентификации	распределение отлично от нормального	распределение отлично от нормального	распределение отлично от нормального	распределение отлично от нормального
Точность локализации (в метрических единицах)	распределение отлично от нормального	распределение отлично от нормального	распределение отлично от нормального	распределение отлично от нормального

Точность локализации (в топологических единицах)	распределение отлично от нормального	<i>нормальное распределение</i>	распределение отлично от нормального	распределение отлично от нормального
Время реконструкции	распределение отлично от нормального	<i>нормальное распределение</i>	<i>нормальное распределение</i>	распределение отлично от нормального

В качестве основного метода обработки данных использовался двухфакторный дисперсионный анализ и Т-критерий Стьюдента, который заменялся или дополнялся непараметрическими методами анализа данных (критерий Манна-Уитни) в тех случаях, когда распределение данных отличалось от нормального.

Данные психологических исследований не всегда отвечают жестким требованиям применения статистических методов, поэтому в ряде случаев допускается применение методов сравнения, предназначенных для данных, соответствующих нормальному распределению, к данным, распределение которых отличается от нормального (Кричевец, Корнеев, Рассказова, 2019). Здесь и далее мы приводим статистические расчеты сразу по двум критериям, параметрическим и непараметрическим.

При проверке эмпирических гипотез 1-3 применялся двухфакторный дисперсионный анализ.

Экспериментальные переменные были распределены следующим образом:

Зависимые переменные:

- ✓ точность идентификации объектов;
- ✓ точность локализации объектов (в единицах метрики и топологии);
- ✓ время реконструкции сцены.

Независимые переменные:

➤ Фактор 1 – смена мысленной точки обозрения 3D сцены при реконструкции массива объектов, задаваемая стрелкой на двух уровнях:

- «вперед» – инициирующая формирование ЭПР;
- «сверху вниз» – инициирующая формирование АПР.

➤ *Фактор 2 – пространственная нагрузка на ПС ВППП, задаваемая на двух уровнях:*

- низкая (предъявление дополнительной сцены с 2-мя квадратами),
- высокая (предъявление дополнительной сцены с 6-ю квадратами).

Статистические расчеты двухфакторного дисперсионного анализа приведены в Приложении 2.

Двухфакторный дисперсионный анализ показал, что:

- *фактор смены мысленной точки обозрения (ЭПР или АПР) оказал статистически значимое влияние на процессы формирования ПР ($F=149, p \leq 0,001^{**}$);*
- *фактор пространственной нагрузки (низкой или высокой) оказал статистически значимое влияние на процессы формирования ПР ($F=149, p=0,05^{*}$);*
- *взаимодействия факторов выявлено не было ($F=149, p=0,434$).*

Оба фактора оказали существенное влияние на формирование пространственных репрезентаций. Проведено более детальное сравнение средних показателей точности идентификации, локализации и времени реконструкции сцены параметрическими и непараметрическими методами. Статистические расчеты представлены в Приложении 2, а результаты представлены в Таблице 2.

Таблица 2.

Средние значения A и среднеквадратичные отклонения точности идентификации, локализации и времени реконструкции при сравнении процессов формирования ЭПР и АПР.

Низкая нагрузка	Тип пространственных репрезентаций				U- критерий Манна - Уитни	p	T- критерий Стьюдента	p
	ЭПР		АПР					
	N	A	N	A				
Точность	41	0,99±0,05	39	0,98±0,07	777	0,605	-0,514	0,609

идентификации								
Точность локализации (в метрических единицах)	41	0,65±0,32	39	0,36±0,31	419,5	0,001**	-4,083	0,001**
Точность локализации (в топологических единицах)	41	0,83±0,11	39	0,77±0,09	472	0,002*	-2,571	0,012*
Время реконструкции, сек	41	30,8±13,4	39	40,9±13,8	478	0,002*	3,314	0,001**
Высокая нагрузка	Тип пространственных репрезентаций				U- критер ий Манна - Уитни	p	T- крите рий Стью дента	p
	ЭПР		АПР					
	N	A	N	A				
Точность идентификации	38	0,97±0,09	38	0,94±0,12	662,5	0,344	-1,085	0,281
Точность локализации (в метрических единицах)	38	0,46±0,32	38	0,32±0,20	522	0,031*	-2,363	0,021*
Точность локализации (в топологических единицах)	38	0,81±0,08	38	0,77±0,08	492	0,017*	-2,587	0,012*
Время реконструкции, сек	38	34,5±13,9	38	41,0±12,0	503	0,023*	2,184	0,032*

Примечание: N — количество проб по всей выборке, A — среднее значение, U — критерий Манна-Уитни, T — критерий Стьюдента, p - уровень статистической значимости, * — статистическая значимость (p=0,001-0,05), ** — статистическая значимость (p≤0,001)

Сравнение точности идентификации ЭПР и АПР не выявило значимых различий и для условия низкой нагрузки (U=777, p=0,605; F=-0,514, p=0,609) и для условий высокой нагрузки (U=622,5, p=0,344; F=-1,085, p=0,281). Участники в целом точно идентифицировали все 4 объекта пространственной сцены. В редких случаях при выполнении наиболее сложной задачи с высокой нагрузкой и сменой точки обозрения точность идентификации ухудшалась до величины 0,75 (идентификация 3-х объектов). Полученные данные согласуются и с самоотчетами участников: большинство из них на вопрос о том, сколько объектов удавалось уверенно запомнить, ответили «четыре».

Точность идентификации остается стабильно высокой при переходе от эгоцентрического условия к аллоцентрическому.

Результат графически отражен на диаграмме (рис. 13), отражающей точность идентификации объектов при формировании ЭПР (столбики в ромб-штриховке) и АПР (серые столбики) при низкой (слева) и высокой (справа) пространственной нагрузке на ВПРП.

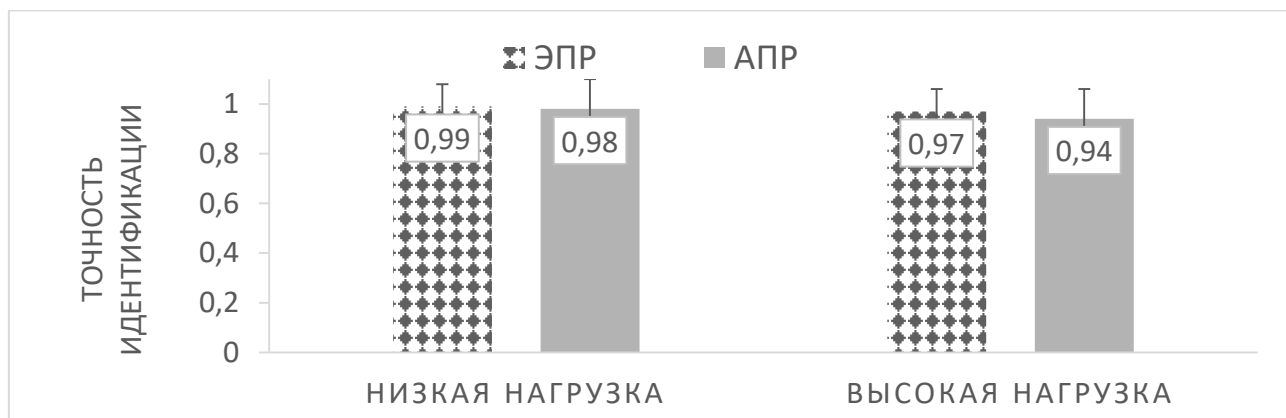


Рис. 13. Точность идентификации объектов при формировании ЭПР (столбики в ромб-штриховке) и АПР (серые столбики) при низкой (слева) и высокой (справа) пространственной нагрузке на ВПРП.

Итак, наша первая эмпирическая гипотеза подтвердилась: точность идентификации объектов при формировании ЭПР и АПР одинакова и остается стабильно высокой.

Проведено сравнение средних показателей точности локализации параметрическими и непараметрическими методами.

Из Таблицы 2 видно, что смена точки обозрения с эгоцентрического на аллоцентрический ракурс значительно ухудшила точность локализации объектов как для низкой, так и для высокой нагрузки на ВПРП.

Точность локализации ЭПР значительно выше точности локализации АПР вне зависимости от того, в каких единицах проводилось измерение точности локализации — в метрических или топологических. Для условий оценки точности в метрических единицах было показано, что точность формирования

ЭПР значительно выше точности формирования АПР. При низкой нагрузке точность ЭПР составила ($0,65 \pm 0,32$), что статистически значительно выше точности АПР ($0,36 \pm 0,31$) ($U=419,5$, $p \leq 0,001^{**}$; $F=-4,083$, $p \leq 0,001^{**}$). При высокой нагрузке точность ЭПР составила ($0,46 \pm 0,32$), что статистически значительно выше точности АПР ($0,32 \pm 0,20$) ($U=522$, $p=0,031^{*}$; $F=-2,363$, $p=0,021^{*}$).

Аналогичные результаты были показаны и для условий оценки точности в топологических единицах: точность ЭПР была значительно выше точности АПР. При низкой нагрузке точность ЭПР составила ($0,83 \pm 0,11$), что статистически значительно выше точности АПР ($0,77 \pm 0,09$) ($U=472$, $p=0,002^{*}$; $F=-2,571$, $p=0,012^{*}$). При высокой нагрузке точность ЭПР составила ($0,81 \pm 0,08$), что статистически значительно выше точности АПР ($0,77 \pm 0,08$) ($U=492$, $p=0,017^{*}$; $F=-2,587$, $p=0,012^{*}$).

Эти результаты представлены на диаграммах (Рис.14) отдельно для метрических и топологических единиц измерения. На правой диаграмме показана точность локализации в метрических единицах при формировании ЭПР (черные столбики) и АПР (серые столбики) в условиях низкой и высокой нагрузки на ВПРП. На левой диаграмме точность локализации представлена в топологических единицах.

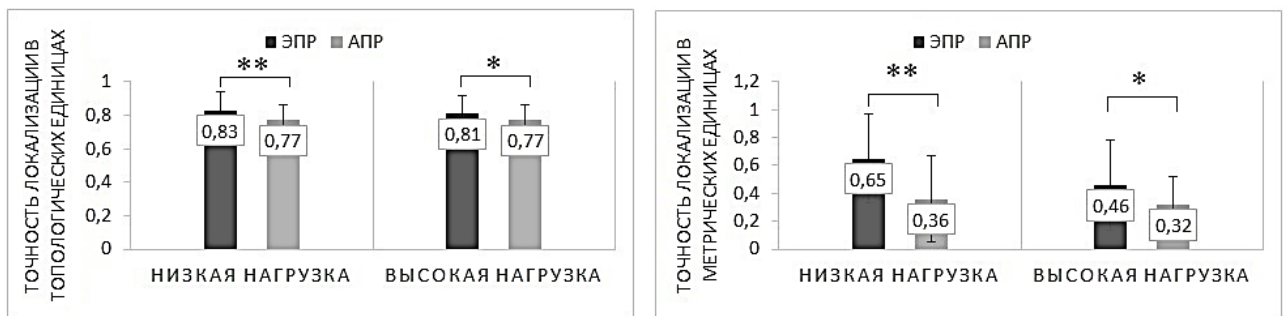


Рис. 14. Точность локализации объектов при формировании ЭПР (черные столбики) и АПР (серые столбики) в метрических (справа) и топологических (слева) единицах при низкой и высокой пространственной нагрузке на ВПРП.

Наша вторая эмпирическая гипотеза также подтвердилась: точность локализации при формировании ЭПР выше по сравнению с точностью

локализации АПР вне зависимости от единиц измерения (топологических или метрических).

Затем был проведен анализ усредненного по всей выборке времени, которое было затрачено на реконструкцию сцены при формировании ЭПР (наклонная штриховка) и АПР (горизонтальная штриховка) при низкой (слева) и высокой (справа) нагрузке на ВПРП (Рис.15). На реконструкцию ЭПР уходило значительно меньше времени, чем на реконструкцию АПР как при низкой пространственной нагрузке: ($30,8 \pm 13,4$) секунд для ЭПР, что меньше, чем ($40,9 \pm 13,8$) для АПР ($U=478$, $p=0,002^*$; $F=3,314$, $p \leq 0,001^{**}$); так и при высокой нагрузке: ($34,5 \pm 13,9$) секунд для ЭПР, что меньше, чем ($41,0 \pm 12,0$) для АПР ($U=503$, $p=0,023^*$; $F=2,184$, $p=0,032^*$).



Рис. 15. Время реконструкции ЭПР (наклонная штриховка) и АПР (горизонтальная штриховка) при низкой (слева) и высокой (справа) нагрузке на ВПРП.

Третья эмпирическая гипотеза также подтвердилась: время реконструкции сцены при формировании ЭПР меньше по сравнению с АПР.

Последняя эмпирическая гипотеза предполагала, что пространственная нагрузка на ВПРП не влияет на точность идентификации, снижает точность локализации в метрических единицах и не влияет на точность локализации в топологических единицах.

Зависимые переменные:

- ✓ точность идентификации объектов;
- ✓ точность локализации объектов (в единицах метрики и топологии);

Независимая переменная:

- *пространственная нагрузка на ПС ВПРП*, задаваемая на двух уровнях:
 - низкая (предъявление дополнительной сцены с 2-мя квадратами),
 - высокая (предъявление дополнительной сцены с 6-ю квадратами).

Статистические расчеты приведены в Приложении 2.

Проведено сравнение средних показателей точности идентификации и локализации (в единицах метрики и топологии) параметрическими и непараметрическими способами в двух группах (ЭПР и АПР).

Точность идентификации ЭПР и АПР осталась стабильно высокой (4 объекта в сцене) вне зависимости от уровня пространственной нагрузки.

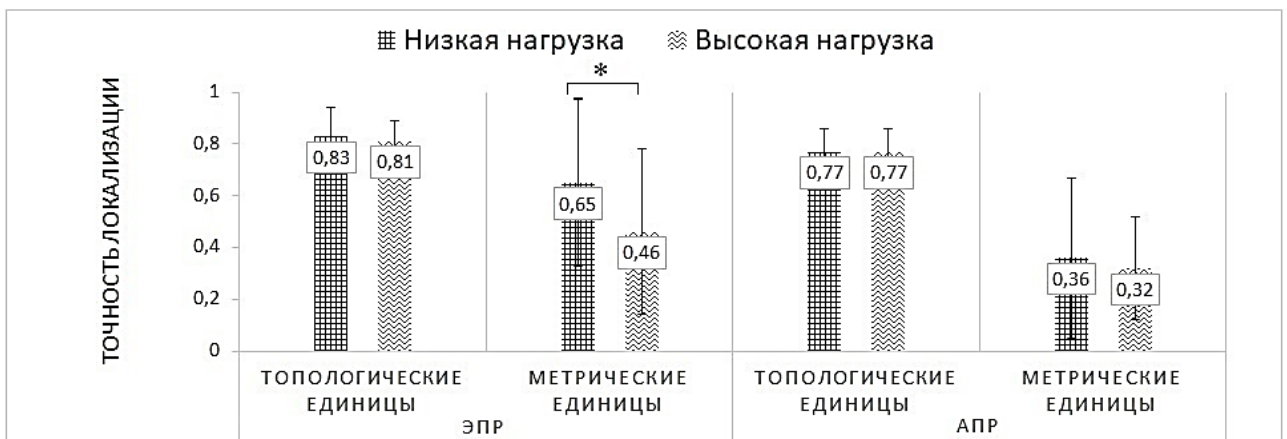
Расчеты показывают, что введение пространственной нагрузки на ВПРП незначительно снижает точность идентификации ЭПР: с $(0,99 \pm 0,05)$ до $(0,97 \pm 0,09)$ ($U=714,5$, $p=0,199$; $F=1,270$, $p=0,209$) и точность идентификации АПР: с $(0,98 \pm 0,07)$ до $(0,94 \pm 0,12)$ ($U=640,5$, $p=0,091$; $F=1,769$, $p=0,082$).

Введение пространственной нагрузки на ВПРП существенно сильнее снижает точность локализации ЭПР в метрических единицах: с $(0,65 \pm 0,32)$ до $(0,46 \pm 0,32)$ ($U=528$, $p=0,012^*$; $F=2,591$, $p=0,011^*$), в то время как точность локализации ЭПР, измеренной в топологических единицах незначительно снизилась без достижения уровня статистической значимости: с $(0,83 \pm 0,11)$ до $(0,81 \pm 0,08)$ ($U=625$, $p=0,131$; $F=0,593$, $p=0,555$).

Полученные данные показывают, что топологическая информация о конфигурации сцены в меньшей степени подвержена влиянию пространственной нагрузки, так как является базовой для формирования представлений о пространстве.

Введение пространственной нагрузки показывает снижение точности локализации АПР только в метрических единицах: с $(0,36 \pm 0,31)$ до $(0,32 \pm 0,20)$, но не в топологических единицах – $(0,77 \pm 0,09)$ и $(0,77 \pm 0,08)$, что в целом ниже аналогичных показателей для ЭПР. Однако, особенность влияния пространственной нагрузки для АПР заключается в том, ее увеличение не сказывается на показателях точности локализации на статистически значимом уровне. Так, сравнение точности АПР для высокой и низкой нагрузки не выявило статистически значимых различий ни в топологических единицах ($U=699$, $p=0,669$; $F=0,133$, $p=0,895$), ни в метрических единицах ($U=695$, $p=0,626$; $F=0,725$, $p=0,471$).

На диаграмме (рис. 16) показаны точность локализации при формировании ЭПР (рис. 16а) и АПР (рис. 16б) в топологических и метрических единицах при низкой (столбики со штриховкой в клетку) и высокой (столбики с волнистой штриховкой) пространственной нагрузке на ВПП. Эти данные соответствуют значениям, приведенным на Рис.14 (сравнение точности локализации ЭПР и АПР), но на Рис.16 они представлены в виде, удобном для сравнения показателей точности локализации при низкой и высокой нагрузке на ВПП.



а)

б)

Рис. 16. Точность локализации объектов при формировании ЭПР (а) и АПР (б) в топологических и метрических единицах при низкой (столбики со штриховкой в клетку) и высокой (столбики с волнистой штриховкой) пространственной нагрузке на ВПРП.

Повышение пространственной нагрузки для формирования ЭПР приводит к тому, что испытуемые в целом правильно реконструируют в пространстве координаты уже не 3-4 объектов, а в ряде проб только 2-х объектов. При этом точность ЭПР в топологических единицах при высокой пространственной нагрузке остается достаточно высокой. Для формирования АПР увеличение пространственной нагрузки приводит к еще более резкому снижению точности в метрических единицах и к незначительному – в топологических единицах.

При этом отмечается, что для АПР данные точности локализации при низкой и высокой нагрузке перестают различаться между собой. С нашей точки зрения, это можно объяснить значительно более сильным влиянием на точность АПР фактора смены точки обозрения. Задача пересчета пространственных отношений между объектами сохраненной в памяти сцены в условиях ресурсного ограничения РП настолько сложна по сравнению с задачей запоминания дополнительной сцены, что последняя уже никак не сказывается на результирующей точности локализации ПР.

В целом, мы можем говорить о том, что точность ЭПР в метрических единицах для ближнего пространства выражено ухудшается, если нужно одновременно решать другие пространственные задачи. При этом задача запоминания дополнительной сцены снижает точность значительно меньше по сравнению с задачей смены точки обозрения.

Для АПР в метрических единицах снижение точности еще более выражено, однако значения не зависят от того, низкая или высокая нагрузка

дается в качестве второй задачи. Это говорит о том, что метрические показатели АПР формируются крайне неточно.

При этом точность локализации ЭПР и АПР в топологических единицах остается относительно сохранной для любых пространственных задач, т.е. память на конфигурацию объектов в сцене не зависит ни от точки обзора, ни от сложности дополнительных задач.

Наша четвертая эмпирическая гипотеза подтвердилась: пространственная нагрузка на ВПРП не влияет на точность идентификации, снижает точность локализации в метрических единицах и не влияет на точность локализации в топологических единицах.

Также мы можем говорить о подтверждении теоретической гипотезы о том, что при формировании эгоцентрических и аллоцентрических пространственных репрезентаций визуальная и пространственная системы рабочей памяти работают независимо друг от друга. Наши данные показали, что увеличение пространственной нагрузки никак не влияет на эффективность работы визуальной системы.

3.4. Обсуждение результатов

Согласно модели А. Бэддели (Baddeley, 1986, 2000), пространственная нагрузка оказывает влияние на эффективность работы пространственной системы (ПС) в ВПРП. Наши результаты показали, что при низкой нагрузке на ПС основная задача реконструкции 3D сцены по памяти успешно решалась, причем в большей степени успешно для точности реконструкции в топологических единицах по сравнению с точностью в метрических единицах. Это показывает, что ЭПР и АПР формируются уже на самых ранних этапах в ВПРП. Сниженные относительно 1 (абсолютная точность) показатели точности ЭПР (0,65) и АПР (0,46) в метрических единицах показывают, что пространственная нагрузка на ВПРП оказывает существенное влияние на точность формирования ПР. То, что нагрузка действительно оказала влияние на

точность ЭПР и АПР подтверждается фактом того, что для анализа были приняты только те пробы, в которых дополнительная задача была решена верно. Верное решение дополнительной задачи явилось индикатором того, что она сработала в качестве дополнительной нагрузки, что и повлияло на снижение точности ЭПР и АПР, оцененной в метрических единицах.

Согласно модели А. Бэддели (Baddeley, 2000), визуальная система (ВС) ВПРП отвечает за идентификацию объектов в сцене, и в соответствии с этой выполняемой задачей работает независимо от ПС ВПРП. В нашем исследовании нагрузка на ВПРП носила пространственный характер. Исходя из гипотезы независимости работы ВС и ПС, мы ожидали, что идентификация объектов в процессе воспоминания останется сохранной вне зависимости от пространственной нагрузки. Наши результаты показали, что идентификация объектов при формировании ЭПР и АПР не вызывала затруднений у участников, 4 (в редких случаях 3) объекта опознавались легко. Этот результат совпадает с данными об объёме рабочей памяти в 3-4 элемента, что неоднократно подтверждалось в многочисленных экспериментах (Cowan, 2001; Величковский, 2015). Также этот результат подтверждает гипотезу о независимости ВС и ПС в ВПРП.

Ранее было показано, что время формирования ЭПР и АПР не различается (Ruotulo, 2019). Однако, эти результаты были получены на 2D материале, в то время как мы использовали легко узнаваемые, знакомые участникам 3D объекты, насыщенные зрительными признаками, что позволяет считать наш результат о том, что ЭПР формируются быстрее, чем АПР, более достоверным.

Получены статистически значимые различия, свидетельствующие о более точной метрике в ЭПР, чем в АПР. В целом, этот результат согласуется с линией исследований, в которой ЭПР ближнего пространства формируются с точной метрикой (Ruotulo, 2019).

Полученные нами данные позволяют обсудить проблемы формирования пространственных репрезентаций в РП.

Во-первых, характеристики ЭПР и АПР, сформированные в ВПРП, подобны характеристикам ЭПР и АПР, о которых сообщается в исследованиях долговременной памяти (ДП). Действительно, как для ДП, так и для РП топологические характеристики ментального образа остаются сохранными, тогда как более точная информация о метрике в значительной степени теряется. Это показывает, что ЭПР и АПР в ВПРП имеют тенденцию формироваться схематично (с сохранением конфигурации объектов сцены), что характерно и для феноменов ДП - для пространственной ДП, а также для вербальной ДП, и что хорошо согласуется с теорией схем Ф. Бартлетта (Wagoner, 2013). Эти данные позволяют высказать предположение о взаимодействии РП и ДП при формировании ЭПР и АПР. В соответствии с классическими моделями когнитивной памяти (Аткинсон, 1980), можно предположить, что пространственные репрезентации (в особенности, ЭПР) изначально формируются в рамках ВПРП (топологически более точно и метрически менее точно), а затем в аналогичном виде сохраняются в ДП. Это предположение смещает интерес исследований ЭПР/АПР не на материале феноменов ДП, а в сторону изучения начального процесса их формирования в РП. Вопрос об особенностях трансформации каждой из репрезентаций при сохранении в ДП остается открытым. Полученные данные показали, что АПР формируются менее успешно уже на самых ранних этапах обработки пространственной информации в РП в силу того, что для их формирования необходимо мысленно провести сложные пространственные преобразования. Это может проявиться в том, что они будут формироваться более схематично и абстрактно. Такой характер формирования АПР был отмечен и при изучении ЭПР и АПР в ДП (Röhrich et al., 2014). Таким образом, наши результаты подтверждают однотипность психологических механизмов формирования ЭПР /АПР в долговременной и рабочей памяти.

Во-вторых, полученные данные показали более высокую эффективность ЭПР при формировании пространственной информации в системе ВПРП. Этого можно было ожидать, поскольку ЭПР, по определению, формируются на основе сенсорных данных, что обеспечивает более точную копию воспринимаемой сцены. Это хорошо согласуется с идеей того, что хранилище ВПРП в большей степени организовано на основе зрительного восприятия по сравнению с ДП, где хранилище организовано по семантическому принципу (например, Tulving, 1972). Полученные данные отражают формирование не только ЭПР, но и гораздо более абстрактных АПР в ВПРП. Это означает, что хранилище ВПРП формируется не только на основе сенсорной информации, но и включает обработку мультимодальной и абстрактной информации (Baddeley, 2012; Величковский, 2015). Данные о более высокой эффективности ЭПР по сравнению с АПР в условиях ограниченного времени функционирования процессов ВПРП могут свидетельствовать о том, что, во-первых, процессы АПР формируются на основе ЭПР (т.е. являются вторичными) и, во-вторых, процессы формирования АПР существенно более сложные и требуют большего времени обработки информации. Эти предположения подтвердились в нашем исследовании, где было показано, что время реконструкции ЭПР существенно ниже времени реконструкции АПР. Изучение процессов формирования АПР в ВПРП требует дальнейших экспериментальных исследований, в которых при использовании парадигмы двойной задачи можно манипулировать временными интервалами предъявления стимулов, что должно отразиться в точности формирования АПР.

В-третьих, выявлено, что точность формирования АПР в ВПРП существенно сильнее зависит от сложных задач. Так, мало меняющиеся значения АПР для условий низкой и высокой нагрузки показывают, что фактор смены точки обозрения оказывает значительно более сильное воздействие на точность формирования АПР по сравнению с фактором дополнительной пространственной задачи. В условиях ресурсного ограничения РП задача

мысленного перекодирования сохраненной в памяти сцены настолько сложна по сравнению с задачей запоминания дополнительной сцены, что последняя уже никак не сказывается на результирующую точность формирования ПР. Эти данные хорошо согласуются с результатами исследований других авторов, например, с данными изучения когнитивных карт пространства с дополнительными визуальными, вербальными и пространственными помехами (Wen, Ishikawa, Sato, 2013).

В-четвертых, обнаруженная в нашем исследовании стабильность точности формирования ЭПР и, особенно АПР, показывает преемственную связь модели РП с психолингвистическими моделями формирования пространственных представлений С. Левинсона (Levinson 2003; 1996) и Ж.Пиаже (Piaget, 1954; Piaget, Inhelder, 1966, 1983), в которых указывается первичное формирование приблизительной топологической карты, на основе которой потом формируются более точные метрические ЭПР и АПР. Действительно, наши данные показывают, что наиболее точными в процессах формирования ПР являются топологические ЭПР и АПР, причем эти ПР являются наиболее устойчивыми к пространственным нагрузкам. Таким образом, психологические механизмы формирования, удержания и переработки пространственной информации в РП связаны с формированием топологической аллоцентрической информации.

Взяв за основу мультикомпонентную модель РП А. Бэддели (Baddeley, 2012), мы модифицировали ее для интерпретации полученных нами данных по формированию ЭПР и АПР в ВПРП. Согласно А. Бэддели, ВПРП решает две важные задачи: идентификацию объектов, которая обеспечивается визуальной системой (ВС), и сохранение информации о локализации, за которую отвечает пространственная система (ПС). На основе полученных нами данных можно предположить, что сама ПС не является однородной структурой, а состоит из двух подсистем, одну из которых мы обозначили как метрическую пространственную систему (МПС), отвечающий за сохранение информации о положении объектов относительно наблюдателя, тогда как другая —

топологическая пространственная система (ТПС), сохраняющий информацию об общей конфигурации объектов, т.е. о взаимных расстояниях между объектами безотносительно положения наблюдателя.

Модель отражает процесс формирования ЭПР и АПР на основе поступающей информации от разных систем и подсистем ВПРП (Рис.17). В ней представлены системы ВС и ПС (состоящий из ТПС и МПС), задачами которых является идентификация и локализация объектов 3D сцены. Согласно нашей модели, формирование ЭПР является основной задачей ВПРП, поэтому первоначально кодируется эгоцентрическая информация об объектах и их локализации относительно друг друга (топология) и относительно наблюдателя (метрика). На основе интеграции информации, поступающей из ВС, ТПС и МПС формируется ЭПР - мысленный образ 3D сцены, визуализированный из позиции наблюдателя. Эта модель позволяет объяснить процессы более точного и быстрого формирования ЭПР по отношению к АПР. Во-первых, процессы формирования ЭПР первичны, а, во-вторых, именно ЭПР отвечает задачам РП, поскольку именно эгоцентрическая информация в большей степени необходима для выполнения текущих задач. В пользу первичности формирования ЭПР свидетельствуют и данные о времени реконструкции ЭПР, которое значительно меньше времени реконструкции АПР.

Затем ЭПР перекодируется в АПР - мысленный образ 3D сцены, визуализированный из любой другой позиции в зависимости от мысленной точки наблюдения. В силу того, что процессы формирования АПР вторичны, а также в силу того, что АПР сохраняются в ДП в виде упрощенных схем, точность их формирования должна быть существенно ниже точности формирования ЭПР. Именно эти данные и были получены в нашем эксперименте, где было показано значимое снижение точности формирования АПР вне зависимости от пространственной нагрузки на ВПРП.

ВИЗУАЛЬНО-ПРОСТРАНСТВЕННЫЙ БЛОКНОТ РАБОЧЕЙ ПАМЯТИ (ВПРП)

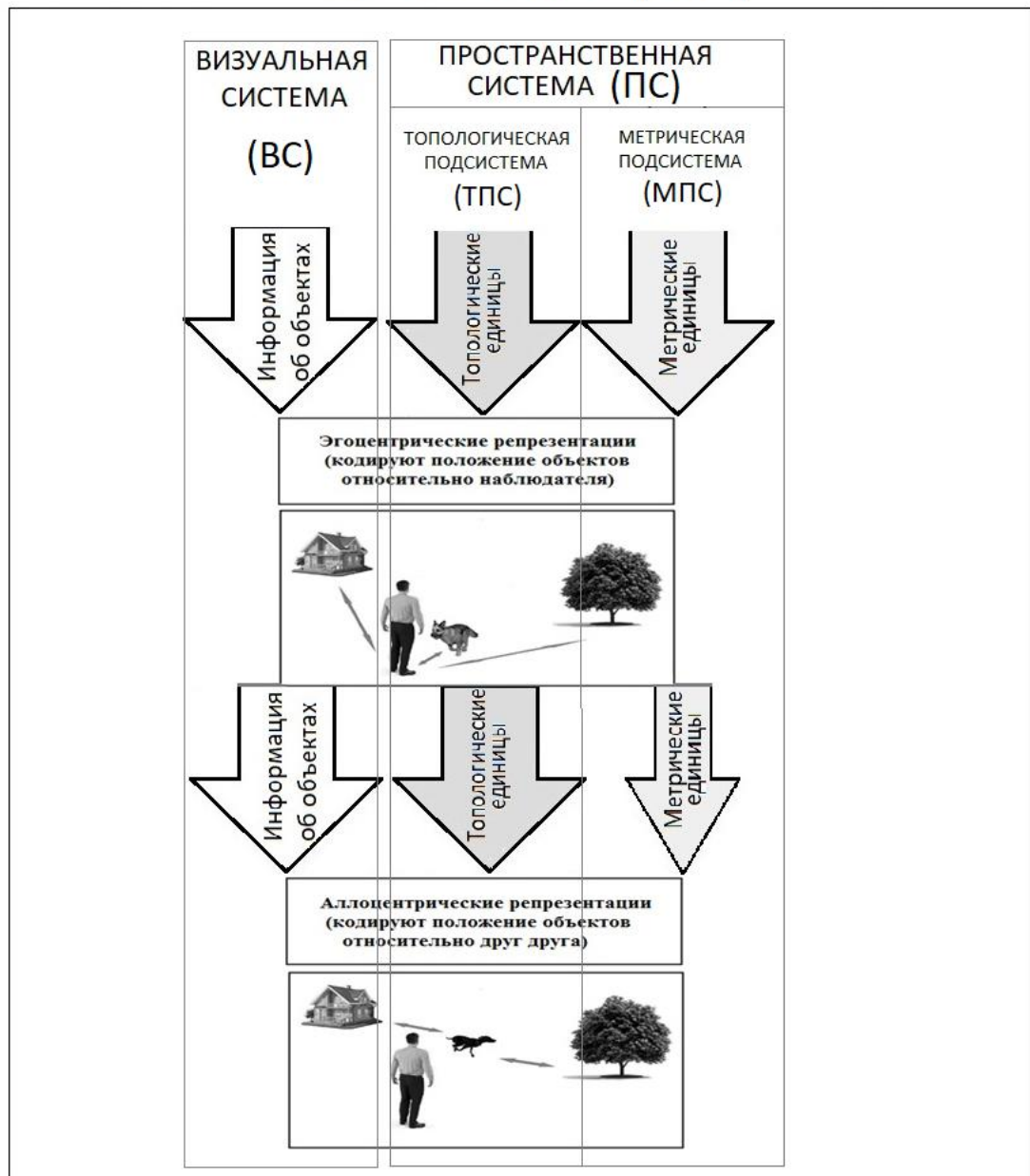


Рис. 17. Модель формирования ЭПР и АПР в ВПРП.

Примечание: ВПРП — визуально-пространственный блокнот рабочей памяти, ВС — визуальная система, кодирующая информацию об идентификации объектов, ПС — пространственная система, кодирующая информацию о локализации объектов, ТПС — подсистема в составе ПС, кодирующая топологическую информацию, МПС — подсистема в составе ПС, кодирующая метрическую информацию.

Полученные нами данные позволили уточнить структуру ВПРП: были выделены МПС и ТПС, которые кодируют разные типы пространственной информации — метрическую и топологическую. Это позволило изучить вопрос

о том, в какой степени увеличение пространственной нагрузки будет сказываться работе МПС и ТПС. Наши данные показали значимое снижение точности локализации при формировании ЭПР и АПР в метрических единицах, и незначительное снижение в топологических единицах. Эти результаты позволяют высказать предположение о перераспределении сохранения пространственной информации при увеличении пространственной нагрузки на ВПРП: наиболее существенные потери пространственной информации происходят при кодировании метрических отношений, в то время как данные о топологических отношениях сохраняются весьма эффективно.

Увеличение пространственной нагрузки никак не отразилось на эффективности работы визуальной системы, что указывает на независимость работы визуальной и пространственной систем и параллельный характер обработки визуальной и пространственной информации в РП.

При этом, данные показали, что увеличение пространственной нагрузки сказывается работе МПС и ТПС: отмечено значимое снижение точности локализации при формировании ЭПР и АПР в метрических единицах, и незначительное снижение в топологических единицах. Данная модель позволяет объяснять влияние пространственной нагрузки на основе перераспределения ресурса для сохранения наиболее важной пространственной информации: при нагрузке информация о конфигурации объектов сцены важнее, поэтому она остается сохранной, а наиболее существенные потери информации происходят при кодировании метрических отношений.

В целом полученные нами эмпирические данные, а также предложенная нами модель ВПРП, модифицированная на основе модели А. Бэддели, позволяют обсуждать широкий круг фундаментальных теоретических проблем функционирования РП, а также разрабатывать новые исследовательские парадигмы для изучения ее когнитивной архитектуры.

Однако кроме когнитивного подхода, можно обратиться к другим психологическим направлениям, позволяющим выйти на более высокий уровень обобщения при интерпретации полученных эмпирических данных.

А.Н. Леонтьев прямо пишет о том, что психический образ (мы можем добавить «пространства») исходно строится во внешнем мире и «на внешнем объекте» с опорой на сенсорно-перцептивные ориентировочно-исследовательские операции и действия (Леонтьев, 1965).

Рассмотрим полученные нами данные по формированию ПР в РП в более широком контексте принципа активности, с использованием понятийного аппарата системно-деятельностного подхода (Асмолов, 1985).

В рамках системно-деятельностного подхода перцептивная деятельность в задачах, близких по своему содержанию к задачам формирования ПР, изучалась в работах А.Н.Гусева. Так, было показано, что сенсорные задачи, которые считались элементарными, на самом деле обладают такой же сложной структурой, как любая другая психическая деятельность человека (Гусев, 2004, 2013).

Задача формирования пространственных репрезентаций не является в полной мере только перцептивной задачей, а обращается и к другим психическим функциям – памяти, мышлению и т.д.

Тем не менее, переходя от логики конструктивизма к деятельности по формированию пространственных репрезентаций, кроме мотива, побуждающего и направляющего деятельность, можно выделять *цель*, определяющую *действие* и *операции*, позволяющие достичь цели в заданных *условиях* (Леонтьев, 1975).

Обращение к категории деятельности как средства, опосредующего взаимодействие субъекта и окружающей среды, снимает субъектно-объектную оппозицию, позволяя рассмотреть психологическую реальность в единстве объективного и субъективного планов анализа. Деятельность выступает

психологическим явлением и принципом связи между физической окружающей средой и ее психическим отражением.

А.Н. Леонтьев выделяет следующие методологические уровни анализа (Леонтьев, 1975):

1. Мотивационно-ценностный смысловой уровень. В процессе решения пространственной задачи субъект не только пассивно воспринимает поступающие извне данные, но и сам прикладывает активные усилия, чтобы извлечь информацию, которую несет стимул (Гусев, 2004). Проявляемая субъектом активность заключается в индивидуально-психологической, иерархически организованной деятельности человека по решению пространственной задачи (Асмолов, Михалевская, 1974; Гусев, 2004). Как было показано в работе (Печенкова, Фаликман, 2001) трудно говорить о деятельности, когда речь идет о решении пространственной задачи, можно говорить только о мотивации, побуждающей субъекта. В нашем исследовании контроль уровня мотивации (как минимум осознанной вовлеченности) наших участников был реализован правильным решением дополнительной пространственной задачи. Мотивация обеспечивает преобразование требования в цель, т.е. осознаваемый образ будущего результата.
2. Уровень действий как единиц анализа деятельности. Действие – это процесс решения задачи, включающий в себя процессы целеобразования и процессы поиска средств. Действием становится сама реконструкция запомненной сцены и построение двигательного акта для реконструкции сцены. Этот процесс подчинен представлению о результате, который должен быть достигнут. Строится план и начинается его реализация. Продуктивность действия реконструкции 3D сцены оценивалась по

показателям точности идентификации, локализации и времени реконструкции.

3. Уровень операций. Позволяет выделить различные средства, способы действия, операции, которые используются при решении самых разных задач. Здесь в полной мере учитываются все условия пространственной задачи, т.е. цели, поставленной в условиях. В нашем исследовании главными условиями, определяющими задачу, выступали эгоцентрическая или аллоцентрическая точка мысленного обозрения сцены. В ходе построения действия по реконструкции сцены происходит формирование нужного типа пространственной репрезентации (ЭПР или АПР), сличение мысленной пространственной репрезентации и реальной (точнее виртуальной в нашей методике) пространственной сцены, реконструируемой субъектом.
4. Ресурсный уровень. Рассматриваются психофизиологические механизмы реализации действия, возможен также переход к микроструктурному анализу (Зинченко, 1997). При решении субъектом пространственной задачи, формирующийся *функциональный орган* выполняет две важные функции: целенаправленную продуктивность, адаптирующую человека к пространственному взаимодействию с окружающей средой и актуализацию мотивационных ресурсов для обеспечения процесса ее решения (Гусев, 2004). Поэтому все уровни не подчиняются строгой последовательной иерархии, а взаимодействуют между собой.

Системно-деятельностный подход к анализу морфологии *деятельности по решению пространственной задачи* предполагает анализ *структуры (строения) и динамики (хода)* действия по реконструкции пространственной сцены в заданных условиях, на основе соответствующих операций -

формирующихся пространственных репрезентаций (ЭПР и АПР). В контексте нашего исследования о ходе действия можно судить по тому как разворачивается процесс реконструкции сцены и выполнена или не выполнена эта задача. О структуре действия мы можем судить по объективным показателям, задающим внешнюю сторону – расчетные показатели точности идентификации и локализации в топологических и метрических единицах.

Действия по реконструкции сцены и операции формирования ЭПР и АПР осуществляются посредством функциональных органов на основе *физиологических механизмов*, которые Ю.Б. Гиппенрейтер обозначила как «реализаторы и средства деятельности» (1983б, стр.168). Обращаясь к их анализу, Ю.Б. Гиппенрейтер обогащает деятельностный подход идеями физиологии активности и, в частности, уровневой концепции построения движений, предложенной Н.А. Бернштейном (1966). Развитие этих положений было реализовано в модели гетерархии систем восприятия Б.М. Величковского (Величковский, 1999, 2006; Velichkovsky, 2002), с выходом на метауровень познавательной активности субъекта.

Процесс формирования ПР связан с решением задач локализации и идентификации объектов сцены. Формируются пространственные отношения либо между наблюдателем и объектами сцены (ЭПР), либо между объектами сцены безотносительно положения наблюдателя (АПР). Развернется ли процесс формирования ПР в направлении ЭПР или АПР, определяет пространственная задача, т.е. заданная цель в условиях. При возникновении требования от внешней среды в виде необходимости решить пространственную задачу, происходит временное объединение всех доступных ресурсов организма для решения этой задачи. В таком случае тип формирующейся ПР конструируется закономерно и с требуемой точностью.

В ходе решения пространственной задачи ПР могут выступать как структурные единицы перцептивной и мнемической деятельности. И в зависимости от задачи, структура ПР будет формироваться либо только в

топологических единицах, достаточных для приблизительной оценки пространственных отношений, либо в метрических, необходимых для точного решения пространственной задачи. Проводя аналогии с двигательными задачами Бернштейна: «Каждая двигательная задача находит себе в зависимости от своего содержания и смысловой структуры тот или иной уровень, иначе говоря, тот или иной сенсорный синтез, который наиболее адекватен по качеству и составу образующих его афферентаций и по принципу их синтетического объединения требующемуся решению этой задачи» (Бернштейн, 1966/1990, с.42).

Предложенная нами на рис.17 когнитивная модель описывает процесс переработки аллоцентрической информации как более ресурсоемкий, по сравнению с процессом переработки эгоцентрической информации.

Продолжая развивать логику системно-деятельностного подхода, мы можем предложить следующую иерархическую модель решения пространственной задачи, представленную на Рис.18.

В контексте нашего первого эксперимента целью является реконструкция пространственной сцены в персональном пространстве. И тогда морфология деятельности по решению пространственной задачи раскрывается через систему действий и операций, позволяющих достичь цель, и это будет формирование необходимого типа репрезентаций для реконструкции сцены.

В заданных условиях, которые предстают в двух вариантах: реконструировать пространственную сцену из той же точки обозрения (ЭПР) или из другой мысленной точки обозрения (АПР), конкретизируются операции—актуализируются функциональные системы (ФС), обеспечивающие эгоцентрические или аллоцентрические стратегии решения задач.

Необходимость актуализации определенных ФС (ЭПР или АПР) в свою очередь активизирует физиологические уровни нервной системы, которые обеспечивают решение задач по идентификации объектов сцены и их

локализации в соответствии с решаемой пространственной задачей и возможностями субъекта.

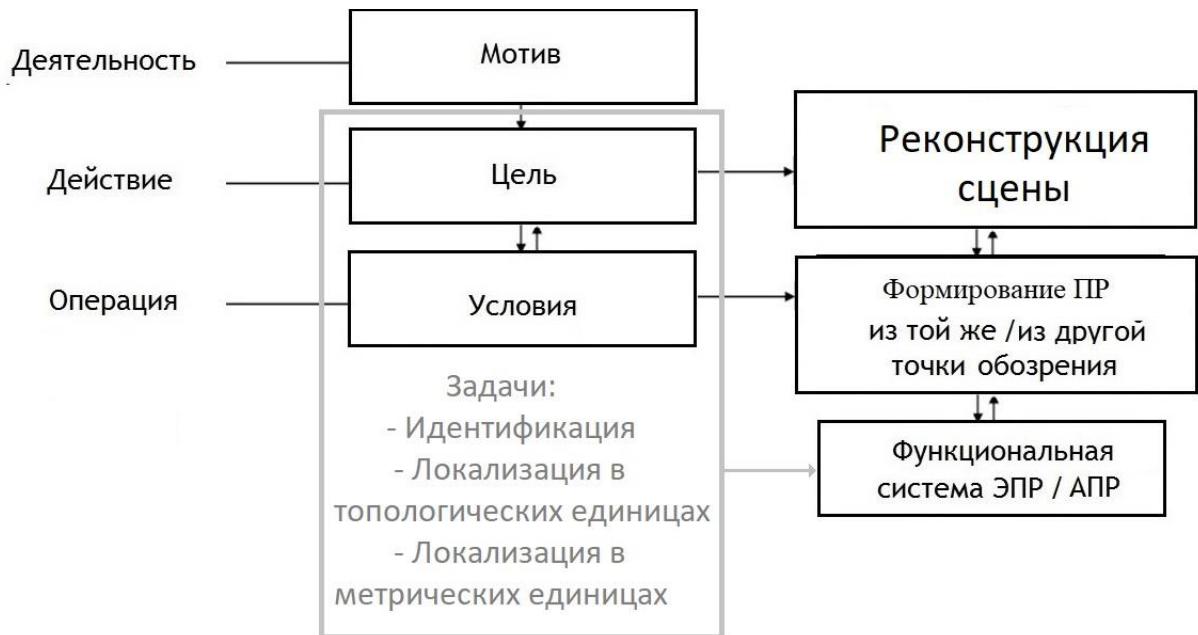


Рис. 18. Модель формирования ЭПР и АПР в системно-деятельностном подходе.

Выводы по Главе 3

Выявлено, что точность идентификации объектов при формировании эгоцентрических и аллоцентрических пространственных репрезентаций остается стабильно высокой вне зависимости от уровня пространственной нагрузки (низкая/высокая).

Показано, что точность локализации объектов при формировании эгоцентрических репрезентаций выше по сравнению с точностью локализации АПР вне зависимости от единиц измерения (топологических или метрических) и уровня пространственной нагрузки (низкая/высокая).

Время реконструкции сцены при формировании аллоцентрических репрезентаций значительно выше времени реконструкции при формировании эгоцентрических, что демонстрирует ключевую роль эгоцентрических репрезентаций в процессах зрительной пространственной памяти.

Увеличение пространственной нагрузки проявилось в снижении эффективности работы пространственной системы и не отразилось на эффективности работы визуальной системы.

Выявлено, что увеличение пространственной нагрузки проявилось в резком снижении точности локализации объектов при формировании обоих типов репрезентаций в метрических единицах, и в незначительном снижении точности локализации объектов обоих типов репрезентаций в топологических единицах.

На основании полученных эмпирических данных предложена когнитивная модель формирования эгоцентрических и аллоцентрических пространственных репрезентаций в визуально-пространственном блокноте рабочей памяти по модели А.Бэддели с уточнением структуры пространственной системы в виде двух подсистем – метрической и топологической, которые позволили объяснить полученные результаты в рамках когнитивного подхода к изучению рабочей памяти.

Также предложена модель в логике системно-деятельностного подхода, раскрывающая морфологию деятельности по решению пространственных задач через систему действий по реконструкции запомненной сцены, операций по формированию эгоцентрических и аллоцентрических пространственных репрезентаций и активации функциональных систем в зависимости от решаемой субъектом пространственной задачи.

Проведенное исследование, насколько известно, является первым исследованием процессов формирования эгоцентрических и аллоцентрических пространственных репрезентаций в визуально-пространственном блокноте рабочей памяти по модели А.Бэддели с использованием экологически валидных 3D визуальных сцен, предъявляемых с помощью систем виртуальной реальности в виде шлема.

ГЛАВА 4. ИЗУЧЕНИЕ ТОЧНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ЭГО- И АЛЛОЦЕНТРИЧЕСКИХ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ РЕПРЕЗЕНТАЦИЙ ДИНАМИЧЕСКИХ СЦЕН В РАБОЧЕЙ ПАМЯТИ

4.1. Постановка проблемы

Анализ работ по изучению формирования ЭПР и АПР в РП (см. Главу 1, п.1.5) показал, что характеристики зрительной кратковременной и рабочей памяти (КП и РП, соответственно) как правило исследовались на материале неподвижных, статических стимулов. Так, с использованием статической стимуляции изучались вопросы объема КП (Cowan, 2001; Sligte, Scholte, Lamme, 2008; Zhang, Luck, 2008), связывания отдельных черт в более крупные единицы (чанки) (Luck, Vogel, 1997; Wheeler, Treisman, 2002), влияние глобальной пространственных конфигураций на эффективность запоминания (Blalock, Clegg, 2010; Hollingworth, 2007; Jiang, Chun, Olson, 2004). В РП на материале статических стимулов изучалась роль визуальных и пространственных систем в задаче навигации (Pazzaglia, Cornoldi, 1999), связь между эффективностью ВПРП и картографическим обучением (Coluccia, Martello, 2004), индивидуальные особенности формирования ЭПР и АПР в РП (Wen et al., 2013) и другие вопросы.

Однако, среда, в которой живет человек, очень динамична. Выполняя различные задачи, мы часто сталкиваемся с ситуацией, в которой необходимо запомнить расположение не статических, а движущихся объектов. Возникает вопрос, насколько изменяются процессы формирования ЭПР и АПР при запоминании динамических сцен по сравнению со статическими (Меньшикова, Величковский, Бугрий, Савельева, 2021)? К сожалению, нам удалось найти крайне мало исследований в этой области, хотя их актуальность как для фундаментальной науки, а так и для психологической практики не вызывает сомнений.

В немногочисленных когнитивных работах, которые были проведены по изучению хранения и переработки динамической информации в КП и РП, были получены следующие результаты. В работе (Cocchi et al., 2007) исследовались особенности запоминания динамической информации в РП на выборке больных шизофренией. Показано, что пациенты больше полагались на память о последних фрагментах воспринимаемой траектории движения, тогда как контрольная группа придерживалась глобальной, целостной стратегии запоминания. Авторы предположили существование отдельной системы обработки пространственной динамической информации в РП, которая работает в разном режиме для нормы и патологии. Однако, их гипотеза не подтвердилась, так как пациенты совершали аналогичные ошибки и решая задачи запоминания статических стимулов.

В нескольких работах внимание исследователей было сосредоточено на сохранении в РП информации о направлении движения. Например, исследовалось, как эффективность запоминания направления движения изображений снижается в зависимости от их размера (Zokaei et al., 2011; Narasimhan et al., 2009; Shooner et al., 2010) и насколько долго эта информация может сохраняться в ДП (Blake, Cepeda, & Hiris, 1997). В другой работе изучалось влияние скорости движения на эффективность запоминания в КП (McKeefry, Burton, & Vakrou, 2007). Было показано, что именно скорость стимула имеет решающее значение для сохранения информации о движении в КП, а также подтвердили гипотезу о наличии тесной связи между нейронными механизмами, участвующими в анализе сенсорной информации, и механизмами, участвующими в ее удержании в кратковременной памяти.

В работе (Sun et al., 2015) исследовалось, насколько эффективно в РП запоминается информация о глобальной конфигурации движущихся элементов. Показано, что ухудшение объема РП связано с нарушениями проективной инвариантности - способности к опознанию 3D объектов по 2D сетчаточным проекциям). Также выявлено, что в РП лучше кодируются объекты,

вызывающие нарушение проективной инвариантности. Эти результаты продемонстрировали, что проективная инвариантность является важным фактором, влияющим на кодирование динамической конфигурации в зрительной РП.

В работе (Yan-ya, 2013) исследовались различия в кодировании динамических и статических сцен в РП с точки зрения исследовательской парадигмы, объема рабочей памяти и способов хранения. Показано, что при запоминании статических сцен кодирование в РП основано на парадигме обнаружения изменений, что приводит к использованию двух основных способов хранения информации, соответствующих гипотезам «сильного объекта» и «слабого объекта». Для динамических сцен кодирование в РП опирается, в основном, на парадигму отслеживания нескольких объектов, что проявляется в использовании только одного способ хранения информации, соответствующего гипотезе «сильного объекта».

Нужно отметить, что результаты упомянутых выше работ по изучению процессов запоминания динамической информации, носят фрагментарный характер. Накоплено еще слишком мало информации об особенностях кодирования динамической информации в РП, что затрудняет моделирование мнемических процессов переработки динамической информации. С нашей точки зрения, одной из причин, по которым наблюдается малое число работ изучения формирования ЭПР и АПР в динамических сценах, является отсутствие адекватных методов их измерения. Мы предположили, что разработанный нами метод оценки точности формирования ЭПР и АПР при помощи технологий виртуальной реальности может эффективно использоваться для получения новых качественных и количественных данных в этой области (Меньшикова, Величковский, Бугрий, Савельева, 2021).

Можно предположить, что решение задачи на запоминание и реконструкцию динамических сцен должно привести к изменению многих процессов хранения и переработки информации в РП, таких, например, как

объем памяти, а также способов кодирования информации в визуальной (ВС) и пространственной (ПС) системах в ВПП. К факторам, которые могут влиять на процессы запоминания динамических сцен, можно отнести сокращение времени рассматривания объектов, изменение их визуальных характеристик при движении (формы, яркости и др.) или изменение их взаимного пространственного расположения. Мы предполагаем, что влияние этих факторов должно привести к изменению точности формирования ЭПР и АПР в РП.

В эксперименте, описанном в Главе 3, мы показали, что ВПП играет ключевую роль в формировании ЭПР и АПР статических сцен, т.е. их формирование осуществляется уже на ранних этапах обработки пространственной информации. Согласно нашей модели, предложенной по результатам этого эксперимента (Глава 3, Рис. 17), ключевую роль в процессах их формирования играют визуальная система (ВС) и пространственная система (ПС) в ВПП, первая из которых осуществляет идентификацию объектов, а вторая – их локализацию. Мы предположили, то основной задачей ПС является сохранение и переработка двойной информации: во-первых, информации о координатах конкретных объектов в воспринимаемом пространстве (метрика) и, во-вторых, информации о глобальной конфигурации объектов (топология). В соответствии с этим мы предположили, что функциональную структуру ПС можно описать при помощи выделения двух подсистем – МПС (метрическая пространственная система) и ТПС (топологическая пространственная система). Можно предположить, что МПС отвечает за решение локальных задач, тогда как ТПС отвечает за кодирование общей конфигурации объектов. Согласно полученным в нашем эксперименте данным (см. Главу 3), кодирование целостной конфигурации объектов в ТПС происходит более эффективно, по сравнению с МПС, кодирующим метрическую информацию. Однако, для динамических сцен кодирование информации в ПС усложняется: необходимо кодировать как изменение координат каждого движущегося объекта (локальная

задача), так и изменение целостной конфигурации движущихся объектов (глобальная задача). Естественно предположить, что в условиях запоминания динамических сцен роль этих подсистем в процессах формирования ЭПР и АПР может измениться: более важным будет сохранение глобальной информации о целостной динамической конфигурации. Таким образом, в условиях ограниченных ресурсов РП (May & Barnard, 2018), в соответствии с нашей моделью будет наблюдаться снижение точности формирования ЭПР и АПР для динамических сцен по сравнению со статическими сценами, а также снижение эффективности кодирования информации в МПС по сравнению с ТПС.

Полученные данные могут дать ответы на несколько важных вопросов. Один из них касается емкости ВС в ВПРП в условиях повышенной нагрузки на пространственную систему при запоминании динамических сцен. Можно предположить, что эффективность работы ВС может снизиться, что отразится в снижении числа запоминаемых объектов. Это будет свидетельствовать в пользу гипотезы о наличии взаимодействия между ВС и ПС в ВПРП в условиях повышенной нагрузки на работу ПС ВПРП. Второй вопрос связан с особенностями взаимодействия ТПС и МПС в ПС в условиях кодирования динамических сцен. Можно предположить, что из-за ресурсных ограничений в ВПРП эффективность МПС, кодирующей метрические характеристики движущихся объектов, существенно ухудшится при формировании и ЭПР и АПР. Что касается работы ТПС, то эффективность ее работы также снизится, однако это снижение будет значимо меньше показателей метрической точности МПС. Под ресурсом понимается энергетический резерв, который гибко распределяется в процессе переработки информации (Kahneman, 1973; Дормашев, Романов, 1995; Гусев, 2004).

Были сформулированы гипотезы второго эксперимента.

Теоретическая гипотеза:

1. При формировании эгоцентрических и аллоцентрических пространственных репрезентаций динамических сцен визуальная и пространственная системы рабочей памяти работают независимо друг от друга.

Эмпирические гипотезы:

1. Точность идентификации объектов статических и динамических сцен одинакова;
2. Точность метрической локальной информации динамических сцен ниже по сравнению со статическими.
3. Точность топологической глобальной информации динамических сцен не изменяется по сравнению со статическими;
4. Время реконструкции динамических сцен выше по сравнению со временем реконструкции статических сцен.
5. Пространственная нагрузка не влияет на точность идентификации и локализации объектов эгоцентрических и аллоцентрических репрезентаций динамических сцен.

4.2. Метод

Выборка

В исследовании принимали участие 37 человек (23 женщины и 14 мужчин). Средний возраст участников составил $(20,5 \pm 2,4)$ лет. Все обладали нормальным или скорректированным до нормального зрением, а также не имели нарушений вестибулярного аппарата и травм головного мозга.

Стимуляция

На основе методики исследования процессов формирования ЭПР и АПР в РП (см. Главу 2, п.2.3 и Главу 3) была разработана виртуальная среда для изучения формирования ЭПР и АПР при запоминании динамических сцен. Следует отметить, что разработанная среда полностью повторяла дизайн эксперимента для изучения статических 3D сцен (Меньшикова, Величковский,

Бугрий, Савельева, 2021), отличие состояло только в том, что в статические сцены были введены элементы движения объектов.

Так же, как и в первом эксперименте, виртуальная сцена включала четыре 3D объекта, которые были локализованы на случайных позициях внутри параллелепипеда.

Предъявление динамических сцен для запоминания делилось на 2 фазы. В первой фазе (5 сек) объекты представлялись стационарно, а во второй (5 сек) – в динамике. Движение всех объектов происходило вокруг вертикальной оси, проходящей через центральную точку параллелепипеда. Аналогичную пространственную задачу мы решаем, когда выбираем очки или украшения на вращающейся стойке в магазине. Специфика предъявления динамических сцен состояла в том, что:

- 1) время наблюдения объектов в стационарном положении (в первой фазе) сокращалось в два раза по сравнению со временем наблюдения в нашем первом эксперименте, описанном в Главе 3 (10 сек);
- 2) при движении объектов во второй фазе сохранялась глобальная пространственная конфигурация объектов – они как единое целое перемещались вокруг центральной вертикальной оси так, что взаимные расстояния между объектами оставались неизменными;
- 3) в момент окончания движения все объекты возвращались на те же исходные позиции, в которых находились в начале первой фазы предъявления.

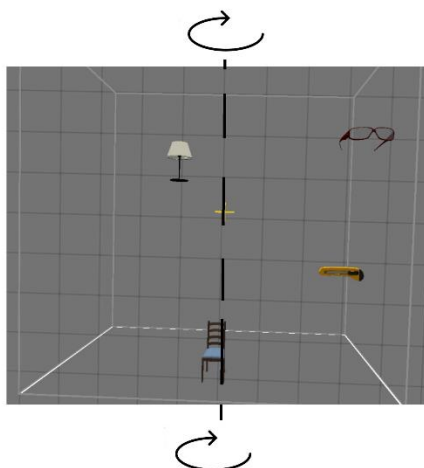


Рис. 19. Внешний вид сцены, в которой 4 объекта совместно вращаются относительно вертикальной оси.

Таким образом, мы вводили фактор движения, оставляя неизменными начальную и конечную точки локации всех объектов и сохраняя информацию об их взаимном расположении. Мы предполагали, что такой тип предъявления динамической сцены должен приводить к нагрузке на пространственную систему, а точнее на его подсистему, которую мы обозначили как метрическую пространственную систему (МПС), поскольку все объекты в каждый момент времени меняют свои координаты, а значит необходимо сохранять информацию о координатах уже не в одной точке, а множестве точек, через которые передвигаются объекты. Также может увеличиться нагрузка и на систему ТПС, кодирующую общую конфигурацию объектов в сцене, поскольку при перемещении объектов необходимо затрачивать ресурс на сличение конфигураций в предыдущий и последующий моменты времени. При этом будет отсутствовать дополнительная нагрузка на визуальную систему ВПП, поскольку идентификация объектов с ярко выраженными зрительными признаками происходит быстро в течении 100-200 мс (Cichy et al., 2014), что должно приводить к их успешной идентификации в течении первой фазы предъявления стимуляции.

Аппаратура и программное обеспечение

Описание приведено в Главе 2, п. 2.3.2. Использовался шлем виртуальной реальности HMD HTC Vive с контроллером. Виртуальная среда создана на основе программного обеспечения Unity PRO.

Процедура

Процедура и инструкция данного эксперимента совпадала с процедурой первого эксперимента, описанного в Главе 3. Задача участников состояла в том,

чтобы запомнить и реконструировать динамические сцены из эгоцентрической либо аллоцентрической точек обозрения. При этом остались без изменений пространственная нагрузка в виде плоскости с квадратами (низкая и высокая), временная схема одной пробы представлена на Рис. 20.



Рисунок 20. Схема пробы, в которой предъявлялась и реконструировалась по памяти динамическая 3D сцена.

В целом эксперимент по реконструкции 8-ми динамических сцен вместе с тренировкой занимал примерно 15 минут, в течение которых участник реконструировал четыре ЭПР и четыре АПР (из них 2 с высокой и 2 с низкой пространственной нагрузкой).

Фиксировались объекты, правильно идентифицированные при реконструкции сцены, X, Y и Z координаты объектов в пространстве при предъявлении и реконструкции и время реконструкции ЭПР и АПР в экспериментальных условиях с разной пространственной нагрузкой.

На основе полученных данных производились расчеты:

- 1) точности идентификации объектов при формировании ЭПР и АПР;
- 2) точности их локализации;
- 3) времени реконструкции ЭПР и АПР.

По окончании эксперимента участнику задавалось несколько вопросов, целью которых было выявление стратегии запоминания объектов и их локализации.

Экспериментальные факторы:

- **Смена мысленной точки обозрения 3D сцены при реконструкции массива объектов, задаваемая стрелкой:**
 - «вперед» – инициирующая формирование ЭПР;
 - «сверху вниз» – инициирующая формирование АПР.
- **Пространственная нагрузка на пространственную систему ВПП:**
 - предъявление 2D сцены с 2-мя квадратами, т. е. с низкой нагрузкой на пространственную систему;
 - предъявление 2D сцены с 6-ю квадратами, т. е. с высокой нагрузкой на пространственную систему.
- **Условие предъявления пространственных сцен:**
 - «статическое» – сцена предъявляется неподвижно;
 - «динамическое» – сцена предъявляется с вращением вокруг центральной оси.

4.3. Результаты

Также как и в первом эксперименте со статическими сценами, данные анализировались по пробам, в которых дополнительная задача была решена верно. Были собраны данные по 249-ти пробам, из них в 66% пробах дополнительная задача с оценкой местоположения квадратов была решена правильно, а в 34% пробах - с ошибкой. В дальнейшем мы анализировали только те пробы, в которых дополнительная задача была решена правильно.

В условиях динамического предъявления массива количество таких проб составило 165, из которых анализировались: 45 ЭПР при низкой нагрузке, 37 ЭПР при высокой нагрузке, 43 АПР при низкой нагрузке и 40 АПР при высокой нагрузке.

Распределения всех данных (точности идентификации, точности локализации в метрических и топологических единицах, а также времени реконструкции сцены) были проверены на нормальность с помощью критерия Колмогорова-Смирнова по всем экспериментальным условиям. Статистические выкладки приведены в Приложении 1. Результаты проверки в различных наборах экспериментальных данных указаны в таблице 3.

Таблица № 3.

Результаты проверки на нормальное распределение данных по точности идентификации, локализации и времени реконструкции.

Экспериментальные условия	ЭПР		АПР	
	Пространственная нагрузка		Пространственная нагрузка	
	Низкая	Высокая	Низкая	Высокая
Точность идентификации	распределение отлично от нормального	распределение отлично от нормального	распределение отлично от нормального	распределение отлично от нормального
Точность локализации (метрика)	распределение отлично от нормального	распределение отлично от нормального	распределение отлично от нормального	распределение отлично от нормального
Точность локализации (топология)	<i>нормальное распределение</i>	<i>нормальное распределение</i>	<i>нормальное распределение</i>	<i>нормальное распределение</i>
Время реконструкции	распределение отлично от нормального	<i>нормальное распределение</i>	<i>нормальное распределение</i>	<i>нормальное распределение</i>

Для обработки данных использовались многофакторный дисперсионный анализ и сравнение средних по Т-критерию Стьюдента, которые заменялись или дополнялись непараметрическими методами анализа данных (критерий Манна-Уитни). Приведение одновременно параметрических и непараметрических критериев допускается при сравнении средних (Кричевец, Корнеев, Рассказова, 2019).

В соответствии с алгоритмом, описанным в Главе 2, были рассчитаны усредненные по выборке точность идентификации, точность локализации в метрических и топологических единицах, а также время реконструкции сцены ЭПР и АПР для различных экспериментальных условий предъявления динамических сцен.

Проверены эмпирические гипотезы 1-4 о том, что для ПР динамических сцен по сравнению со статическим условием:

- точность идентификации объектов остается одинаковой;
- точность метрической локальной информации снижается;
- точность топологической глобальной информации не изменяется;
- время реконструкции сцен увеличивается.

Экспериментальные переменные были распределены следующим образом:

Зависимые переменные:

- ✓ точность идентификации объектов;
- ✓ точность локализации объектов (в единицах метрики и топологии);
- ✓ время реконструкции сцены.

Независимые переменные:

➤ *Фактор 1 – смена мысленной точки обозрения 3D сцены при реконструкции массива объектов, задаваемая стрелкой на двух уровнях:*

○ «вперед» – инициирующая формирование ЭПР;

➤ «сверху вниз» – инициирующая формирование АПР

➤ *Фактор 2 – пространственная нагрузка на ПС ВПП, задаваемая на двух уровнях:*

○ низкая (предъявление дополнительной сцены с 2-мя квадратами),

○ высокая (предъявление дополнительной сцены с 6-ю квадратами).

➤ *Фактор 3 - условие предъявления пространственных сцен, задаваемое на двух уровнях:*

○ «статическое» – сцена предъявляется неподвижно;

○ «динамическое» – сцена предъявляется с вращением вокруг центральной оси.

Статистические расчеты приведены в Приложении 3.

Многофакторный дисперсионный анализ показал, что:

- *фактор смены мысленной точки обозрения (ЭПР или АПР)* оказал статистически значимое влияние на точность формирования и время реконструкции ПР ($F=11,187$, $p \leq 0,001^{**}$);
- *фактор пространственной нагрузки (низкой или высокой)* не оказал статистически значимое влияние на точность формирования и время реконструкции ПР ($F=1,598$, $p=0,175$);
- *фактор условия предъявления динамических сцен (статическое или динамическое)* оказал статистически значимое влияние на точность формирования и время реконструкции ПР ($F=5,909$, $p \leq 0,001^{**}$);
- взаимодействия факторов выявлено не было.

Прведенный анализ показывает, что среди представленных экспериментальных воздействий, переход к динамическому условию оказывает наиболее сильное воздействие на точность формирование ПР и время реконструкции, следующий по степени воздействия – фактор эгоцентрического или аллоцентрического пространственного представления и, наконец, по сравнению с указанными воздействиями, фактор пространственной нагрузки не оказывает выраженного влияния на параметры формирования ПР.

Сравним средние показатели точности идентификации, локализации и времени реконструкции в каждом экспериментальном условии. Статистические расчеты представлены в Приложении 3.

Расчетные данные сведены в Таблицу 4, в которой представлены средние значения A и среднеквадратичные отклонения точности идентификации, локализации и времени реконструкции при сравнении процессов формирования ЭПР (верхняя часть таблицы) и АПР (нижняя часть таблицы) статических и динамических сцен при низкой и высокой нагрузке на ВПП.

Таблица № 4.

Средние значения A и среднеквадратичные отклонения точности идентификации, локализации и времени реконструкции при сравнении процессов формирования ЭПР и АПР статических и динамических сцен.

ЭПР При низкой нагрузке	Экспериментальные условия				U- критер ий Манна- Уитни	p	T- критери й Стьюде нта	p
	Статическое условие		Динамическое условие					
	N	A	N	A				
Точность идентификации	41	0,99±0,05	45	0,97±0,09	844,5	0,180	-1,374	0,173
Точность локализации (в метрических единицах)	41	0,65±0,32	45	0,38±0,32	519,5	0,001* *	-3,843	0,001* *
Точность локализации (в топологических единицах)	41	0,83±0,11	45	0,79±0,08	596	0,005*	-1,943	0,050*
Время реконструкции, сек	41	30,8±13,4	45	35,2±15,4	778	0,211	1,401	0,165
ЭПР При высокой нагрузке	Экспериментальные условия				U- критер ий Манна- Уитни	p	T- критери й Стьюде нта	p
	Статическое условие		Динамическое условие					
	N	A	N	A				
Точность идентификации	38	0,97±0,09	37	0,97±0,08	686,5	0,756	0,309	0,758
Точность локализации (в метрических единицах)	38	0,46±0,32	37	0,35±0,32	558	0,114	-1,475	0,145
Точность локализации (в топологических единицах)	38	0,81±0,08	37	0,78±0,11	602	0,284	-1,524	0,132
Время реконструкции, сек	38	34,5±13,9	37	35,5±12,4	657,5	0,629	0,331	0,742
АПР При низкой нагрузке	Экспериментальные условия				U- критер ий Манна- Уитни	p	T- критери й Стьюде нта	p
	Статическое условие		Динамическое условие					
	N	A	N	A				
Точность идентификации	39	0,98±0,07	43	0,95±0,10	727,5	0,092	-1,737	0,087
Точность локализации (в метрических единицах)	39	0,36±0,31	43	0,21±0,28	608	0,023*	-2,274	0,026*
Точность локализации	39	0,77±0,09	43	0,76±0,09	781	0,593	-0,529	0,595

(в топологических единицах)								
Время реконструкции, сек	39	40,9±13,8	43	40,0±13,9	817	0,841	-0,269	0,788
АПР При высокой нагрузке	Экспериментальные условия				U-критерий Манна-Уитни	p	T-критерий Стьюдента	p
	Статическое условие		Динамическое условие					
	N	A	N	A				
Точность идентификации	38	0,94±0,12	40	0,93±0,13	731	0,692	-0,328	0,736
Точность локализации (в метрических единицах)	38	0,32±0,20	40	0,20±0,25	511	0,009*	-2,246	0,028*
Точность локализации (в топологических единицах)	38	0,77±0,08	40	0,76±0,09	709	0,610	-0,573	0,568
Время реконструкции, сек	38	41,0±12,0	40	40,7±12,2	743	0,865	-0,116	0,908

Примечание: N — количество проб по всей выборке, A — среднее значение, U — критерий Манна-Уитни, T — критерий Стьюдента, p - уровень статистической значимости, * — статистическая значимость (p=0,001-0,05), ** — статистическая значимость (p≤0,001)

По данным Таблицы 4 была построена диаграмма (рис. 21), отражающая точность идентификации объектов в статических (столбики в ромб-штриховке) и динамических (серые столбики) сценах при формировании ЭПР (рис. 21а) и АПР (рис. 21б) при низкой и высокой пространственной нагрузке на ВПП.

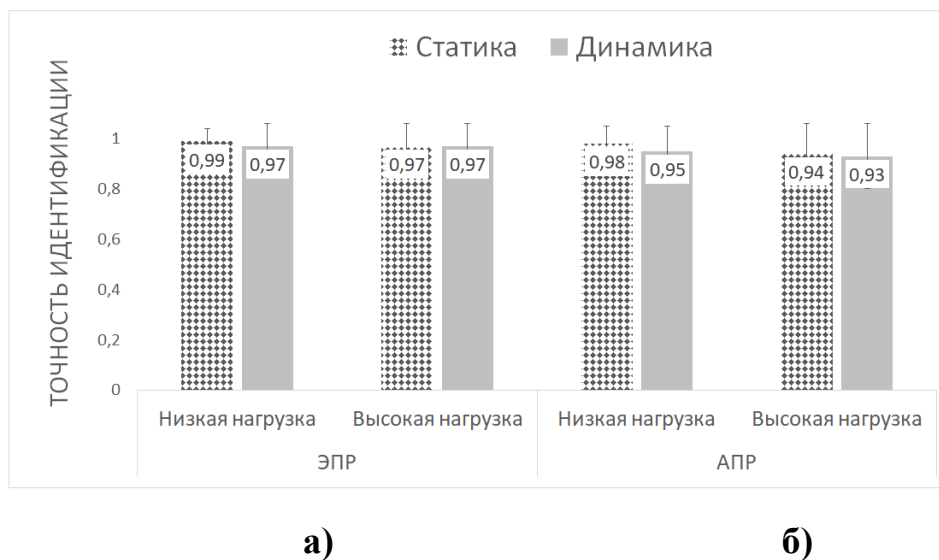


Рис. 21. Точность идентификации объектов статических (столбики в ромб-штриховке) и динамических (серые столбики) сцен при формировании (а) ЭПР и (б) АПР при низкой и высокой пространственной нагрузке на ВПП.

Сравнение точности идентификации объектов при запоминании статических и динамических сцен отдельно для каждого из условий не выявило значимых различий. Точность идентификации оставалась статистически неразличимой для условий ЭПР/низкая нагрузка ($U=844,5$, $p=0,180$; $F=-1,374$, $p=0,173$), ЭПР/высокая нагрузка ($U=686,5$, $p=0,756$; $F=0,309$, $p=0,758$), АПР/низкая нагрузка ($U=727,5$, $p=0,092$; $F=-1,737$, $p=0,087$) и АПР/высокая нагрузка ($U=731$, $p=0,692$; $F=-0,328$, $p=0,736$). Значение точности идентификации оставалось стабильно высоким в пределах 0,95-0,99 для всех условий и немного снизилось до 0,94-0,93 для условия АПР/высокая нагрузка. Таким образом, точность идентификации объектов при формировании ЭПР и АПР динамических сцен остается стабильно высокой по сравнению со статическими, что явилось подтверждением нашей первой эмпирической гипотезы.

На следующем этапе анализа была рассчитана точность локализации объектов в метрических единицах.

Точность локализации ЭПР в метрических единицах статистически значимо снизилась с $(0,65 \pm 0,32)$ до $(0,38 \pm 0,32)$ при низкой нагрузке ($U=519,5$, $p \leq 0,001^{**}$; $F=-3,843$, $p \leq 0,001^{**}$) и снизилась на уровне статистической тенденции с $(0,46 \pm 0,32)$ до $(0,35 \pm 0,32)$ при высокой нагрузке ($U=558$, $p=0,114$; $F=-1,475$, $p=0,145$). Точность локализации АПР в метрических единицах снизилась с $(0,36 \pm 0,31)$ до $(0,21 \pm 0,28)$ при низкой нагрузке ($U=608$, $p=0,023^{*}$; $F=-2,274$, $p=0,026^{*}$) и с $(0,32 \pm 0,20)$ до $(0,20 \pm 0,25)$ при высокой ($U=511$, $p=0,009^{*}$; $F=-2,246$, $p=0,028^{*}$).

На диаграмме (рис. 22) показана точность локализации в метрических единицах (ось Y) при реконструкции ЭПР (рис. 22а) и АПР (рис. 22б)

статических (черные столбики) и динамических (серые столбики) сцен при низкой и высокой пространственной нагрузке на ВПРП. Из диаграммы видно, что переход от статического условия предъявления сцен к динамическому привел к статистически значимому ухудшению метрической точности локализации объектов при формировании ЭПР и АПР как при низкой, так и при высокой нагрузке на ВПРП.

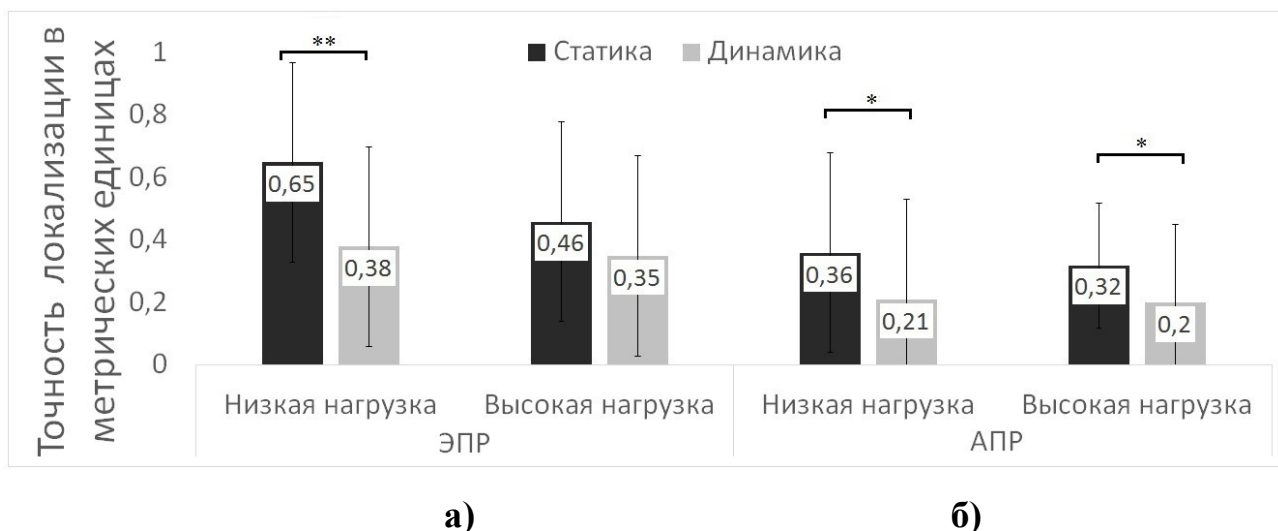


Рис. 22. Точность локализации объектов в метрических единицах статических (черные столбики) и динамических (серые столбики) сцен при формировании (а) ЭПР и (б) АПР при низкой и высокой пространственной нагрузке на ВПРП.

Таким образом, наша вторая эмпирическая гипотеза подтвердилась: точность метрической локальной информации динамических сцен ниже по сравнению со статическими.

Затем была рассчитана точность локализации объектов в топологических единицах. Топологическая точность локализации при переходе от статического условия предъявления сцен к динамическому остается сохранной и статистически значимо не изменяется: для условия ЭПР/низкая нагрузка ($U=596$, $p=0,005^*$; $F=-1,943$, $p=0,055$), ЭПР с высокой нагрузкой ($U=602$, $p=0,284$; $F=-1,524$, $p=0,132$), АПР с низкой нагрузкой ($U=781$, $p=0,841$; $F=-0,529$, $p=0,595$) и АПР с высокой пространственной нагрузкой ($U=709$, $p=0,610$; $F=-0,573$, $p=0,568$).

На диаграмме (рис. 23) представлена точность локализации в топологических единицах (ось Y) при реконструкции ЭПР (рис. 23а) и АПР (рис. 23б) статических (черные столбики) и динамических (серые столбики) сцен при низкой и высокой пространственной нагрузке на ВПРП.

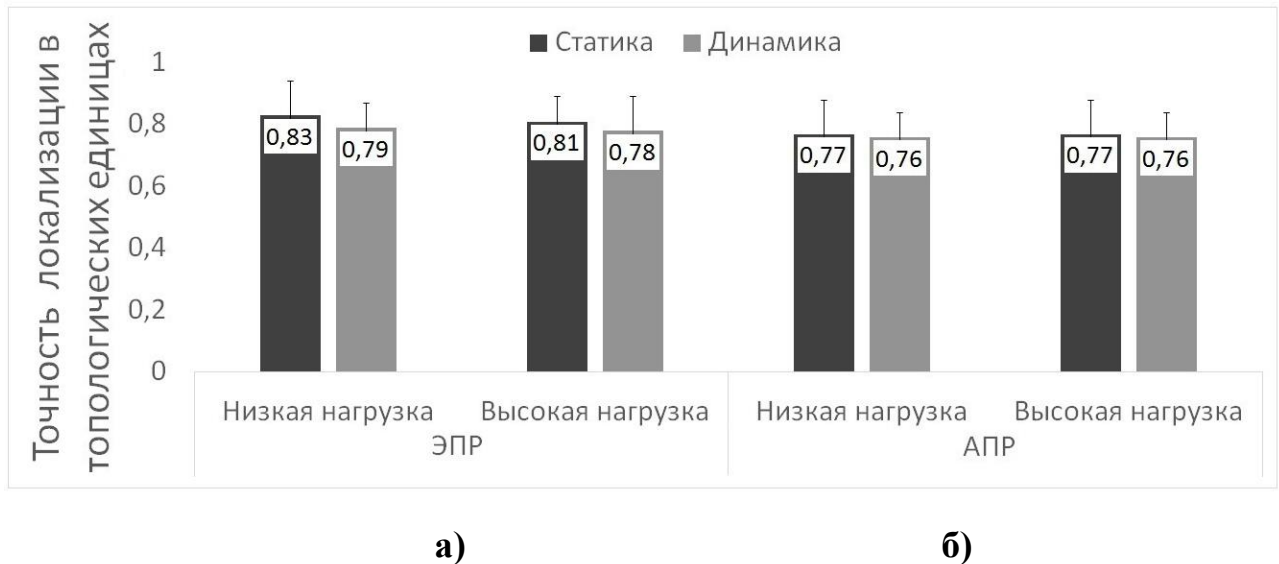
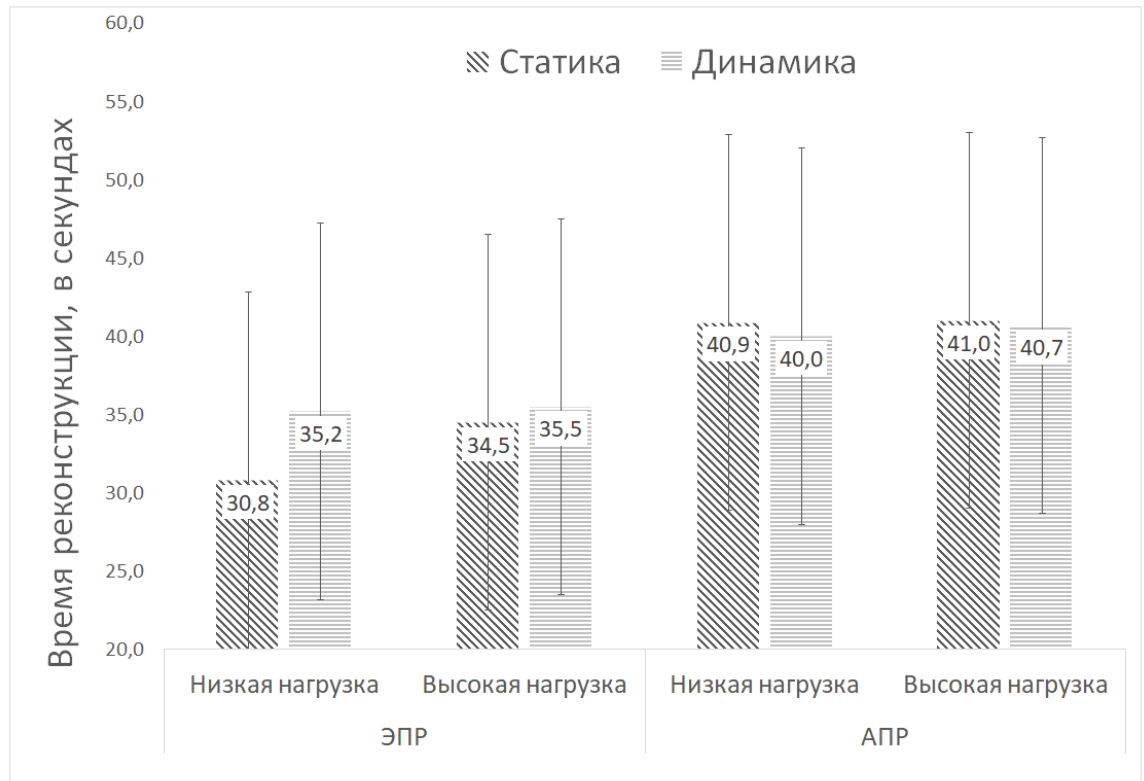


Рис. 23. Точность локализации объектов в топологических единицах статических (черные столбики) и динамических (серые столбики) сцен при формировании (а) ЭПР и (б) АПР при низкой и высокой пространственной нагрузке на ВПРП.

Из диаграммы видно, что топологическая точность локализации при переходе от статического условия предъявления сцен к динамическому остается относительно сохранной.

Таким образом, наша третья эмпирическая гипотеза подтвердилась: точность топологической глобальной информации динамических сцен не изменяется по сравнению со статическими.

Затем были проанализированы данные по времени реконструкции пространственных репрезентаций в динамических сценах и проведено сравнение этих данных с данными для условия предъявления статических сцен. Данные по времени реконструкции, усредненные по всей выборке, представлены на диаграмме (рис. 24).



а)

б)

Рис. 24. Время реконструкции статических сцен (столбики с наклонной штриховкой) и динамических (столбики с горизонтальной штриховкой) при формировании (а) ЭПР и (б) АПР при низкой и высокой пространственной нагрузке на ВПРП.

Статистически значимых различий времени реконструкции пространственных репрезентаций при сравнении статических и динамических условий не обнаружено. Во времени реконструкции ЭПР при низкой нагрузке обнаружено наиболее выраженное увеличение с $(30,8 \pm 13,4)$ сек для статических сцен до $(35,2 \pm 15,4)$ сек для динамических сцен, однако статистической значимости этого изменения не обнаружено ($U=778$, $p=0,211$; $F=1,401$, $p=0,165$). При высокой нагрузке увеличение времени реконструкции с $(34,5 \pm 13,9)$ до $(35,5 \pm 12,4)$ секунд статистически не выражено ($U=657,5$, $p=0,629$; $F=0,331$, $p=0,742$). Также статистически значимо не изменилось время реконструкции АПР: при низкой нагрузке оно составило $(40,9 \pm 13,8)$ секунд для статических и

(40,0±13,9) секунд для динамических сцен ($U=817$, $p=0,841$; $F=-0,269$, $p=0,788$); при высокой нагрузке - (41,0±12,0) и (40,7±12,2) ($U=743$, $p=0,865$; $F=-0,116$, $p=0,908$).

Таким образом, наша четвертая эмпирическая гипотеза не подтвердилась: время реконструкции динамических сцен остается неизменным по сравнению с временем реконструкции статических сцен.

Был проведен анализ данных для выявления вопроса о том, оказывает ли пространственная нагрузка на ВПРП значимое влияние на процессы формирования ЭПР и АПР при запоминании динамических сцен.

Зависимые переменные:

- ✓ точность идентификации объектов;
- ✓ точность локализации объектов (в единицах метрики и топологии);

Независимая переменная:

- *пространственная нагрузка на ПС ВПРП*, задаваемая на двух уровнях:
 - низкая (предъявление дополнительной сцены с 2-мя квадратами),
 - высокая (предъявление дополнительной сцены с 6-ю квадратами).

Статистические расчеты приведены в Приложении 3.

Проведено сравнение средних показателей точности идентификации и локализации (в единицах метрики и топологии) параметрическими и непараметрическими способами в двух группах (ЭПР и АПР динамических сцен).

Точность идентификации объектов ЭПР значимо не изменилась, оставшись на уровне (0,97±0,09) и (0,97±0,08) при низкой и высокой нагрузках соответственно ($U=815,5$, $p=0,730$; $F=-0,343$, $p=0,732$). Точность идентификации объектов при формировании АПР также значимо не изменилась ($U=820,5$, $p=0,621$; $F=0,651$, $p=0,517$). Данные представлены графически на Рис. 25.

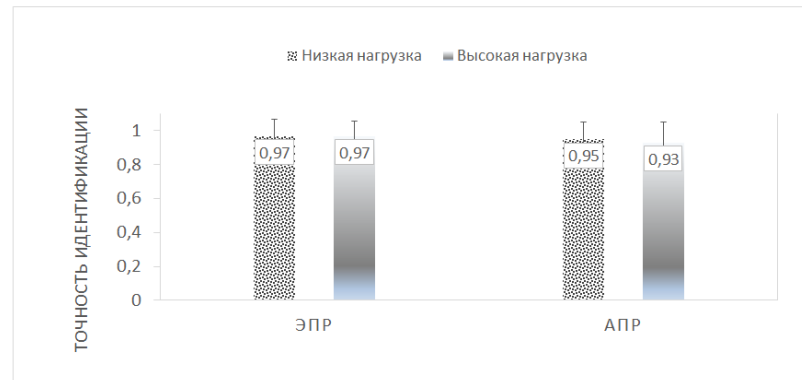


Рис. 25. Точность идентификации объектов при формировании ЭПР (слева) и АПР (справа) динамических сцен при низкой (столбики с узорной штриховкой) и высокой (серые столбики) пространственной нагрузке на ВПРП

Затем были проанализированы точность локализации ЭПР и АПР в метрических и топологических единицах отдельно для высокой и низкой пространственной нагрузок (рис. 26). Точность метрической локализации ЭПР незначительно снизилась с $(0,38 \pm 0,32)$ до $(0,35 \pm 0,31)$, при этом различия оказались незначимыми ($U=783,5$, $p=0,638$; $F=0,452$, $p=0,652$).

Аналогичный результат наблюдался для точности метрической локализации АПР: не значимое снижение с $(0,21 \pm 0,28)$ до $(0,20 \pm 0,25)$ ($U=853$, $p=0,994$; $F=0,157$, $p=0,876$).

Точность топологической локализации ЭПР осталась на высоком уровне $(0,79 \pm 0,09)$ для низкой и $(0,78 \pm 0,11)$ высокой нагрузок, различия не значимы ($U=805$, $p=0,798$; $F=0,207$, $p=0,836$). Точность топологической локализации АПР не изменилась для высокой и низкой нагрузок, оставшись на уровне $(0,76 \pm 0,09)$ ($U=845$, $p=0,891$; $F=0,930$, $p=0,860$). Данные представлены графически на Рис. 25. Стоит отметить, что речь идет о тех же самых показателях точности локализации, которые приведены на диаграммах 22 и 23, но данные переструктурированы так, чтобы было удобно сравнить их в условиях низкой и высокой пространственной нагрузки.

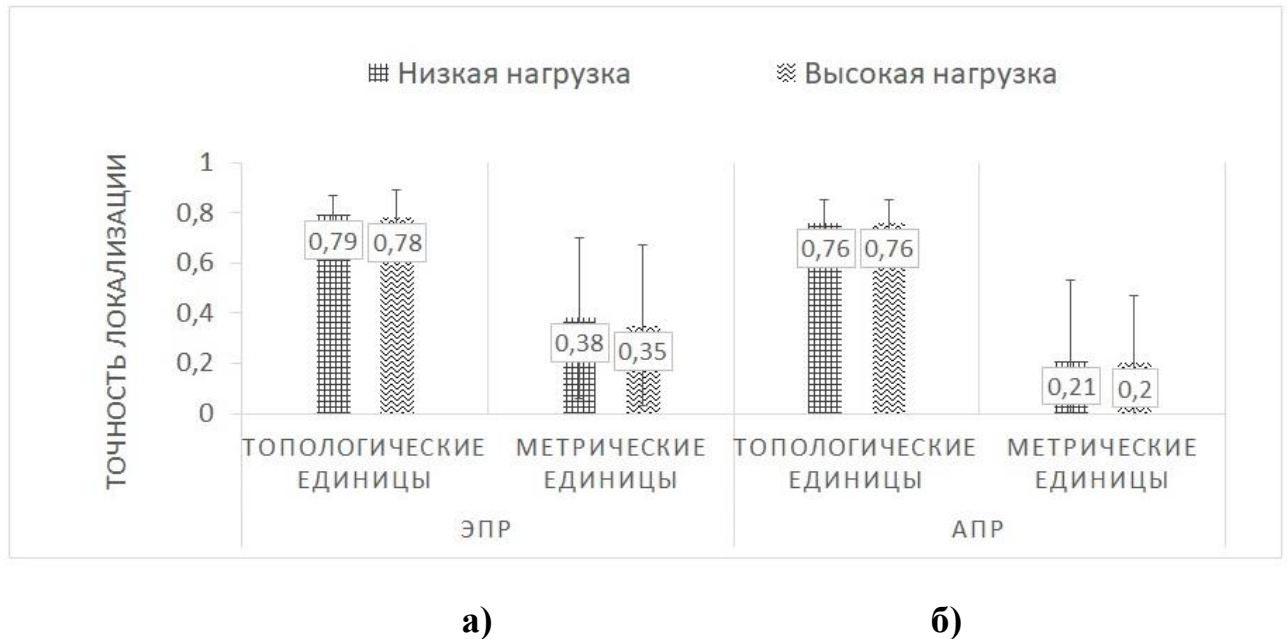


Рис. 26. Точность локализации объектов при формировании ЭПР (а) и АПР (б) динамических сцен в топологических и метрических единицах при низкой (столбики со штриховкой в клетку) и высокой (столбики с волнистой штриховкой) пространственной нагрузке на ВПП.

Что касается усредненного по всей выборке времени реконструкции репрезентаций динамических сцен, то различия также не обнаружены (Рис.27). Время, затрачиваемое на реконструкцию ЭПР, незначительно повысилось с $(35,2 \pm 15,4)$ сек до $(35,5 \pm 12,4)$ сек при смене низкой нагрузки на высокую ($U=778,0$, $p=0,611$; $F=-0,123$, $p=0,902$). Время реконструкции АПР также не значимо изменилось с $(40,0 \pm 13,9)$ сек до $(40,7 \pm 12,2)$ сек ($U=832,0$, $p=0,798$; $F=0,346$, $p=0,818$). Данные представлены графически на Рис. 26



Рис. 27. Время реконструкции динамических сцен при формировании ЭПР (слева) и АПР (справа) при низкой (столбики с вертикальной штриховкой) и высокой (столбики с горизонтальной штриховкой) пространственной нагрузке на ВПП.

Наша пятая эмпирическая гипотеза подтвердилась: пространственная нагрузка не оказывает значимого влияния на процессы формирования ЭПР и АПР при запоминании динамических сцен.

Также основании полученных данных мы можем говорить о подтверждении теоретической гипотезы: при формировании эгоцентрических и аллоцентрических пространственных репрезентаций динамических сцен визуальная и пространственная системы рабочей памяти работают независимо друг от друга.

4.4. Обсуждение результатов

Суммируя полученные во втором эксперименте результаты, мы можем говорить о том, что оба типа пространственных репрезентаций динамических сцен формируются на самых ранних этапах переработки информации в рабочей памяти (РП).

Специфика кодирования динамических сцен проявилась в том, что многие показатели точности формирования АПР и ЭПР остались сохранными (точность идентификации объектов, а также точность локализации в

топологических единицах), при этом резко ухудшились процессы кодирования метрической информации.

Первоначально мы предполагали, что в условиях повышенной нагрузки на пространственную систему при запоминании динамических сцен может снизиться эффективность работы визуальной системы (ВС), что может отразиться в снижении числа запоминаемых объектов. Динамическое условие делает пространственную задачу достаточно сложной и можно было ожидать, что пропускная способность переработки информации в РП достигнет предела (Kahneman, Treisman, 1984). Такие результаты свидетельствовали бы в пользу гипотезы о наличии взаимодействия между ВС и ПС в ВПРП в условиях повышенной нагрузки на работу ПС ВПРП в условиях ресурсных ограничений. Однако, точность идентификации пространственных репрезентаций сохранялась на уровне 4-х объектов (изредка 3-х) независимо от динамического условия. Полученные результаты еще раз подтвердили независимый характер обработки информации в ВС и ПС в ВПРП при формировании ЭПР и АРП, что подтверждает результаты других авторов, полученные на разном информационном материале (Pazzaglia, Cornoldi, 1999; Baddeley, 2000; Coluccia, 2008; Величковский, 2015; Уточкин и др., 2016 и др.) Емкость ВС в ВПРП в условиях повышенной нагрузки на пространственную систему при запоминании динамических сцен не изменилась.

Сравнение точности локализации репрезентаций динамических сцен по сравнению со статическими показало существенное снижение точности кодирования метрической информации, связанное с работой МПС, при относительной сохранности топологической информации (работа ТПС). Это говорит о том, что метрические координатные данные о точном местоположении объектов в динамических условиях сохраняются крайне плохо, в то время как топологические данные о движении целостной конфигурации массива объектов сохраняются достаточно эффективно. Это хорошо согласуется с данными о важной роли топологических

аллоцентрических репрезентаций, описанных в работах С. Левинсона (Levinson 2003; 1996) и Ж.Пиаже (Piaget, 1954; Piaget, Inhelder, 1966, 1983).

Наши результаты позволили выявить особенности взаимодействия ТПС и МПС в ПС в условиях кодирования динамических сцен. Согласно нашей модели (рис. 17), при запоминании динамических сцен нагрузка на ПС увеличивается, что из-за ресурсных ограничений в ВПП должно привести к изменению эффективности работы МПС и ТПС. Полученные нами результаты по формированию ЭПР и АПР при запоминании статических сцен (см. Главу 3) показали, что более эффективно кодируется топологическая информация. Исходя из этого, мы предположили, что и при запоминании динамических сцен сохранится тот же принцип, а значит должна резко снизиться эффективность кодирования метрической информации. Эти результаты и были получены: эффективность работы ТПС осталась сохранной, тогда как метрическая точность МПС значительно снизилась. Эти данные подтвердили нашу гипотезу о том, что пространственная система в составе ВПП эффективно рассматривать в виде двух подсистем – ТПС (топология) и МПС (метрика). В связи ограничениями ресурса РП, в динамических условиях эффективность МПС, кодирующего метрические характеристики объектов динамической сцены существенно ухудшилась при формировании ЭПР и АПР, а эффективность ТПС осталась сохранной и сравнимой с точностью кодирования топологической информации при статическом условии.

По феноменологии очень похоже, что функционал ТПС тесно связан с распознаванием биологического движения (*biological motion*), позволяющего быстро выделять из окружающей среды объекты в движении по нескольким точкам и восстанавливать форму этих объектов (Gu et al., 2020), что указывает на важность этой подсистемы для процессов раннего пространственного восприятия, принятия решений и действия для выживания человека в окружающей среде.

Для того, чтобы понять, как увеличение различного типа нагрузки на ПС ВПРП сказывается на точности формирования ЭПР и АПР, полученные нами данные, описанные в Главах 3 и 4, были сведены в диаграмму, представленную на рис. 28.

По полученным данным самым простым условием можно считать задачу формирования ЭПР при простой нагрузке в статических сценах, затем по степени увеличения сложности – ЭПР с высокой, АПР с низкой, АПР с высокой нагрузкой для статических сцен. Затем по сложности аналогично идут задачи формирования ЭПР и АПР при низкой и высокой нагрузке в динамических сценах.

На Рис. 28 представлено снижение точности идентификации и локализации в метрических и топологических единицах по мере возрастания сложности решаемой пространственной задачи.

В целом можно сказать, что при формировании ЭПР и АПР остаются на высоком уровне эффективность работы визуальной системы (идентификация), ТПС пространственной системы (сохранение общей топологической схемы, конфигурации объектов) при снижении эффективности работы МПС пространственной системы (сохранении точных координат объектов) в условиях увеличения пространственной нагрузки на ПС ВПРП.

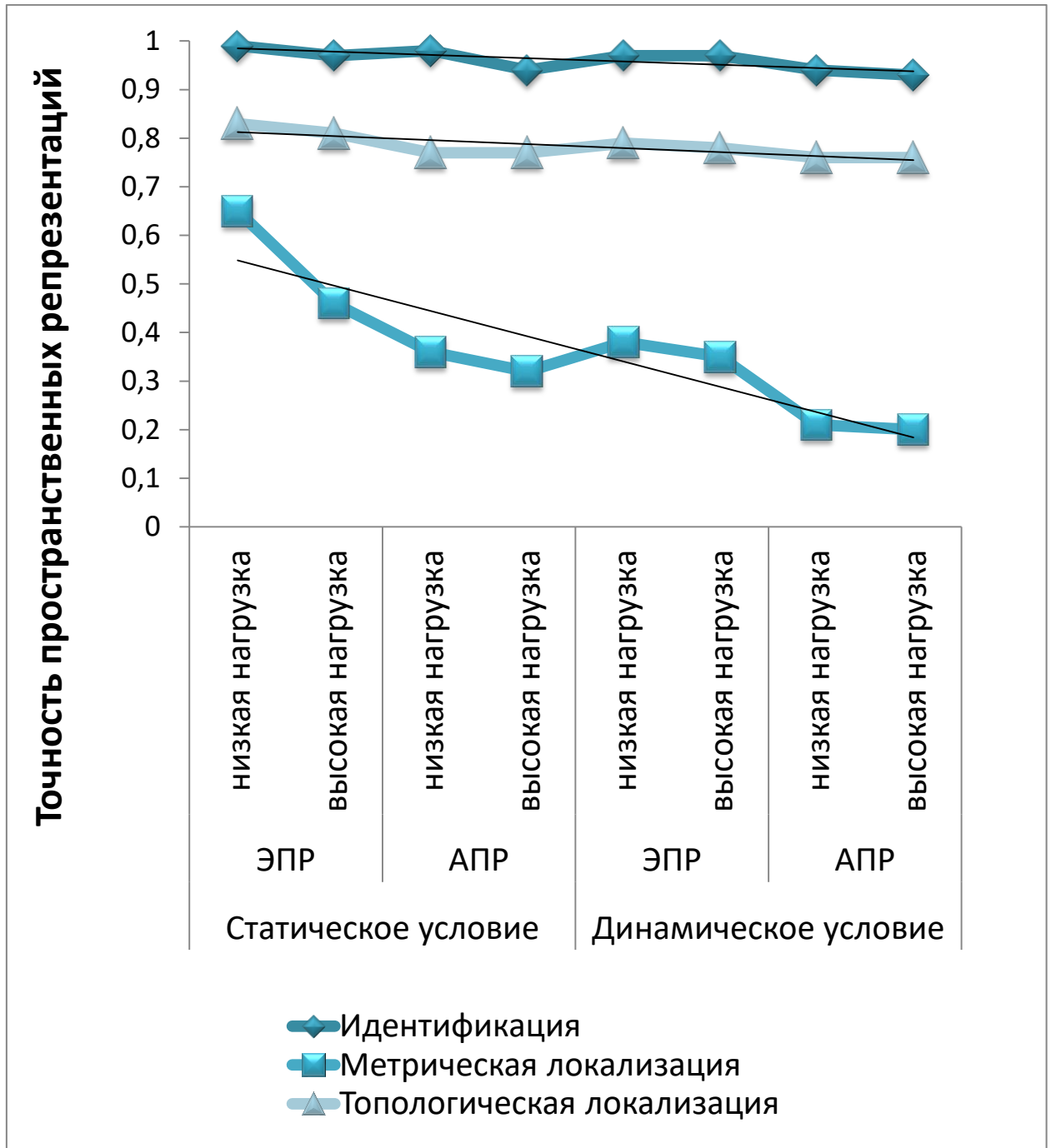


Рис. 28. Точность формирования ЭПР и АПР в зависимости от различного уровня нагрузки на пространственную систему ВПРП.

Мы изучали формирование ЭПР и АПР в персональном пространстве. Для этого виртуальная среда была сконструирована таким образом, чтобы область реконструкции зрительной репрезентации находилась в пределах вытянутой руки, т.е. на расстоянии 0,5 м -1,5 м от наблюдателя. Как было

отмечено в обзоре литературы (Глава 1) в задачах, нацеленных на запоминание ближнего пространства для дальнейших действий, роль метрических репрезентаций (ЭПР в метрических единицах) должна возрастать (Milner, Goodale, 2006; Ruotullo, 2019). Поэтому мы ожидали, что точность ЭПР в метрических единицах будет сравнима с точностью ЭПР в топологических единицах в ситуации низкой пространственной нагрузки. Однако, наши данные продемонстрировали, что и в этих задачах ЭПР в топологических единицах при кодировании статической и динамической информации формируется более точно по сравнению с метрическими ЭПР. Этот результат особенно отчетливо проявился при формировании пространственных репрезентаций динамических сцен. Необходимость кодирования топологической информации может быть связана с тем, что репрезентации, формирующиеся в рабочей памяти (РП), являются основой для сохранения пространственной информации для долговременной памяти (ДП). Эта гипотеза согласуется с многочисленными данными, где было показано, что пространственные репрезентации ДП носят упрощенный схематический характер (Siegel, White, 1975; Klatzky, 1998; Byrne, Becker, Burgess, 2007; Meilinger et al., 2012; Wang, 2012; Меньшикова и др., 2014 и другие).

В целом, модель, предложенная нами для объяснения процессов формирования ЭПР и АПР при запоминании статических сцен (Рис.17), оказалась справедливой и для объяснения процессов формирования ЭПР и АПР динамических сцен и не требует дополнительного уточнения. Идеи о существовании системы обработки динамической информации, высказанные в работе (Cocchi et al., 2007) не подтвердились.

Стоит также отметить, что обращение к системно-деятельностному подходу позволяет по-новому обсудить вопросы, касающиеся ресурсных ограничений формирования ПР в лимитированных условиях времени. Обращаясь к системно-деятельностному ресурсному и активационному подходу к анализу динамики выполнения сенсорной задачи (Гусев, 2004), нужно

уточнить, что при оценке точности формирования пространственной репрезентации мы учитывали только операциональный уровень и ситуативные переменные, обусловленные задачей, и не учитывали личностные переменных на надоперациональном уровне.

В предложенных нами пространственных задачах, сложность которых последовательно возрастает от формирования ЭПР статической сцены в условиях низкой нагрузки на ВПРП до формирования АПР динамической сцены в условиях высокой нагрузки на ВПРП, активация субъекта достаточна для эффективного решения задачи, что контролировалось правильным решением параллельной задачи. Точность же формирующихся репрезентаций в условиях возрастающей нагрузки на субъекта снижается, т.е. ресурсов становится недостаточно. Активированные функциональные системы обеспечивают только хорошую идентификацию, хорошую локализацию в топологических единицах и последовательно снижаются возможности формирования точной локализации в метрических единицах. (см. Рис.18)

Психологическая теория деятельности постулирует, что познающий субъект организует собственную деятельность (по решению пространственной задачи) в соответствии со своими целями (продиктованными условием пространственной задачи). Это означает, что ресурсные психологические ограничения обусловлены физиологическими. В отведенных физиологических рамках пространственная репрезентация будет формироваться не с максимально возможной точностью, а с необходимой и достаточной точностью для решения стоящей перед субъектом пространственной задачи.

Задаваемая пространственная задача, связанная с манипуляцией с объектами на расстоянии вытянутой руки, актуализирует формирование функционального органа (Ухтомский, 2002), как временное специфическое средство ее решения, объединяющее разнообразные ресурсы человека. Функциональный орган соответствует решаемой человеком задаче в целом и выступает как системное образование (Гусев, 2004). Под ресурсом понимается

энергетический резерв, который гибко распределяется в процессе переработки информации (Kahneman, 1973; Дормашев, Романов, 1995; Гусев, 2004).

В условиях возрастающей сложности решаемой пространственной задачи система действий и операций меняется. Ресурс распределяется в пользу восприятия и удержания в памяти данных об объектах (идентификация) и их приблизительной пространственной конфигурации (локализация в топологических единицах), а возможность сформировать и удержать данные о точных координатах (локализация в метрических единицах) происходит на основе остатков ресурсов. Можно предположить, что именно оценка точности локализации в метрических единицах может выступить маркером мотивационной вовлеченности в решаемую пространственную задачу или обращением к индивидуальным особенностям, обуславливающим успешность точного построения пространственной репрезентации. Такая постановка вопроса может служить основой дальнейших исследований по изучению психологических закономерностей формирования пространственных репрезентаций.

Выводы по Главе 4

Выявлено, что точность идентификации объектов при формировании эгоцентрических и аллоцентрических пространственных репрезентаций одинакова в статическом и динамическом условиях.

Процессы кодирования метрической локальной информации при формировании обоих типов репрезентаций динамических сцен ухудшаются по сравнению со статическими. При этом точность кодирования топологической глобальной информации остается стабильной по сравнению со статическим условием.

Показано, что время реконструкции сцены при формировании эгоцентрических и аллоцентрических пространственных репрезентаций динамических сцен не отличается по сравнению со статическим условием.

Выявлено, что пространственная нагрузка не влияет на точность идентификации и локализации эгоцентрических и аллоцентрических пространственных репрезентаций динамических сцен.

С точки зрения системно-деятельностного подхода показано изменение морфологии деятельности по решению пространственных задач через изменение системы действий и операций по формированию эгоцентрических и аллоцентрических пространственных репрезентаций в зависимости от решаемой субъектом пространственной задачи и условий.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Показано, что система визуально-пространственного блокнота рабочей памяти, отвечающая за временное кодирование визуальной и пространственной информации, играет ключевую роль в формировании эгоцентрических и аллоцентрических репрезентаций статических и динамических сцен.
2. Установлен приоритет формирования более точных и быстрых эгоцентрических пространственных репрезентаций, которые являются основой для формирования менее точных абстрактных аллоцентрических репрезентаций, что подчеркивает важную роль эгоцентрических репрезентаций в зрительно-пространственной памяти.
3. Уточнена архитектура рабочей памяти и представлена модифицированная модель визуально-пространственного блокнота, в составе которого:
 - подтвержден независимый характер визуальной системы, отвечающей за идентификацию объектов, и пространственной системы, отвечающей за кодирование локализации объектов;
 - в пространственной системе выделены метрическая подсистема, кодирующая локальную информацию о координатах объектов, и топологическая подсистема, кодирующая глобальную информацию о целостной конфигурации объектов всей сцены.
4. Установлена стабильность и устойчивость работы топологической подсистемы, кодирующей глобальную информацию о динамической конфигурации всех объектов, и резкое снижение эффективности метрической подсистемы, кодирующей локальную информацию (координаты движущихся объектов) при переходе от статического к динамическому условию наблюдения сцены.
5. Показана эвристичность системно-деятельностного подхода и принципа активности к проблеме формирования пространственных репрезентаций и предложена интерпретация процессов их формирования, которая:

- раскрывает структуру и ход перцептивной и мнемической деятельности по решению пространственных задач;
 - объясняет полученные данные через формирование и настройку функционального органа как временного специфического средства осуществления этой деятельности в зависимости от сложности решаемой пространственной задачи.
6. Разработана методика оценки точности формирования эгоцентрических и аллоцентрических пространственных репрезентаций при помощи 3D технологий виртуальной реальности на основе расчета точности идентификации объектов и их локализации (в топологических и метрических единицах), создан программно-аппаратный комплекс для ее реализации и проведена апробация.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное нами уточнение определения пространственных репрезентаций позволило разработать новую методику количественной оценки на основе расчета точности идентификации (запомненных объектов) и локализации (их точного расстояния до наблюдателя или между объектами в метрических единицах и общей конфигурации в топологических единицах). Также были преодолены методические и инструментальные ограничения, которые ограничивали возможности исследователей в проблеме изучения точности формирования эгоцентрических и аллоцентрических пространственных репрезентаций (ЭПР и АПР) на ранних этапах в рабочей памяти.

Разработан программно-аппаратный комплекс, обеспечивающий погружение участников в запрограммированную 3D виртуальную среду с библиотекой предметов, способами манипуляции ими при помощи контроллера, экспериментальными воздействиями и способами регистрации данных.

Впервые преодолены инструментальные ограничения и созданы экспериментальные условия для изучения ЭПР и АПР не только статических, но и динамических сцен. Полученные результаты восполнили дефицит эмпирических данных о точности формирования ЭПР и АПР.

Уточнены психологические механизмы их формирования в парадигме восходящих процессов – от более точных и быстрых сенсорных ЭПР к менее точным абстрактным АПР. Эти данные проливают свет не только на фундаментальные вопросы работы когнитивных структур мозга, но и важны в практическом применении: диагностике и реабилитации пространственных нарушений в восстановительной медицине, для построения и корректировки двигательных актов в спортивной психологии и т.д.

ЭПР и АПР статических и динамических сцен формируются уже на самых ранних этапах в визуально-пространственном блокноте рабочей памяти (ВПП) мультикомпонентной модели А.Бэддели. Показана однотипность процесса формирования пространственных репрезентаций в долговременной и рабочей памяти, что показывает их преемственный характер, оставляя открытым вопрос об их трансформации при переходе из рабочей памяти в долговременную.

Эмпирические данные позволили еще раз подтвердить положения об автономности работы обеспечивающего точную идентификацию объектов визуальной системы (ВС) и обеспечивающей кодирование информации о локализации объектов пространственной системы (ПС).

Новые данные позволили уточнить когнитивную архитектуру рабочей памяти. В структуре ПС выделены две подсистемы: метрическая пространственная (МПС), кодирующая информацию о точных координатах объектов в пространстве, и топологическая пространственная (ТПС), кодирующая общую схему, конфигурацию объектов.

Уникальные данные о формировании ЭПР и АПР динамических сцен показали, как меняется эффективность работы выделенных подсистем в условиях повышенной пространственной нагрузки. Ресурсы рабочей памяти перераспределяются в пользу ТПС, эффективность которой остается на высоком уровне и позволяет отслеживать важнейшие для выживания человека в окружающей среде признаки биологического движения (biological motion) – группы точек в пространстве, объединенных «общей судьбой». Сохранение и обработка глобальной информации (динамической конфигурации всех объектов) является приоритетной задачей в быстро изменяющихся условиях подвижной окружающей среды, поэтому на поддержание эффективности МПС, кодирующей метрическую локальную информацию (координаты движущихся объектов), ресурсов остается значительно меньше и точность ее работы существенно снижается.

Намеченная в докторской диссертации М.В.Фаликман линия интеграции когнитивного и системно-деятельностного подхода (Фаликман, 2015) получила развитие в нашей работе. Интерпретация полученных данных в логике системно-деятельностного подхода (Асмолов, 1985) и принципа активности к проблеме формирования пространственных репрезентаций позволила обсудить структуру и ход перцептивной и мнемической деятельности по решению пространственных задач через обращение к системе действий по реконструкции пространственной сцены, операций по формированию ЭПР и АПР и настройку функционального органа (Ухтомский, 2002; Гибсон, 1988), как временного специфического средства осуществления этой деятельности, в зависимости от сложности решаемой пространственной задачи. Это позволило рассмотреть процессы рабочей памяти с точки зрения более общего контекста различных научных представлений о человеке как субъекте познания, внося в обсуждение роль сенсорных процессов (Гусев, 2004, 2013), а также *физиологических механизмов* как реализаторов и средств деятельности (Гирппенрейтер, 1983). Полученные данные являются хорошей демонстрацией утверждения А.Г. Асмолова о том, что «задача рождает орган» (Асмолов, 2002).

Полученные данные не только раскрывают психологические механизмы, стоящие за решением практических пространственных задач, но и могут выступить основой для существенного уточнения нейрофизиологических представлений о теории пространственного познания.

Разработанная методика позволяет сравнивать характеристики разных типов пространственных репрезентаций в разных видах памяти на разных возрастных и нозологических группах. Это открывает широкие исследовательские возможности, с учетом доступности технологии виртуальной реальности и лёгкости тиражирования программного обеспечения. Теперь можно вести сбор эмпирических данных на различных возрастных и нозологических группах для дальнейшего изучения фундаментальных закономерностей кодирования пространственной информации. Область

применения полученных результатов широка: от психологии интеллекта и одаренности, организационной психологии до разработок компьютерного зрения, робототехники, киберпротезирования и других теоретических и практических сфер научного знания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Акимов М. К. и др. Руководство к применению теста структуры интеллекта Рудольфа Амтхауера. – 1993.
2. Арнхейм Р. 1974. Искусство и визуальное восприятие. Перевод с англ. Самохина В. Л. Общая редакция Шестакова В. П. М., Прогресс
3. Асмолов А. Г. Основные принципы психологического анализа в теории деятельности //Вопросы психологии. – 1982. – Т. 2. – С. 14.
4. Асмолов А. Г. Принципы организации памяти человека. Системно-деятельностный подход к изучению познавательных процессов. – 1985.
5. Асмолов А. Г. Психология личности: Принципы общепсихологического анализа. – 2002.
6. Асмолов А. Г., Михалевская М. Б. От психофизики чистых ощущений к психофизике сенсорных задач //Проблемы и методы психофизики. – 1974. – С. 5.
7. Асмолов А. Г., Михалевская М. Б. От психофизики чистых ощущений к психофизике сенсорных задач //Проблемы и методы психофизики. – 1974. – С. 5.
8. Асмолов А. Г., Шехтер Е. Д., Черноризов А. М. Сложность как символ познания человека: от постулата к предмету исследования //Вопросы психологии. – 2020. – №. 1. – С. 3-18.
9. Асмолов А.Г. Психология современности: вызовы неопределенности, сложности и разнообразия// Психологические исследования: электронный научный журнал. 2015. Т. 8. № 40. С. 1. URL:<http://psystudy.ru> (дата обращения: 30.06.2016)
10. Асмолов А.Г., Шехтер Е.Д., Черноризов А.М. По ту сторону гомеостаза: историко-эволюционный подход к развитию сложных систем. Вопросы психологии, 2014, №. 4, 3–15
11. Аткинсон Р. Человеческая память и процесс обучения. М.: Прогресс, 1980.528 с.
12. Бернштейн Н. А. Очерки по физиологии движений и физиологии активности //М.: медицина. – 1966. – Т. 350.
13. Блиникова И. В. Конструирование движений и образов: двойная диссоциация? //Вестник Московского государственного лингвистического университета. – 2010. – №. 586. – С. 29-47.
14. Блиникова И. В. Роль зрительного опыта в развитии психических функций. – 2013.
15. Блиникова И. В., Денисова Е. А. Влияние негативных психических состояний на использование когнитивных ресурсов //Прикладная юридическая психология. – 2012. – №. 4.
16. Бородай С. Ю. Современное понимание проблемы лингвистической относительности: работы по пространственной концептуализации //Вопросы языкознания. – 2013. – №. 4. – С. 17-54.
17. Брунер Д. Психология познания: за пределами непосредственной информации: Пер. с англ. – Прогресс, 1977.
18. Веккер Л.М. Психика и реальность: единая теория психических процессов. - М.: Смысл, 1998. – 685 с.
19. Величковский Б. Б. Когнитивные эффекты умственного утомления //Вестник Московского университета. Серия 14. Психология. – 2019. – №. 1. – С. 108-122.
20. Величковский Б. М. Зрительная память и модели переработки информации человеком //Вопросы психологии. – 1977. – №. 6. – С. 49-61.
21. Величковский Б. М., Блиникова И. В., Лапин Е. А. Представление реального и воображаемого пространства //Вопросы психологии. – 1986. – Т. 3. – С. 103-112.
22. Величковский Б.Б. Рабочая память человека: Структура и механизмы. М.: Когитоцентр, 2015. 247 с. ISBN 978-5-89353-467-2.
23. Величковский Б.М. Когнитивная наука: Основы психологии познания: в 2 т. Т. 2. М.: Смысл: Издательский центр «Академия», 2006. - 432 с.
24. Величковский Б.М. (1999) От уровней обработки к стратификации познания. // Вопросы психологии. No4. С.58-74
25. Величковский Б.М. (2006) Когнитивная наука. Основы психологии познания. М.: Академия. В 2 т.
26. Величковский, Б. Б., Гусев, А. Н., Виноградова, В. Ф., & Арбекова, О. А.. Когнитивный контроль и чувство присутствия в виртуальных средах //Experimental Psychology. – 2016. – Т. 9. – №. 1.
27. Вергеймер М. 1987. Продуктивное мышление. М.: Прогресс.
28. Войтов В. К., Косихин В. В., Ушаков Д. В. Рабочая память как перспективный конструкт когнитивной психологии и методы его измерения //Моделирование и анализ данных. – 2015. – Т. 5. – №. 1. – С. 57-78.

29. Выготский Л. С. Проблема развития и распада высших психических функций // Развитие высших психических функций. — М.: Изд во АПН РСФСР. — 1960. — С. 364-383.
30. Выготский Л. С. Проблемы развития психики // Собр. соч. — 1983. — Т. 3. — С. 144-146.
31. Гельмгольц Г. О. зрении человека. Новейшие успехи теории зрения // Популярные речи профессора Гельмгольца. — 2011. — С. 1-124.
32. Гершкович В. А., Фаликман М. В. История и основные направления современной когнитивной психологии // Методология и история психологии. — 2012. — Т. 7. — №. 4. — С. 7-34.
33. Гибсон Дж. (1988) Экологический подход к зрительному восприятию. М.: Прогресс.
34. Гиппенрейтер Ю.Б. (1983а) Внимание и деятельность. // Актуальные проблемы современной психологии. Материалы международной конференции. М.: Изд-во Моск. ун-та. С.62-64.
35. Гиппенрейтер Ю.Б. (1983б) Деятельность и внимание. // А.Н. Леонтьев и современная психология. / Под ред. А.В. Запорожца и др. М.: Изд-во Моск. ун-та. С.165-177.
36. Гиппенрейтер Ю.Б. (1983в) О деятельностном подходе к вниманию. // Категории, принципы и методы психологии. Психические процессы. Часть II. М. С.400-401.
37. Гусев А. Н. ОТ ПСИХОФИЗИКИ "ЧИСТЫХ" ОЩУЩЕНИЙ К ПСИХОФИЗИКЕ СЕНСОРНЫХ ЗАДАЧ: СИСТЕМНОДЕЯТЕЛЬНОСТНЫЙ ПОДХОД В ПСИХОФИЗИКЕ // Вопросы психологии. — 2013. — №. 3. — С. 143-155.
38. Гусев А. Н., Садовская Е. А. Влияние установок разного уровня на выраженность феномена слепота к изменению // Психологические исследования: электронный научный журнал. — 2015. — Т. 8. — №. 40. — С. 9-9.
39. Гусев А.Н. Психофизика сенсорных задач. Экспериментальное исследование поведения человека в ситуации неопределенности. Москва. Из-во МГУ. 2004, 326 с.
40. Гусев, А. Н. Психофизика сенсорных задач: Системно-деятельностный анализ поведения человека в ситуации неопределенности / А. Н. Гусев // М.: Изд-во Моск. ун-та; УМК «Психология», 2004. — 316 с.
41. Гусев, А.И. Толерантность к неопределенности как составляющая личностного потенциала. В кн.: Д.А. Леонтьев (Ред.), Личностный потенциал: структура и диагностика. М.: Смысл, 2011. С. 300–329.
42. Гусев, А.Н. Ощущение и восприятие / под. ред. А. Н. Гусев - М.: Издательский центр "Академия", 2007. - 416 с
43. Дормашев Ю. Б., Романов В. Я. Психология внимания. — 1995.
44. Дорохов Е. А., Гусев А. Н. О возможности изучения ментальных моделей пользователей компьютера: от когнитивных карт к образу мира // Вестник Московского университета. Серия 14. Психология. — 2019. — №. 3. — С. 47-65.
45. Запорожец А. В. Развитие восприятия в раннем и дошкольном возрасте // М., «Просвещение». — 1966.
46. Зинченко В. П. Работа понимания // Психологическая наука и образование. — 1997. — Т. 2. — №. 3.
47. Зинченко Ю. П., Шайгерова, Л. А. Долгих, А. Г., Савельева О. А. Методологические проблемы исследования влияния двуязычия на когнитивные процессы и этнокультурную идентичность // Вестник Московского университета. Серия 14. Психология. — 2019. — №. 1. — С. 174-194.
48. Зинченко Ю.П., Меньшикова Г.Я., Баяковский Ю.М., Черноризов А.М., Войскунский А.Е. Технологии виртуальной реальности: методологические аспекты, достижения и перспективы // Национальный психологический журнал. - 2010. - № 1(3). С. 54-62.
49. Иванников В.А. (2010) Основы психологии. Курс лекций. СПб.: Питер.
50. Ковязина М. С., Варако Н. А., Рассказова Е. И. Психологические аспекты проблемы реабилитации // Вопросы психологии. — 2017. — №. 3. — С. 40-50
51. Ковязина М.С., Рассказова Е.И., Меньшикова Г.Я., Ковалев А.И., Варако Н.А. Инновационные инструментальные технологии в системе клинко-психологической диагностики и реабилитации // Вестник Российского фонда фундаментальных исследований, издательство РФФИ (М.). 2019. № 4 (104), с. 17-24
52. Коул М. (1997) Культурно-историческая психология: наука будущего. М.: Когито-Центр.
53. Кричевец А. Н., Корнеев А. А., Рассказова Е. И. Основы статистики для психологов // М.: Акрополь. — 2019
54. Леонтьев А. Н. Анализ деятельности // Вестник МГУ. — 1983. — №. 2
55. Леонтьев А. Н. и др. Деятельность. Сознание. Личность. — Политиздат, 1975. — С. 207.
56. Леонтьев А.Н. (1973-75/2000) Лекции по общей психологии. М.: Смысл.
57. Леонтьев А.Н. (1975) Деятельность, сознание, личность. М.: Политиздат.

58. Леонтьев А.Н. (1983) Образ мира В кн.: Леонтьев А.Н. Избранные психологические произведения. М.: Педагогика. С. 251-261.
59. Лурия А. Р. Нарушения высших корковых функций при очаговых поражениях головного мозга //М: Изд-во МГУ. – 1962. – Т. 432.
60. Лурия А. Р., Цветкова Л. С. О некоторых нейропсихологических механизмах речевого высказывания //Семинар по психолингвистике: Тезисы докладов и сообщений.–М.: Институт языкознания. – 1966.
61. Маланов С. В. Два альтернативных теоретических подхода к исследованию генезиса и функциональной организации памяти //Мир психологии. – 2015. – №. 2. – С. 84-94.
62. Меньшикова Г. Я. и др. Формирование эгоцентрических и аллоцентрических пространственных репрезентаций в рабочей памяти //Вопросы психологии. – 2020. – №. 6. – С. 131-140.
63. Меньшикова Г. Я., Величковский Б. Б., Бугрий Г. С., & Савельева О. А. Точность формирования пространственных репрезентаций в рабочей памяти // Когнитивная наука в Москве: новые исследования. М.: ООО «Буки Веди», ИППип – 2021. – С. 285-290.
64. Меньшикова Г. Я., Ковалёв А. И. Векция в виртуальных средах: психологические и психофизиологические механизмы формирования //Национальный психологический журнал. – 2015. – №. 4 (20).
65. Меньшикова Г. Я., Савельева О. А., Ковязина М. С. Оценка успешности воспроизведения эгоцентрических и аллоцентрических пространственных репрезентаций при использовании систем виртуальной реальности // Национальный психологический журнал. – 2018. – №. 2 (30) – С. 113-122.
66. Меньшикова Г.Я., Савельева О.А., Величковский Б.Б., Бугрий Г.С. Формирование эгоцентрических и аллоцентрических пространственных репрезентаций в рабочей памяти // Вопросы психологии. – 2020.
67. Меньшикова Г.Я., Тетерева А.О., Пестун М.В. Влияние аффективных факторов на формирование когнитивных карт пространства // Естественно-научный подход в современной психологии/ Отв. ред. В. А. Барабанщиков. – М.: Изд-во «Институт психологии РАН», 2014. с.542-548.
68. Минский М. Фреймы для представления знаний. – Энергия, 1979.
69. Найсер У. Познание и реальность. " Прогресс". – 1981.
70. Нуркова В. В. Проблема неточности воспоминаний в перспективе многокомпонентной модели памяти //Мир психологии. – 2015. – №. 2. – С. 35-49.
71. Печенкова Е. В., Фаликман М. В. Модель решения перцептивной задачи в условиях быстрого последовательного предъявления зрительных стимулов //Психологический журнал. – 2001. – Т. 22. – №. 6. – С. 99-103.
72. Ришар Ж. Ф. Ментальная активность. Понимание, рассуждение, нахождение решений //М.: Ин-т психологии РАН. – 1998. – С. 12.
73. Рубинштейн С. Л. Воображение. Основы общей психологии //М.: Учпедгиз. – 1940..
74. Савельева О. А. Оценка точности формирования аллоцентрических и эгоцентрически пространственных представлений // Психология-наука будущего. М.: Изд-во «Институт психологии РАН» – 2017. – С. 693-697.
75. Савельева О. А., Меньшикова Г. Я. Оценка точности пространственного гнозиса с помощью систем виртуальной реальности // Психическое здоровье и образование. М.: ИД «Городец», – 2018. – С. 187-189.
76. Савельева О.А., Меньшикова Г.Я. Оценка успешности формирования пространственных представлений при использовании систем виртуальной реальности // Томск: Томский государственный университет – 2017. – С. 190.
77. Сергиенко Е. А. Раннее когнитивное развитие. – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт психологии РАН, 2006.
78. Смирнов С.Д. (1981) Мир образов и образ мира // Вестник Моск. ун-та. Сер.14: Психология. №2. С.15-29.
79. Тихомиров О. К. Психология мышления Текст. – 1984.
80. Уточкин И. С., Юревич М. А., Булатова М. Е. Зрительная рабочая память: методы, исследования, теории //Российский журнал когнитивной науки. – 2016. – Т. 3. – №. 3. – С. 58-76.
81. Ухтомский А.А. Доминанта. СПб.: Питер, 2002. Tolman E. C. Purposive behavior in animals and men. – Univ of California Press, 1932.
82. Ушаков Д. Психология интеллекта и одаренности. – Litres, 2019.
83. Фаликман М. В. Методология конструктивизма в психологии познания //Психологические исследования: электронный научный журнал. – 2016. – Т. 9. – №. 48. – С. 3-3.
84. Фаликман М. В. Структура и динамика зрительного внимания при решении перцептивных задач: конструктивно-деятельностный подход //М.: МГУ. – 2015.

85. Холодная М. А. Психология понятийного мышления. – Издательство Когито-Центр, 2012.
86. Шемякин Ф. Н. О психологии пространственных представлений //Уч. зап. Гос. ин-та психологии», М. – 1940.
87. Шемякин Ф. Н. Ориентация в пространстве // Психологическая наука в СССР / под ред. Б. Г. Ананьева и др.: в 2 т. – Т. 1. – М.: Изд-во АПН РСФСР, 1959. – С. 140–193
88. Юдин Э. Г. Системный подход и принцип деятельности. – М.: наука, 1978. – Т. 392.
89. Aagten-Murphy D., Bays P. M. Independent working memory resources for egocentric and allocentric spatial information //PLoS computational biology. – 2019. – Т. 15. – №. 2. – С. e1006563.
90. Abbott A. Neuroscience: Brains of Norway. Nature. 2014. V. 514. P. 154–157. doi: 10.1038/514154a
91. Aguirre, G.K., Detre, J.A., Alsop, D.C., D'Esposito, M., 1996. The parahippocampus subserves topographical learning in man. Cereb Cortex 6, 823-829.
92. Allen R. J., Ueno T. Multiple high-reward items can be prioritized in working memory but with greater vulnerability to interference //Attention, Perception, & Psychophysics. – 2018. – Т. 80. – №. 7. – С. 1731-1743.
93. Amorim, M. A., Glasauer, S., Corpinot, K., & Berthoz, A. (1997). Updating an object's orientation and location during nonvisual navigation: A comparison between two processing modes. Perception & Psychophysics, 59, 404–418
94. Auger, S.D., Maguire, E.A., 2013. Assessing the mechanism of response in the retrosplenial cortex of good and poor navigators. Cortex 49, 2904-2913.
95. Avraamides M. N. et al. Functional equivalence of spatial representations derived from vision and language: evidence from allocentric judgments //Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition. – 2004. – Т. 30. – №. 4. – С. 801.
96. Avraamides M. N., Kelly J. W. Multiple systems of spatial memory and action //Cognitive processing. – 2008. – Т. 9. – №. 2. – С. 93-106.
97. Baddeley A. D., Hitch G. Working memory //Psychology of learning and motivation. – Academic press, 1974. – Т. 8. – С. 47-89.
98. Baddeley A. The episodic buffer: a new component of working memory? //Trends in cognitive sciences. – 2000. – Т. 4. – №. 11. – С. 417-423.
99. Baddeley A. Working memory //Current biology. – 2010. – Т. 20. – №. 4. – С. R136-R140.
100. Baddeley A. Working memory //Science. – 1992. – Т. 255. – №. 5044. – С. 556-559.
101. Baddeley A. Working memory: theories, models, and controversies. Annual review of psychology 2012, 63, 1-29, DOI: 10.1146/annurev-psych-120710-100422
102. Baddeley A.D. Working memory. New York: Oxford University Press, 1986
103. Baeyens C., Bruyer R. Dissociating visual and spatial components of the visuospatial slave system of working memory //Cahiers de psychologie cognitive. – 1999. – Т. 18. – №. 3. – С. 307.
104. Barrouillet P., Camos V. As time goes by: Temporal constraints in working memory //Current Directions in Psychological Science. – 2012. – Т. 21. – №. 6. – С. 413-419.
105. Bartlett, F.C. (1932). Remembering: A study in experimental and social psychology, Cambridge, UK Cambridge University Press
106. Berti A., Smania N., Allport A. Coding of far and near space in neglect patients // Neuroimage. 2001. Vol. 14. P. 98-102.
107. Bianchini F. et al. A selective egocentric topographical working memory deficit in the early stages of Alzheimer's Disease: a preliminary study //American Journal of Alzheimer's Disease & Other Dementias®. – 2014. – Т. 29. – №. 8. – С. 749-754.
108. Blake R., Cepeda N. J., Hiris E. Memory for visual motion //Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance. – 1997. – Т. 23. – №. 2. – С. 353.
109. Blalock L. D., Clegg B. A. Encoding and representation of simultaneous and sequential arrays in visuospatial working memory //Quarterly Journal of Experimental Psychology. – 2010. – Т. 63. – №. 5. – С. 856-862.
110. Boccia, M., Guariglia, C., Sabatini, U., Nemmi, F., 2016a. Navigating toward a novel environment from a route or survey perspective: neural correlates and context-dependent connectivity. Brain Struct Funct 221, 2005-2021.
111. Boccia, M., Nemmi, F., Guariglia, C., 2014. Neuropsychology of environmental navigation in humans: review and meta-analysis of fMRI studies in healthy participants. Neuropsychol Rev 24, 236-251.
112. Boccia, M., Silveri, M.C., Sabatini, U., Guariglia, C., Nemmi, F., 2016b. Neural Underpinnings of the Decline of Topographical Memory in Mild Cognitive Impairment. Am J Alzheimers Dis Other Dement 31, 618-630.

113. Boccia, M., Sulpizio, V., Nemmi, F., Guariglia, C., Galati, G., 2017. Direct and indirect parieto-medial temporal pathways for spatial navigation in humans: evidence from resting-state functional connectivity. *Brain Struct Funct* 222, 1945-1957.
114. Bosco A., Longoni A. M., Vecchi T. Gender effects in spatial orientation: Cognitive profiles and mental strategies // *Applied Cognitive Psychology: The Official Journal of the Society for Applied Research in Memory and Cognition*. – 2004. – T. 18. – №. 5. – C. 519-532.
115. Brady T. F., Störmer V. S., Alvarez G. A. Working memory is not fixed-capacity: More active storage capacity for real-world objects than for simple stimuli // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. – 2016. – T. 113. – №. 27. – C. 7459-7464.
116. Broadbent H. J., Farran E. K., Tolmie A. Egocentric and allocentric navigation strategies in Williams syndrome and typical development // *Developmental Science*. – 2014. – T. 17. – №. 6. – C. 920-934.
117. Burgess N. Spatial memory: how egocentric and allocentric combine // *Trends in cognitive sciences*. – 2006. – T. 10. – №. 12. – C. 551-557.
118. Burgess N., Spiers H. J., Paleologou E. Orientational manoeuvres in the dark: dissociating allocentric and egocentric influences on spatial memory // *Cognition*. – 2004. – T. 94. – №. 2. – C. 149-166.
119. Burgess, N., 2008. Spatial cognition and the brain. *Ann N Y Acad Sci* 1124, 77-97.
120. Burgess, N., Becker, S., King, J.A., O'Keefe, J., 2001. Memory for events and their spatial context: models and experiments. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci* 356, 1493-1503.
121. Byrne, P., Becker, S., Burgess, N., 2007. Remembering the past and imagining the future: a neural model of spatial memory and imagery. *Psychol Rev* 114, 340-375.
122. Camos, V., & Barrouillet, P. (2011). Developmental change in working memory strategies: From passive maintenance to active refreshing. *Developmental Psychology*, 47(3), 898–904. <https://doi.org/10.1037/a0023193>
123. Cheville A. L. et al. Improving the delivery of function-directed care during acute hospitalizations: methods to develop and validate the Functional Assessment in Acute Care Multidimensional Computerized Adaptive Test (FAMCAT) // *Archives of Rehabilitation Research and Clinical Translation*. – 2021. – T. 3. – №. 2. – C. 100112.
124. Chieffi S., Allport D. A. Independent coding of target distance and direction in visuo-spatial working memory // *Psychological Research*. – 1997. – T. 60. – №. 4. – C. 244-250.
125. Cocchi L. et al. Visuo-spatial processing in a dynamic and a static working memory paradigm in schizophrenia // *Psychiatry research*. – 2007. – T. 152. – №. 2-3. – C. 129-142.
126. Colombo D. et al. Egocentric and allocentric spatial reference frames in aging: A systematic review // *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*. – 2017. – T. 80. – C. 605-621.
127. Coluccia E. Learning from maps: the role of visuo-spatial working memory // *Applied Cognitive Psychology: The Official Journal of the Society for Applied Research in Memory and Cognition*. – 2008. – T. 22. – №. 2. – C. 217-233.
128. Coluccia E., Bosco A., Brandimonte M. A. The role of visuo-spatial working memory in map learning: New findings from a map drawing paradigm // *Psychological research*. – 2007. – T. 71. – №. 3. – C. 359-372.
129. Coluccia E., Iouse G., Brandimonte M. The relationship between map drawing and spatial orientation abilities: A study of gender differences // *Journal of Environmental Psychology*. -2007. Vol. 27. P. 135-144.
130. Coluccia E., Martello A. Il ruolo della memoria di lavoro visuo-spaziale nell'orientamento geografico: uno studio correlazionale // *Giornale italiano di psicologia*. – 2004. – T. 31. – №. 3. – C. 523-552.
131. Committeri, G., Galati, G., Paradis, A.L., Pizzamiglio, L., Berthoz, A., LeBihan, D., 2004. Reference frames for spatial cognition: different brain areas are involved in viewer-, object-, and landmark-centered judgments about object location. *J Cogn Neurosci* 16, 1517-1535.
132. Conte A. et al. The development of the visuo-spatial working memory and its role in spatial memory // *Ricerche di Psicologia*. – 1995. – T. 19. – C. 95-114.
133. Cook, D., Kesner, R.P., 1988. Caudate nucleus and memory for egocentric localization. *Behav Neural Biol* 49, 332-343.
134. Courtney S. M. et al. Object and spatial visual working memory activate separate neural systems in human cortex // *Cerebral cortex*. – 1996. – T. 6. – №. 1. – C. 39-49.
135. Cowan N. An embedded-processes model of working memory. – 1999.
136. Cowan N. The magical number 4 in short-term memory: A reconsideration of mental storage capacity // *Behavioral and Brain Sciences*. 2001. Vol. 24 (1). P. 87—185. doi:10.1017/S0140525X01003922.
137. Craik F. I. M., Lockhart R. S. Levels of processing: A framework for memory research // *Journal of verbal learning and verbal behavior*. – 1972. – T. 11. – №. 6. – C. 671-684.

138. Dabbs Jr J. M. et al. Spatial ability, navigation strategy, and geographic knowledge among men and women // *Evolution and Human Behavior*. – 1998. – T. 19. – №. 2. – С. 89-98.
139. Dasen P. R., Mishra R. C. Development of geocentric spatial language and cognition: An eco-cultural perspective. – Cambridge University Press, 2010. – Т. 12.
140. Deadwyler S. et al. Methods and Devices for Improving Cognitive Function : заяв. пат. 16580764 США. – 2020
141. Della Sala, S., Gray, C., Baddeley, A. D., & Wilson, L. (1997). Visual pattern test. Bury St Edmunds, UK: Thames Valley Test Company.
142. Denis M. et al. Spatial discourse and navigation: An analysis of route directions in the city of Venice // *Applied Cognitive Psychology: The Official Journal of the Society for Applied Research in Memory and Cognition*. – 1999. – Т. 13. – №. 2. – С. 145-174.
143. Diwadkar V. A., McNamara T. P. Viewpoint dependence in scene recognition // *Psychological Science*. – 1997. – Т. 8. – №. 4. – С. 302-307.
144. Duncan J. (1984) Selective attention and the organization of visual information. // *Journal of Experimental Psychology: General*. 113(4): 501- 517.
145. Ekstrom, A.D., Kahana, M.J., Caplan, J.B., Fields, T.A., Isham, E.A., Newman, E.L., Fried, I., 2003. Cellular networks underlying human spatial navigation. *Nature* 425, 184-188.
146. Endress A. D., Wood J. N. From movements to actions: Two mechanisms for learning action sequences // *Cognitive psychology*. – 2011. – Т. 63. – №. 3. – С. 141-171.
147. Epstein, R.A., Higgins, J.S., 2007. Differential parahippocampal and retrosplenial involvement in three types of visual scene recognition. *Cereb Cortex* 17, 1680-1693.
148. Ericsson K. A., Kintsch W. Long-term working memory // *Psychological review*. – 1995. – Т. 102. – №. 2. – С. 211.
149. Evans E. A. Analysis of adhesion of large vesicles to surfaces // *Biophysical journal*. – 1980. – Т. 31. – №. 3. – С. 425-431.
150. Fabroyir H., Teng W. C. Navigation in virtual environments using head-mounted displays: Allocentric vs. egocentric behaviors // *Computers in Human Behavior*. – 2018. – Т. 80. – С. 331-343.
151. Filimon F. Are all spatial reference frames egocentric? Reinterpreting evidence for allocentric, object-centered, or world-centered reference frames // *Frontiers in Human Neuroscience*. -2015. -Vol. 9 (648). P. 1-21
152. Finke R. A. Principles of mental imagery. – The MIT Press, 1989.
153. Finlayson N. J., Zhang X., Golomb J. D. Differential patterns of 2D location versus depth decoding along the visual hierarchy // *NeuroImage*. – 2017. – Т. 147. – С. 507-516
154. Garavan H. Serial attention within working memory // *Memory & cognition*. – 1998. – Т. 26. – №. 2. – С. 263-276.
155. Garden, S., Cornoldi, C., & Logie, R. H. (2002). Visuo-spatial working memory in navigation. *Applied Cognitive Psychology*, 16(1), 35–50
156. Gazova, I., Laczó, J., Rubinova, E., Mokrisova, I., Hyncicova, E., Andel, R., Vyhnaček, M., Sheardova, K., Coulson, E.J., Hort, J., 2013. Spatial navigation in young versus older adults. *Front Aging Neurosci* 5, 94.
157. Goeke C. et al. Cultural background shapes spatial reference frame proclivity // *Scientific reports*. – 2015. – Т. 5. – №. 1. – С. 1-13.
158. Gregory R. L. Knowledge in perception and illusion // *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*. – 1997. – Т. 352. – №. 1358. – С. 1121-1127.
159. Grush, R.: Self, World and Space: The Meaning and Mechanisms of Ego- and Allocentric Spatial Representations. *Brain and Mind* 1, 59–92 (2000)
160. Gu Q. et al. Event-based encoding of biological motion and location in visual working memory // *Quarterly Journal of Experimental Psychology*. – 2020. – Т. 73. – №. 8. – С. 1261-1277.
161. Hafting T., Fyhn M., Molden S., Moser M.B., Moser E.I. Microstructure of a spatial map in the entorhinal cortex. *Nature*. 2005. V. 436. P. 801–806. doi: 10.1038/nature03721
162. Harris, M.A., Wiener, J.M., Wolbers, T., 2012. Aging specifically impairs switching to an allocentric navigational strategy. *Front Aging Neurosci* 4, 29.
163. Harris, M.A., Wolbers, T., 2014. How age-related strategy switching deficits affect wayfinding in complex environments. *Neurobiol Aging* 35, 1095-1102.
164. Hayward, W.G.: After the viewpoint debate: where next in object recognition? *Trends in Cognitive Sciences* 7, 425–427 (2003)
165. Heywood-Everett E., Baker D. H., Hartley T. Testing the precision of spatial memory representations using a change-detection task: Effects of viewpoint change // *Journal of Cognitive Psychology*. – 2020. – С. 1-15.

- 166.Hirtle SC, Jonides J. Evidence of hierarchies in cognitive maps. *Memory & Cognition*. 1985; 13(3):208– 217.
- 167.Hollingworth A. Object-position binding in visual memory for natural scenes and object arrays //Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance. – 2007. – T. 33. – №. 1. – C. 31.
- 168.Holmes M. C., Sholl M. J. Allocentric coding of object-to-object relations in overlearned and novel environments //Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition. – 2005. – T. 31. – №. 5. – C. 1069.
- 169.Iachini T., Ruggiero G. Egocentric and allocentric spatial frames of reference: a direct measure //Cognitive Processing. – 2006. – T. 7. – C. 126-127.
- 170.Iaria, G., Chen, J.K., Guariglia, C., Ptito, A., Petrides, M., 2007. Retrosplenial and hippocampal brain regions in human navigation: complementary functional contributions to the formation and use of cognitive maps. *Eur J Neurosci* 25, 890-899.
- 171.Jahn G., Knauff M., Johnson-Laird P. N. Preferred mental models in reasoning about spatial relations //Memory & cognition. – 2007. – T. 35. – №. 8. – C. 2075-2087.
- 172.Janzen, G., van Turenout, M., 2004. Selective neural representation of objects relevant for navigation. *Nat Neurosci* 7, 673-677.
- 173.Jiang Y., Chun M. M., Olson I. R. Perceptual grouping in change detection //Perception & Psychophysics. – 2004. – T. 66. – №. 3. – C. 446-453.
- 174.Johnson-Laird, P.N.: Mental models. Cambridge University Press, Cambridge (1983)
- 175.Jones N.A., Ross H., Lynam T. et al. Mental models: an interdisciplinary synthesis of theory and methods // Ecology and Society. 2011. Vol. 16, no. 1. Art. 46. URL: <http://www.ecologyandsociety.org/vol16/iss1/art46/> (date of retrieval: 12.10.2018) DOI: doi.org/10.5751/ES-03802-160146
- 176.Kahneman D. Attention and effort. – Englewood Cliffs, NJ : Prentice-Hall, 1973. – T. 1063. – C. 218-226
- 177.Kahneman D., Treisman A. (1984) Changing views of attention and automaticity. // Parasuraman R., Davies R. (Eds.). Varieties of attention. Orlando: Academic Press. Pp.29-61
- 178.Kane M. J. et al. Working memory, attention control, and the N-back task: a question of construct validity //Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition. – 2007. – T. 33. – №. 3. – C. 615.
- 179.Keefe J.O., Nadel L. The hippocampus as a cognitive map. Oxford: Clarendon Press, 1978
- 180.Kelly, J.W., McNamara, T.P.: Spatial memories of virtual environments: How egocentric experience, intrinsic structure, and extrinsic structure interact. *Psychonomic Bulletin & Review* 15, 322–327 (2008)
- 181.Klatzky R. L. Allocentric and egocentric spatial representations: Definitions, distinctions, and interconnections //Spatial cognition. – Springer, Berlin, Heidelberg, 1998. – C. 1-17.
- 182.Knight M. J., Tlauka M. Map learning and working memory: Multimodal learning strategies //The Quarterly Journal of Experimental Psychology. – 2017. – №. just-accepted. – C. 1-45.
- 183.Köhler S., Moscovitch M., Melo B. (2001). Episodic memory for object location versus episodic memory for object identity: do they rely on distinct encoding processes? // *Memory and Cognition*. 2001.Vol. 29. P. 948-959
- 184.Kosslyn S. M. Seeing and imagining in the cerebral hemispheres: a computational approach //Psychological review. – 1987. – T. 94. – №. 2. – C. 148.
- 185.Kosslyn S. M., Thompson W. L., Ganis G. The case for mental imagery. – Oxford University Press, 2006.
- 186.Kravitz, D.J., Saleem, K.S., Baker, C.I., Mishkin, M., 2011. A new neural framework for visuospatial processing. *Nat Rev Neurosci* 12, 217-230
- 187.Kreiman G. Biological and Computer Vision. – Cambridge University Press, 2021.
- 188.Landau B., Spelke E., Gleitman H. Spatial knowledge in a young blind child //Cognition. – 1984. – T. 16. – №. 3. – C. 225-260.
- 189.Levinson S. C. Frames of reference and Molyneux’s question: Crosslinguistic evidence //Language and space. – 1996. – T. 109. – C. 169.
- 190.Levinson S. C., Levinson S. C. Space in language and cognition: Explorations in cognitive diversity. – Cambridge University Press, 2003. – №. 5.
- 191.Li X. et al. Visual memory benefits from prolonged encoding time regardless of stimulus type //Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition. – 2020.
- 192.Lisi M., Cavanagh P. Dissociation between the perceptual and saccadic localization of moving objects //Current Biology. – 2015. – T. 25. – №. 19. – C. 2535-2540.
- 193.Logie, R.H. (1995). Visuo-spatial working memory, Hove, UK: Lawrence Erlbaum Associates.
- 194.Loomis J. M. et al. Spatial updating of locations specified by 3-d sound and spatial language //Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition. – 2002. – T. 28. – №. 2. – C. 335.

195. Lopez A. et al. The effect of aging on memory for recent and remote egocentric and allocentric information // *Experimental aging research*. – 2019. – T. 45. – №. 1. – C. 57-73.
196. Lopez A., Postma A., Bosco A. Categorical & coordinate spatial information: Can they be disentangled in sketch maps? // *Journal of Environmental Psychology*. – 2020. – T. 68. – C. 101392.
197. Luck S. J., Vogel E. K. The capacity of visual working memory for features and conjunctions // *Nature*. – 1997. – T. 390. – №. 6657. – C. 279-281.
198. Lynch K. The city image and its elements // MIT Press, Cambridge. – 1960. – T. 41. – C. 73.
199. Maguire E. A., Frith C. D. Lateral asymmetry in the hippocampal response to the remoteness of autobiographical memories // *Journal of Neuroscience*. – 2003. – T. 23. – №. 12. – C. 5302-5307.
200. Maguire, E.A., 2001. The retrosplenial contribution to human navigation: a review of lesion and neuroimaging findings. *Scand J Psychol* 42, 225-238
201. Majid A. et al. Can language restructure cognition? The case for space // *Trends in cognitive sciences*. – 2004. – T. 8. – №. 3. – C. 108-114.
202. May J., Barnard P. Comprehending Dynamic Scenes: Cognitive Lessons from Cinematography. – 2018.
203. McAfoose J., Baune B. T. Exploring visual-spatial working memory: A critical review of concepts and models // *Neuropsychology review*. – 2009. – T. 19. – №. 1. – C. 130-142.
204. McKeefry D. J., Burton M. P., Vakrou C. Speed selectivity in visual short term memory for motion // *Vision research*. – 2007. – T. 47. – №. 18. – C. 2418-2425.
205. McNamara, T.P., Slucenski, J., Rump, B.: Human Spatial Memory and Navigation. In: Roedinger III, H.L. (ed.) *Cognitive Psychology of Memory. Learning and Memory: A comprehensive Reference*, vol. 2, 4 vols. (J. Byrne Editor). Elsevier, Oxford (2008)
206. Meilinger T., Franz G., Bühlhoff H. H. From isovists via mental representations to behaviour: first steps toward closing the causal chain // *Environment and Planning B: Planning and Design*. – 2012. – T. 39. – №. 1. – C. 48-62
207. Meilinger T., Knauff M., Bühlhoff H. H. Working memory in wayfinding—A dual task experiment in a virtual city // *Cognitive Science*. – 2008. – T. 32. – №. 4. – C. 755-770.
208. Meilinger T., Vosgerau G. Putting egocentric and allocentric into perspective // *International Conference on Spatial Cognition*. – Springer, Berlin, Heidelberg, 2010. – C. 207-221.
209. Meilinger, T.: The network of reference frames theory: A synthesis of graphs and cognitive maps. In: Freksa, C., Newcombe, N.S., Gärdenfors, P., Wöfl, S. (eds.) *Spatial Cognition VI. LNCS (LNAI)*, vol. 5248, pp. 344–360. Springer, Heidelberg (2008)
210. Menshikova G., Bayakovski Yu., Luniakova E., Pestun M., Zakharkin, D. Virtual reality technology for the visual perception study // *Transactions on Computational Science XIX, Special Issue on Computer Graphics, LNCS 7870*, P. 107-117, Springer, 2013.
211. Menshikova G.Y., Tikhomandritskaya O.A., Saveleva O.A., & Popova T.V. Gender differences in interactions with avatars of diverse ethnic appearances // *Psychology in Russia: State of the art*. – 2018. – T. 11. – №. 4. – C. 211-222.
212. Menshikova G.Ya. An investigation of 3D images of the simultaneous-lightness- contrast illusion using a virtual reality technique // *Psychology in Russia: State of the Art*. Moscow: Russian Psychological Society, Lomonosov Moscow State University. 2013. Vol. 6 (3). P. 49-59.
213. Menshikova G.Ya., Kovalev A.I., Klimova O.A., Barabanschikova V.V. The application of virtual reality technology to test the motion sickness resistance // *Psychology in Russia: State of the Art*, 2017. Vol. 10 (3). P. 151-164.
214. Menshikova G.Ya., Saveleva O.A., Zinchenko Yu.P. The study of ethnic attitudes during interactions with avatars in virtual environments // *Psychology in Russia: State of the Art*. – 2018. – T. 11. – №. 1. – C. 20-31.
215. Miller L. K., Santoni V. Sex differences in spatial abilities: Strategic and experiential correlates // *Acta Psychologica*. – 1986. – T. 62. – №. 3. – C. 225-235.
216. Milner A. D., Goodale M. A. Oxford psychology series, No. 27. – 1995.
217. Milner A. D., Goodale M. A. Two visual systems re-viewed // *Neuropsychologia*. – 2008. – T. 46. – №. 3. – C. 774-785.
218. Milner A.D., Goodale M.A. (2006) *The Visual Brain in Action*. Oxford: Oxford University Press.
219. Milner, B. (1971). Interhemispheric differences in the localization of psychological processes in man. *British Medical Bulletin*, 27, 272–277.
220. Mishkin, M., Ungerleider, L. G., & Macko, K. A. (1983). Object vision and spatial vision: two cortical pathways. *Trends in neurosciences*, 6, 414—417.

221. Moffat, S.D., Elkins, W., Resnick, S.M., 2006. Age differences in the neural systems supporting human allocentric spatial navigation. *Neurobiol Aging* 27, 965-972.
222. Moraresku S., Vlcek K. The use of egocentric and allocentric reference frames in static and dynamic conditions in humans // *Physiological Research*. – 2020. – T. 69. – №. 5.
223. Morganti, F., Riva, G., 2014. Virtual reality as allocentric/egocentric technology for the assessment of cognitive decline in the elderly. *Stud Health Technol Inform* 196, 278-284.
224. Morganti, F., Stefanini, S., Riva, G., 2013. From allo- to egocentric spatial ability in early Alzheimer's disease: a study with virtual reality spatial tasks. *Cogn Neurosci* 4, 171-180.
225. Moser E.I., Roudi Y., Witter M.P., Kentros C., Bonhoeffer T., Moser M.B. Grid cells and cortical representation. *Nat. Rev. Neurosci.* 2014. V. 15. P. 466–481. doi: 10.1038/nrn3766
226. Mou W. et al. Roles of egocentric and allocentric spatial representations in locomotion and reorientation // *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*. – 2006. – T. 32. – №. 6. – C. 1274.
227. Mou, W., McNamara, T.P.: Intrinsic frames of reference in spatial memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition* 28, 162–170 (2002)
228. Mou, W., Xiao, C., McNamara, T.P.: Reference directions and reference objects in spatial memory of a briefly viewed layout. *Cognition* 108, 136–154 (2008)
229. Murphy D., Bays P. Independent working memory resources for egocentric and allocentric spatial information. – 2019.
230. Nairne J. S. A feature model of immediate memory // *Memory & Cognition*. – 1990. – T. 18. – №. 3. – C. 251-269.
231. Narasimhan S., Tripathy S. P., Barrett B. T. Loss of positional information when tracking multiple moving dots: The role of visual memory // *Vision Research*. – 2009. – T. 49. – №. 1. – C. 10-27.
232. Nardini, M., Thomas, R.L., Knowland, V.C.P., Braddick, O.J., Atkinson, J.: A viewpoint-independent process for spatial reorientation. *Cognition* 112, 241–248 (2009)
233. Nouhoum M. et al. A functional ultrasound brain GPS for automatic vascular-based neuronavigation // *Scientific Reports*. – 2021. – T. 11. – №. 1. – C. 1-12.
234. O'Keefe J. Place units in the hippocampus of the freely moving rat. *Exp. Neurol.* 1976. V. 51. P. 78–109. doi: 10.1016/0014-4886(76)90055-8
235. O'Keefe J., Dostrovsky J. The hippocampus as a spatial map. Preliminary evidence from unit activity in the freely-moving rat. *Brain Res.* 1971. V. 34. P. 171–175. doi: 10.1016/0006-8993(71)90358-1
236. O'Regan, J.K., Noë, A.: A sensorimotor account of vision and visual consciousness. *Behavioral and Brain Sciences* 22, 939–973 (2001a)
237. O'Regan, J.K., Noë, A.: What It is Like to See: A Sensorimotor Account of Vision and Visual Consciousness. *Synthese* 192, 79–103 (2001b)
238. Oberauer K. Access to information in working memory: exploring the focus of attention // *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*. – 2002. – T. 28. – №. 3. – C. 411.
239. Ono, T., Nakamura, K., Nishijo, H., Eifuku, S., 1993. Monkey hippocampal neurons related to spatial and nonspatial functions. *J Neurophysiol* 70, 1516-1529.
240. Pazzaglia, F., & Cornoldi, C. (1999). The role of distinct components of visual-spatial working memory in the processing of texts. *Memory*, 7(1), 19–41.
241. Piaget J. The construction of reality in the child (M. Cook, Trans.). New York, NY, US. – 1954.
242. Piaget J., Inhelder B. Die Psychologie des Kindes. – Fischer-Taschenbuch-Verlag, 1983.
243. Piaget J., Inhelder B. L'image mentale chez l'enfant. Paris: PUF, 1966.; Pick H. L. Comparative and developmental approaches to spatial cognition // Pick H.L., Acredolo L.P (eds) *Spatial orientation: Theory, research, and application*. N.Y.: Plenum, 1983. P. 73–78
244. Posner M.I., Boies S.J. Components of attention // *Psychological Review*, 1971. Vol 78(5). P. 391-408.
245. Potegal M. The caudate nucleus egocentric localization system // *Acta Neurobiol Exp (Wars)*. – 1972. – T. 32. – №. 2. – C. 479-494.
246. Pouliot S., Gagnon S. Is egocentric space automatically encoded? // *Acta Psychologica*. – 2005. – T. 118. – №. 3. – C. 193-210.
247. Rasche C., Velichkovsky B. M. A Framework for Simulating Human Visual Recognition Suitable for Neuromorphic Implementation // *ББК 28.071+ 32.818 М 34*. – 2009. – C. 57.
248. Raven R. J. The Development of a Test of Piaget's Operative Comprehension // *Science Education*. – 1977. – T. 61. – №. 3. – C. 271-8.

249. Rensink, R. A., O'Regan, J. K., & Clark, J. J. (1997). To see or not to see: The need for attention to perceive changes in scenes. *Psychological Science*, 8(5), 368-373.
250. Richardson, J. T. E., & Vecchi, T. (2002). A jigsaw-puzzle imagery task for assessing active visuospatial processes in old and young people. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 34(1), 69-82.
251. Rinck M., Denis M. The metrics of spatial distance traversed during mental imagery // *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*. – 2004. – T. 30. – №. 6. – C. 1211.
252. Ring M. et al. Allocentric versus egocentric spatial memory in adults with autism spectrum disorder // *Journal of autism and developmental disorders*. – 2018. – T. 48. – №. 6. – C. 2101-2111.
253. Rodgers, M.K., Sindone, J.A., 3rd, Moffat, S.D., 2012. Effects of age on navigation strategy. *Neurobiol Aging* 33, 202 e215-222.
254. Röhrich W.G.; Hardiess G.; Mallot H.P. View-Based Organization and Interplay of Spatial Working and Long-Term Memories. *PLoS ONE*, 2014, 9(11): e112793. doi:10.1371/journal.pone.0112793.
255. Rosenbaum, R.S., Ziegler, M., Winocur, G., Grady, C.L., Moscovitch, M., 2004. "I have often walked down this street before": fMRI studies on the hippocampus and other structures during mental navigation of an old environment. *Hippocampus* 14, 826-835.
256. Roskos-Ewoldsen B. et al. Mental representations of large and small spatial layouts are orientation dependent // *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*. – 1998. – T. 24. – №. 1. – C. 215.
257. Ruggiero G. et al. Egocentric metric representations in peripersonal space: A bridge between motor resources and spatial memory // *British Journal of Psychology*. – 2021. – T. 112. – №. 2. – C. 433-454.
258. Ruotolo F, Iachini T, Postma A, van der Ham IJ. (2011) Frames of reference and categorical and coordinate spatial relations: a hierarchical organization. *Exp Brain Res* 214(4):587-595.
259. Ruotolo F, Iachini T, Ruggiero G, van der Ham IJM, Postma A. (2016) Frames of reference and categorical/coordinate spatial relations in a "what was where" task. *Exp Brain Res* 234:2687-2696.
260. Ruotolo F, van der Ham I, Postma A, Ruggiero G, Iachini T. (2015) How coordinate and categorical spatial relations combine with egocentric and allocentric reference frames in a motor task: effects of delay and stimuli characteristics. *Behav Brain Res* 284:167-178.
261. Ruotolo F, van der Ham IJM, Iachini T, Postma A. (2011) The relationship between allocentric and egocentric frames of reference and categorical and coordinate spatial relations. *Q J Exp Psychol* 64 (6):1138-1156.
262. Ruotolo F., Claessen M. H. G., van der Ham I. J. M. Putting emotions in routes: the influence of emotionally laden landmarks on spatial memory // *Psychological research*. – 2019. – T. 83. – №. 5. – C. 1083-1095.
263. Sargent J. et al. Chunking in spatial memory // *Journal of Experimental Psychology: Learning, memory, and cognition*. – 2010. – T. 36. – №. 3. – C. 576.
264. Saveleva O., Zacharkin D., Menshikova G. Spatial memory: the accuracy of allocentric and egocentric spatial representations // *Materials of the IEEE International Symposium «Video and Audio Signal Processing in the Context of Neurotechnologies»*. June 30 — July 2, 2016. St. Petersburg, Russia P. 37-39
265. Saveleva O., Menshikova G., Velichkovskiy B., Bugriy G. The Accuracy of Allocentric and Egocentric Spatial Representations in Working Memory // *International Journal of Psychophysiology*. – 2021. – T. 168. – C. S204.
266. Schacter D. L., Wagner A. D., Buckner R. L. Memory systems of 1999. – 2000.
267. Schmitz, S. (1997). Gender related strategies in environmental development: Effect of anxiety on wayfinding in and representation of a three-dimensional maze. *Journal of Environmental Psychology*, 17, 215-228.
268. Serino S.; Cipresso P.; Morganti F.; Riva G. The role of egocentric and allocentric abilities in Alzheimer's disease: A systematic review. *Ageing Research Reviews*, 2014, 16, 32-44, DOI: 10.1016/j.arr.2014.04.004.
269. Shelton A. L., McNamara T. P. Multiple views of spatial memory // *Psychonomic Bulletin & Review*. – 1997. – T. 4. – №. 1. – C. 102-106.
270. Shelton A. L., McNamara T. P. Systems of spatial reference in human memory // *Cognitive psychology*. – 2001. – T. 43. – №. 4. – C. 274-310.
271. Shepard R. N., Chipman S. Second-order isomorphism of internal representations: Shapes of states // *Cognitive psychology*. – 1970. – T. 1. – №. 1. – C. 1-17.
272. Shepard R. N., Metzler J. Mental rotation of three-dimensional objects // *Science*. – 1971. – T. 171. – №. 3972. – C. 701-703.
273. Shepard S., Metzler D. Mental rotation: effects of dimensionality of objects and type of task // *Journal of experimental psychology: Human perception and performance*. – 1988. – T. 14. – №. 1. – C. 3.
274. Sholl M. J. From visual information to cognitive maps // *The construction of cognitive maps*. – Springer, Dordrecht, 1996. – C. 157-186.

275. Shooner C. et al. High-capacity, transient retention of direction-of-motion information for multiple moving objects // *Journal of Vision*. – 2010. – T. 10. – №. 6. – C. 8-8.
276. Siegel A. W., White S. H. The development of spatial representations of large-scale environments // *Advances in child development and behavior*. – JAI, 1975. – T. 10. – C. 9-55.
277. Simons, D.J., Wang, R.F.: Perceiving real-world viewpoint changes. *Psychological Science* 9, 315–320 (1998)
278. Sligte I. G., Scholte H. S., Lamme V. A. F. Are there multiple visual short-term memory stores? // *PLOS one*. – 2008. – T. 3. – №. 2. – C. e1699.
279. Smyth, M. M., & Scholey, K. A. (1994). Interference in immediate spatial memory. *Memory and Cognition*, 22, 1–13.
280. Smyth, M. M., & Waller, A. (1998). Movement imagery in rock climbing: Patterns of interference from visual, spatial and kinaesthetic secondary tasks. *Applied Cognitive Psychology*, 12, 145–157.
281. Stevens, A., Coupe, P.: Distortions in judged spatial relations. *Cognitive Psychology* 10, 422–437 (1978)
282. Sulpizio, V., Committeri, G., Lambrey, S., Berthoz, A., Galati, G., 2016. Role of the human retrosplenial cortex/parieto-occipital sulcus in perspective priming. *Neuroimage* 125, 108-119.
283. Takahashi, N., Kawamura, M., Shiota, J., Kasahata, N., Hirayama, K., 1997. Pure topographic disorientation due to right retrosplenial lesion. *Neurology* 49, 464-469.
284. Taube, J.S., Muller, R.U., Ranck, J.B., Jr., 1990. Head-direction cells recorded from the postsubiculum in freely moving rats. II. Effects of environmental manipulations. *J Neurosci* 10, 436-447.
285. Thorndyke P. W., Hayes-Roth B. Differences in spatial knowledge acquired from maps and navigation // *Cognitive psychology*. – 1982. – T. 14. – №. 4. – C. 560-589.
286. Tlauka, M., Nairn, M.J.: Encoding of multiple map orientations. *Spatial Cognition and Computation* 4, 359–372 (2004)
287. Tolman E. C. Cognitive maps in rats and men // *Psychological review*. – 1948. – T. 55. – №. 4. – C. 189.
288. Tulving E., Schacter D. L. Priming and human memory systems // *Science*. – 1990. – T. 247. – №. 4940. – C. 301-306.
289. Tulving, E. Episodic and semantic memory. In E. Tulving and W. Donaldson (Eds.), *Organization of Memory* (pp. 381—402). New York: Academic Press, 1972.
290. Tversky B. Distortions in cognitive maps // *Geoforum*. -1992. -Vol. 23 (2). P. 131–138.
291. Vanetti E. J., Allen G. L. Communicating environmental knowledge: The impact of verbal and spatial abilities on the production and comprehension of route directions // *Environment and Behavior*. – 1988. – T. 20. – №. 6. – C. 667-682.
292. Vann, S.D., Aggleton, J.P., Maguire, E.A., 2009. What does the retrosplenial cortex do? *Nat Rev Neurosci* 10, 792-802.
293. Vecchi, T., & Cornoldi, C. (1999). Passive storage and active manipulation in visuo-spatial working memory: Further evidence from the study of age differences. *European Journal of Cognitive Psychology*, 11(3), 391–40
294. Velichkovsky B. B. et al. Cognitive Control Influences the Sense of Presence in Virtual Environments with Different Immersion Levels // *International Conference on Augmented Reality, Virtual Reality and Computer Graphics*. – Springer, Cham, 2017. – C. 3-16.
295. Velichkovsky B.M. (2002) Heterarchy of cognition: the depths and the highs of a framework for memory research. // *Memory*. 10(5-6): 405-419.
296. Vosgerau, G.: *Mental Representation and Self-Consciousness. From Basic Self-Representation to Self-Related Cognition*. Mentis, Paderborn (2009)
297. Wagoner B. Bartlett's concept of schema in reconstruction. *Theory & Psychology*, 2013, 23(5), 553-575, DOI: 10.1177/0959354313500166.
298. Waller D., Hodgson E. Transient and enduring spatial representations under disorientation and self-rotation // *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*. – 2006. – T. 32. – №. 4. – C. 867.
299. Wang R. F. Theories of spatial representations and reference frames: What can configuration errors tell us? // *Psychonomic bulletin & review*. – 2012. – T. 19. – №. 4. – C. 575-587.
300. Wang R.F., Spelke E.S. Human spatial representation: insights from animals // *Trends in cognitive sciences*. -2002.-Vol. 6(9). P. 376-382.
301. Wang R.F., Spelke E.S. Updating egocentric representations in human navigation // *Cognition*. -2000.-Vol.77. P. 215–250.
302. Ward S. L., Newcombe N., Overton W. F. Turn left at the church, or three miles north: A study of direction giving and sex differences // *Environment and Behavior*. – 1986. – T. 18. – №. 2. – C. 192-213.

303. Wen W., Ishikawa T., Sato T. Individual differences in the encoding processes of egocentric and allocentric survey knowledge //Cognitive science. – 2013. – T. 37. – №. 1. – C. 176-192.
304. Wen W., Ishikawa T., Sato T. Working memory in spatial knowledge acquisition: Differences in encoding processes and sense of direction //Applied Cognitive Psychology. – 2011. – T. 25. – №. 4. – C. 654-662.
305. Wheeler M. E., Treisman A. M. Binding in short-term visual memory //Journal of Experimental Psychology: General. – 2002. – T. 131. – №. 1. – C. 48.
306. Wiener, J.M., Kmecova, H., de Condappa, O., 2012. Route repetition and route retracing: effects of cognitive aging. Front Aging Neurosci 4, 7.
307. Wilken P., Ma W. J. A detection theory account of change detection //Journal of vision. – 2004. – T. 4. – №. 12. – C. 11-11.
308. Wolbers, T., Buchel, C., 2005. Dissociable retrosplenial and hippocampal contributions to successful formation of survey representations. J Neurosci 25, 3333-3340.
309. Wolbers, T., Hegarty, M., 2010. What determines our navigational abilities? Trends Cogn Sci 14, 138-146.
310. Xiao, C., Mou, W., & McNamara, T. P. (2009). Use of self-to-object and object-to-object spatial relations in locomotion. Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 35, 1137–1147.
311. Yan-yan S. U. N. Visual Working Memory in Different Scenes //Journal of Weifang Engineering Vocational College. – 2013.
312. Zaehle, T., Jordan, K., Wustenberg, T., Baudewig, J., Dechent, P., Mast, F.W., 2007. The neural basis of the egocentric and allocentric spatial frame of reference. Brain Res 1137, 92-103.
313. Zhang K., Qian J. Working memory for depth indicates a serial-position effect //Journal of Vision. – 2018. – T. 18. – №. 10. – C. 702-702
314. Zhang W., Luck S. J. Discrete fixed-resolution representations in visual working memory //Nature. – 2008. – T. 453. – №. 7192. – C. 233-235.
315. Zhang, H., Ekstrom, A., 2013. Human neural systems underlying rigid and flexible forms of allocentric spatial representation. Hum Brain Mapp 34, 1070-1087.
316. Zinchenko Yu.P., Kovalev A.I., Menshikova G.Ya., Shaigerova L.A. Postnonclassical methodology and application of virtual reality technologies in social research // Psychology in Russia: State of the Art. 2015. Vol. 8(4). P. 60-71.
317. Zokaei N. et al. Precision of working memory for visual motion sequences and transparent motion surfaces //Journal of vision. – 2011. – T. 11. – №. 14. – C. 2-2.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1. Проверка распределений наборов данных по всем экспериментальным условиям на нормальность

Эгоцентрические репрезентации статических сцен при низкой нагрузке

Описательные статистики

	N	Среднее значение	Среднеквадратичная отклонения	Минимум	Максимум
Идентификация	41	,9878	,05452	,75	1,00
Метрика	41	,6463	,31611	,00	1,00
Топология	41	,8277880451	,11247441505	,40990500	,95459832
Время	41	30,7832	13,38987	9,76	60,00

Одновыборочный критерий Колмогорова-Смирнова

	Идентификация	Метрика	Топология
N	41	41	41
Параметры нормального распределения ^{a,b}			
Среднее значение	,9878	,6463	,8277880451
Среднеквадратичная отклонения	,05452	,31611	,11247441505
Наибольшие экстремальные расхождения			
Абсолютная	,540	,214	,228
Положительные	,412	,132	,141
Отрицательные	-,540	-,214	-,228
Статистика критерия	,540	,214	,228
Асимптотическая значимость (2-сторонняя)	,000 ^c	,000 ^c	,000 ^c

Одновыборочный критерий Колмогорова-Смирнова

	Время
N	41
Параметры нормального распределения ^{a,b}	
Среднее значение	30,7832
Среднеквадратичная отклонения	13,38987
Наибольшие экстремальные расхождения	
Абсолютная	,138
Положительные	,138
Отрицательные	-,073
Статистика критерия	,138
Асимптотическая значимость (2-сторонняя)	,046 ^c

a. Проверяемое распределение является нормальным.

b. Вычислено из данных.

c. Коррекция значимости Лиллиефорса.

Эгоцентрические репрезентации статических сцен при высокой нагрузке

Описательные статистики

	N	Среднее значение	Среднеквадратичная отклонения	Минимум	Максимум
Идентификация	38	,9671	,08564	,75	1,00
Метрика	38	,4605	,32114	,00	1,00
Топология	38	,8148318908	,07712541637	,60519327	,94338847
Время	38	34,5246	13,93677	15,19	60,00

Одновыборочный критерий Колмогорова-Смирнова

	Идентификация	Метрика	Топология
N	38	38	38
Параметры нормального распределения ^{a,b}			
Среднее значение	,9671	,4605	,8148318908
Среднеквадратичная отклонения	,08564	,32114	,07712541637
Наибольшие экстремальные расхождения			
Абсолютная	,518	,180	,091
Положительные	,350	,135	,048
Отрицательные	-,518	-,180	-,091
Статистика критерия	,518	,180	,091
Асимптотическая значимость (2-сторонняя)	,000 ^c	,003 ^c	,200 ^{c,d}

Одновыборочный критерий Колмогорова-Смирнова

	Время
N	38
Параметры нормального распределения ^{a,b}	
Среднее значение	34,5246
Среднеквадратичная отклонения	13,93677
Наибольшие экстремальные расхождения	
Абсолютная	,138
Положительные	,138
Отрицательные	-,105
Статистика критерия	,138
Асимптотическая значимость (2-сторонняя)	,067 ^c

a. Проверяемое распределение является нормальным.

b. Вычислено из данных.

c. Коррекция значимости Лиллиефорса.

d. Это нижняя граница истинной значимости.

Аллоцентрические репрезентации статических сцен при низкой нагрузке

Описательные статистики

	N	Среднее значение	Среднеквадратическая отклонения	Минимум	Максимум
Идентификация	39	,9808	,06749	,75	1,00
Метрика	39	,3590	,31306	,00	1,00
Топология	39	,7693399761	,08881066114	,54011223	,87631063
Время	39	40,8731	13,81934	19,11	60,00

Одновыборочный критерий Колмогорова-Смирнова

	Идентификация	Метрика	Топология
N	39	39	39
Параметры нормального распределения ^{a,b}			
Среднее значение	,9808	,3590	,7693399761
Среднеквадратическая отклонения	,06749	,31306	,08881066114
Наибольшие экстремальные расхождения			
Абсолютная	,535	,208	,197
Положительные	,388	,208	,114
Отрицательные	-,535	-,187	-,197
Статистика критерия	,535	,208	,197
Асимптотическая значимость (2-сторонняя)	,000 ^c	,000 ^c	,001 ^c

Одновыборочный критерий Колмогорова-Смирнова

	Время
N	39
Параметры нормального распределения ^{a,b}	
Среднее значение	40,8731
Среднеквадратическая отклонения	13,81934
Наибольшие экстремальные расхождения	
Абсолютная	,116
Положительные	,116
Отрицательные	-,102
Статистика критерия	,116
Асимптотическая значимость (2-сторонняя)	,200 ^{c,d}

a. Проверяемое распределение является нормальным.

b. Вычислено из данных.

c. Коррекция значимости Лиллиефорса.

d. Это нижняя граница истинной значимости.

Аллоцентрические репрезентации статических сцен при высокой нагрузке

Описательные статистики

	N	Среднее значение	Среднеквадратическая отклонения	Минимум	Максимум
Идентификация	38	,9408	,12239	,50	1,00

Метрика	38	,3158	,19868	,00	,75
Топология	38	,7667107509	,0848422262	,57485013	,92216177
Время	38	41,0287	11,95277	23,89	60,00

Одновыборочный критерий Колмогорова-Смирнова

		Идентификация	Метрика	Топология
N		38	38	38
Параметры нормального распределения ^{a,b}	Среднее значение	,9408	,3158	,7667107509
	Среднеквадратичная отклонения	,12239	,19868	,0848422262
Наибольшие экстремальные расхождения	Абсолютная	,475	,261	,146
	Положительные	,314	,261	,087
	Отрицательные	-,475	-,212	-,146
Статистика критерия		,475	,261	,146
Асимптотическая значимость (2-сторонняя)		,000 ^c	,000 ^c	,041 ^c

Одновыборочный критерий Колмогорова-Смирнова

		Время
N		38
Параметры нормального распределения ^{a,b}	Среднее значение	41,0287
	Среднеквадратичная отклонения	11,95277
Наибольшие экстремальные расхождения	Абсолютная	,208
	Положительные	,208
	Отрицательные	-,149
Статистика критерия		,208
Асимптотическая значимость (2-сторонняя)		,000 ^c

a. Проверяемое распределение является нормальным.

b. Вычислено из данных.

c. Коррекция значимости Лиллиефорса.

Эгоцентрические репрезентации динамических сцен при низкой нагрузке

Описательные статистики

	N	Среднее значение	Среднеквадратичная отклонения	Минимум	Максимум
Идентификация	45	,9667	,08594	,75	1,00
Метрика	45	,3833	,31802	,00	1,00
Топология	45	,7860790744	,08587068955	,58828147	,93617188
Время	45	35,1553	15,35057	11,39	60,00

Одновыборочный критерий Колмогорова-Смирнова

		Идентификация	Метрика	Топология
		я		

N		45	45	45
Параметры нормального распределения ^{a,b}	Среднее значение	,9667	,3833	,7860790744
	Среднеквадратичная отклонения	,08594	,31802	,08587068955
Наибольшие экстремальные расхождения	Абсолютная	,518	,240	,081
	Положительные	,349	,240	,081
	Отрицательные	-,518	-,164	-,081
Статистика критерия		,518	,240	,081
Асимптотическая значимость (2-сторонняя)		,000 ^c	,000 ^c	,200 ^{c,d}

Одновыборочный критерий Колмогорова-Смирнова

		Время
N		45
Параметры нормального распределения ^{a,b}	Среднее значение	35,1553
	Среднеквадратичная отклонения	15,35057
Наибольшие экстремальные расхождения	Абсолютная	,147
	Положительные	,147
	Отрицательные	-,105
Статистика критерия		,147
Асимптотическая значимость (2-сторонняя)		,015 ^c

a. Проверяемое распределение является нормальным.

b. Вычислено из данных.

c. Коррекция значимости Лиллиефорса.

d. Это нижняя граница истинной значимости.

Эгоцентрические репрезентации динамических сцен при высокой нагрузке

Описательные статистики

	N	Среднее значение	Среднеквадратичная отклонения	Минимум	Максимум
Идентификация	37	,9730	,07870	,75	1,00
Метрика	37	,3514	,31983	,00	1,00
Топология	37	,7816307530	,10849904177	,52955572	,93981995
Время	37	35,5336	12,39649	22,01	60,00

Одновыборочный критерий Колмогорова-Смирнова

		Идентификация	Метрика	Топология
N		37	37	37
Параметры нормального распределения ^{a,b}	Среднее значение	,9730	,3514	,7816307530
	Среднеквадратичная отклонения	,07870	,31983	,10849904177
Наибольшие	Абсолютная	,526	,192	,179

экстремальные	Положительные	,366	,192	,081
расхождения	Отрицательные	-,526	-,136	-,179
Статистика критерия		,526	,192	,179
Асимптотическая значимость (2-сторонняя)		,000 ^c	,001 ^c	,004 ^c

Одновыборочный критерий Колмогорова-Смирнова

		Время
N		37
Параметры нормального	Среднее значение	35,5336
распределения ^{a,b}	Среднеквадратичная отклонения	12,39649
Наибольшие экстремальные	Абсолютная	,223
расхождения	Положительные	,223
	Отрицательные	-,138
Статистика критерия		,223
Асимптотическая значимость (2-сторонняя)		,000 ^c

a. Проверяемое распределение является нормальным.

b. Вычислено из данных.

c. Коррекция значимости Лиллиефорса.

Аллоцентрические репрезентации динамических сцен при низкой нагрузке

Описательные статистики

	N	Среднее значение	Среднеквадратичная отклонения	Минимум	Максимум
Идентификация	43	,9477	,10291	,75	1,00
Метрика	43	,2093	,28311	,00	1,00
Топология	43	,7587764070	,09178250414	,51062850	,89573520
Время	43	40,0480	13,87159	15,45	60,00

Одновыборочный критерий Колмогорова-Смирнова

		Идентификация	Метрика	Топология
N		43	43	43
Параметры нормального	Среднее значение	,9477	,2093	,7587764070
распределения ^{a,b}	Среднеквадратичная отклонения	,10291	,28311	,09178250414
Наибольшие	Абсолютная	,485	,328	,100
экстремальные	Положительные	,306	,328	,068
расхождения	Отрицательные	-,485	-,230	-,100
Статистика критерия		,485	,328	,100
Асимптотическая значимость (2-сторонняя)		,000 ^c	,000 ^c	,200 ^{c,d}

Одновыборочный критерий Колмогорова-Смирнова

		Время
--	--	-------

N		43
Параметры нормального распределения ^{a,b}	Среднее значение	40,0480
	Среднеквадратичная отклонения	13,87159
Наибольшие экстремальные расхождения	Абсолютная	,112
	Положительные	,095
	Отрицательные	-,112
Статистика критерия		,112
Асимптотическая значимость (2-сторонняя)		,200 ^{c,d}

a. Проверяемое распределение является нормальным.

b. Вычислено из данных.

c. Коррекция значимости Лиллиефорса.

d. Это нижняя граница истинной значимости.

Аллоцентрические репрезентации динамических сцен при высокой нагрузке

Описательные статистики

	N	Среднее значение	Среднеквадратичная отклонения	Минимум	Максимум
Идентификация	40	,9313	,12643	,50	1,00
Метрика	40	,2000	,25445	,00	,75
Топология	40	,7552130800	,09193659069	,53009290	,90279220
Время	40	40,7122	12,19511	15,88	60,00

Одновыборочный критерий Колмогорова-Смирнова

	Идентификация	Метрика	Топология
N	40	40	40
Параметры нормального распределения ^{a,b}	Среднее значение	,9313	,2000
	Среднеквадратичная отклонения	,12643	,25445
Наибольшие экстремальные расхождения	Абсолютная	,457	,309
	Положительные	,293	,309
	Отрицательные	-,457	-,216
Статистика критерия	,457	,309	,096
Асимптотическая значимость (2-сторонняя)	,000 ^c	,000 ^c	,200 ^{c,d}

Одновыборочный критерий Колмогорова-Смирнова

	Время
N	40
Параметры нормального распределения ^{a,b}	Среднее значение
	Среднеквадратичная отклонения
Наибольшие экстремальные расхождения	Абсолютная
	Положительные
	Отрицательные

Статистика критерия	,071
Асимптотическая значимость (2-сторонняя)	,200 ^{c,d}

- a. Проверяемое распределение является нормальным.
- b. Вычислено из данных.
- c. Коррекция значимости Лиллиефорса.
- d. Это нижняя граница истинной значимости.

Приложение 2. Проверка гипотез первого эксперимента.

Сравнение точности идентификации, локализации и времени реконструкции ЭПР и АПР статических сцен

Двухфакторный дисперсионный анализ

Общая линейная модель

Межгрупповые факторы

	Метка значения	N
Репрезентация	1,00 AP	77
	2,00 ЭР	79
Нагрузка	2,00 Низкая	80
	6,00 Высокая	76

Описательные статистики

	Репрезентация	Нагрузка	Среднее значение	Стандартная отклонения	N
Идентификация	AP	Низкая	,9808	,06749	39
		Высокая	,9408	,12239	38
		Всего	,9610	,09988	77
	ЭР	Низкая	,9878	,05452	41
		Высокая	,9671	,08564	38
		Всего	,9778	,07150	79
	Всего	Низкая	,9844	,06090	80
		Высокая	,9539	,10576	76
		Всего	,9696	,08680	156
Метрика	AP	Низкая	,3590	,31306	39
		Высокая	,3158	,19868	38
		Всего	,3377	,26210	77
	ЭР	Низкая	,6463	,31611	41
		Высокая	,4605	,32114	38
		Всего	,5570	,32999	79
	Всего	Низкая	,5063	,34443	80

		Высокая	,3882	,27506	76
		Всего	,4487	,31714	156
Топология	AP	Низкая	,7693399761	,08881066114	39
		Высокая	,7667107509	,08484222262	38
		Всего	,7680424364	,08631225633	77
	ЭР	Низкая	,8277880451	,11247441505	41
		Высокая	,8148318908	,07712541637	38
		Всего	,8215559709	,09670325071	79
	Всего	Низкая	,7992946114	,10518334018	80
		Высокая	,7907713208	,08409668593	76
		Всего	,7951422391	,09528461823	156
Время	AP	Низкая	40,8731	13,81934	39
		Высокая	41,0287	11,95277	38
		Всего	40,9499	12,84709	77
	ЭР	Низкая	30,7832	13,38987	41
		Высокая	34,5246	13,93677	38
		Всего	32,5828	13,69740	79
	Всего	Низкая	35,7020	14,43599	80
		Высокая	37,7767	13,30491	76
		Всего	36,7127	13,89075	156

Критерий Бокса на эквивалентность ковариационных матриц^а

М Бокса	82,836
F	2,630
ст.св.1	30
ст.св.2	63077,845
Знач.	,000

Проверяет нулевую гипотезу, что наблюдаемые ковариационные матрицы зависимых переменных равны для групп.^а

а. Структура: Свободный член + Репрезентация + Нагрузка + Репрезентация * Нагрузка

Многомерные критерии^а

Эффект		Значение	F	Ст.св. гипотезы
Свободный член	След Пиллаи	,996	9118,908 ^b	4,000
	Лямбда Уилкса	,004	9118,908 ^b	4,000
	След Хотеллинга	244,803	9118,908 ^b	4,000
	Наибольший корень Роя	244,803	9118,908 ^b	4,000
Репрезентация	След Пиллаи	,178	8,059 ^b	4,000
	Лямбда Уилкса	,822	8,059 ^b	4,000
	След Хотеллинга	,216	8,059 ^b	4,000
	Наибольший корень Роя	,216	8,059 ^b	4,000
Нагрузка	След Пиллаи	,061	2,402 ^b	4,000
	Лямбда Уилкса	,939	2,402 ^b	4,000

	След Хотеллинга	,064	2,402 ^b	4,000
	Наибольший корень Роя	,064	2,402 ^b	4,000
Репрезентация * Нагрузка	След Пиллаи	,025	,955 ^b	4,000
	Лямбда Уилкса	,975	,955 ^b	4,000
	След Хотеллинга	,026	,955 ^b	4,000
	Наибольший корень Роя	,026	,955 ^b	4,000

Многомерные критерии^a

Эффект		Ошибка ст.св.	Знач.
Свободный член	След Пиллаи	149,000	,000
	Лямбда Уилкса	149,000	,000
	След Хотеллинга	149,000	,000
	Наибольший корень Роя	149,000	,000
Репрезентация	След Пиллаи	149,000	,000
	Лямбда Уилкса	149,000	,000
	След Хотеллинга	149,000	,000
	Наибольший корень Роя	149,000	,000
Нагрузка	След Пиллаи	149,000	,052
	Лямбда Уилкса	149,000	,052
	След Хотеллинга	149,000	,052
	Наибольший корень Роя	149,000	,052
Репрезентация * Нагрузка	След Пиллаи	149,000	,434
	Лямбда Уилкса	149,000	,434
	След Хотеллинга	149,000	,434
	Наибольший корень Роя	149,000	,434

a. Структура: Свободный член + Репрезентация + Нагрузка + Репрезентация * Нагрузка

b. Точная статистика

Критерий равенства дисперсий ошибок Ливиня^a

	F	ст.св.1	ст.св.2	Знач.
Идентификация	9,530	3	152	,000
Метрика	4,525	3	152	,005
Топология	,495	3	152	,687
Время	,340	3	152	,796

Проверяет нулевую гипотезу, что дисперсия ошибок зависимой переменной одинакова по группам.^a

a. Структура: Свободный член + Репрезентация + Нагрузка + Репрезентация * Нагрузка

Критерии межгрупповых эффектов

		Сумма квадратов типа III	ст.св.	Средний квадрат
Источник	Зависимая переменная	III	ст.св.	квadrat
Скорректированная модель	Идентификация	,050 ^a	3	,017
	Метрика	2,592 ^b	3	,864

	Топология	,115 ^c	3	,038
	Время	3006,365 ^d	3	1002,122
Свободный член	Идентификация	146,372	1	146,372
	Метрика	30,919	1	30,919
	Топология	98,419	1	98,419
	Время	211085,587	1	211085,587
Репрезентация	Идентификация	,011	1	,011
	Метрика	1,819	1	1,819
	Топология	,111	1	,111
	Время	2682,180	1	2682,180
Нагрузка	Идентификация	,036	1	,036
	Метрика	,511	1	,511
	Топология	,002	1	,002
	Время	147,933	1	147,933
Репрезентация * Нагрузка	Идентификация	,004	1	,004
	Метрика	,198	1	,198
	Топология	,001	1	,001
	Время	125,248	1	125,248
Ошибка	Идентификация	1,118	152	,007
	Метрика	12,998	152	,086
	Топология	1,292	152	,009
	Время	26901,350	152	176,983
Всего	Идентификация	147,813	156	
	Метрика	47,000	156	
	Топология	100,038	156	
	Время	240168,274	156	
Скорректированный итог	Идентификация	1,168	155	
	Метрика	15,590	155	
	Топология	1,407	155	
	Время	29907,715	155	

Критерии межгрупповых эффектов

Источник	Зависимая переменная	F	Знач.
Скорректированная модель	Идентификация	2,277	,082
	Метрика	10,104	,000
	Топология	4,514	,005
	Время	5,662	,001
Свободный член	Идентификация	19906,825	,000
	Метрика	361,578	,000
	Топология	11577,239	,000
	Время	1192,691	,000

Репрезентация	Идентификация	1,474	,227
	Метрика	21,269	,000
	Топология	13,013	,000
	Время	15,155	,000
Нагрузка	Идентификация	4,878	,029
	Метрика	5,974	,016
	Топология	,278	,599
	Время	,836	,362
Репрезентация * Нагрузка	Идентификация	,492	,484
	Метрика	2,317	,130
	Топология	,122	,727
	Время	,708	,402
Ошибка	Идентификация		
	Метрика		
	Топология		
	Время		
Всего	Идентификация		
	Метрика		
	Топология		
	Время		
Скорректированный итог	Идентификация		
	Метрика		
	Топология		
	Время		

- a. R-квадрат = ,043 (Скорректированный R-квадрат = ,024)
b. R-квадрат = ,166 (Скорректированный R-квадрат = ,150)
c. R-квадрат = ,082 (Скорректированный R-квадрат = ,064)
d. R-квадрат = ,101 (Скорректированный R-квадрат = ,083)

Сравнение средних показателей точности идентификации, локализации и времени реконструкции ЭПР и АПР статических сцен при низкой нагрузке.

Т-критерий

Статистика группы

Репрезентация		N	Среднее значение	Стандартная отклонения	Среднекв. ошибка среднего
Идентификация	АР	39	,9808	,06749	,01081
	ЭР	41	,9878	,05452	,00851
Метрика	АР	39	,3590	,31306	,05013
	ЭР	41	,6463	,31611	,04937
Топология	АР	39	,7693399761	,08881066114	,01422108721

	ЭР	41	,8277880451	,11247441505	,01756555251
Время	АР	39	40,8731	13,81934	2,21287
	ЭР	41	30,7832	13,38987	2,09115

Критерий для независимых выборок

		Критерий равенства дисперсий Ливиня		t-критерий для равенства средних
		F	Знач.	t
Идентификация	Предполагаются равные дисперсии	1,069	,304	-,514
	Не предполагаются равные дисперсии			-,511
Метрика	Предполагаются равные дисперсии	,022	,883	-4,083
	Не предполагаются равные дисперсии			-4,084
Топология	Предполагаются равные дисперсии	,003	,959	-2,571
	Не предполагаются равные дисперсии			-2,586
Время	Предполагаются равные дисперсии	,368	,546	3,317
	Не предполагаются равные дисперсии			3,314

Критерий для независимых выборок

		t-критерий для равенства средних		
		ст.св.	Знач. (2-х сторонняя)	Разность средних
Идентификация	Предполагаются равные дисперсии	78	,609	-,00704
	Не предполагаются равные дисперсии	73,072	,611	-,00704
Метрика	Предполагаются равные дисперсии	78	,000	-,28737
	Не предполагаются равные дисперсии	77,869	,000	-,28737
Топология	Предполагаются равные дисперсии	78	,012	-,05844806900
	Не предполагаются равные дисперсии	75,485	,012	-,05844806900

Время	Предполагаются равные дисперсии	78	,001	10,08991
	Не предполагаются равные дисперсии	77,477	,001	10,08991

Критерий для независимых выборок

		t-критерий для равенства средних		
		Среднеквадратичная ошибка разности	95% доверительный интервал для разности	
			Нижняя	Верхняя
Идентификация	Предполагаются равные дисперсии	,01369	-,03428	,02021
	Не предполагаются равные дисперсии	,01376	-,03446	,02038
Метрика	Предполагаются равные дисперсии	,07038	-,42747	-,14726
	Не предполагаются равные дисперсии	,07036	-,42744	-,14729
Топология	Предполагаются равные дисперсии	,02273371969	-,10370742821	-,01318870978
	Не предполагаются равные дисперсии	,02260061850	-,10346607273	-,01343006526
Время	Предполагаются равные дисперсии	3,04218	4,03340	16,14643
	Не предполагаются равные дисперсии	3,04461	4,02791	16,15192

Критерии Нраг Критерий Манна-Уитни

		Ряды		
	Репрезентация	N	Средний ранг	Сумма рангов
Идентификация	AP	39	39,92	1557,00
	ЭР	41	41,05	1683,00
	Всего	80		
Метрика	AP	39	30,76	1199,50
	ЭР	41	49,77	2040,50
	Всего	80		
Топология	AP	39	32,10	1252,00
	ЭР	41	48,49	1988,00
	Всего	80		
Время	AP	39	48,74	1901,00
	ЭР	41	32,66	1339,00
	Всего	80		

Статистические критерии^а

	Идентификация	Метрика	Топология	Время
U Манна-Уитни	777,000	419,500	472,000	478,000
W Вилкоксона	1557,000	1199,500	1252,000	1339,000
Z	-,517	-3,740	-3,152	-3,096
Асимптотическая значимость (2-сторонняя)	,605	,000	,002	,002

а. Группирующая переменная: Репрезентация

Сравнение средних показателей точности идентификации, локализации и времени реконструкции ЭПР и АПР статических сцен при высокой нагрузке.

Т-критерий

Статистика группы

Репрезентация		N	Среднее значение	Стандартная отклонения	Среднекв. ошибка среднего
Идентификация	АР	38	,9408	,12239	,01986
	ЭР	38	,9671	,08564	,01389
Метрика	АР	38	,3158	,19868	,03223
	ЭР	38	,4605	,32114	,05210
Топология	АР	38	,7667107509	,08484222262	,01376322593
	ЭР	38	,8148318908	,07712541637	,01251139465
Время	АР	38	41,0287	11,95277	1,93899
	ЭР	38	34,5246	13,93677	2,26084

Критерий для независимых выборок

		Критерий равенства дисперсий Ливиня		t-критерий для равенства средних
		F	Знач.	t
Идентификация	Предполагаются равные дисперсии	5,030	,028	-1,086
	Не предполагаются равные дисперсии			-1,086
Метрика	Предполагаются равные дисперсии	7,989	,006	-2,363
	Не предполагаются равные дисперсии			-2,363

Топология	Предполагаются равные дисперсии	,550	,461	-2,587
	Не предполагаются равные дисперсии			-2,587
Время	Предполагаются равные дисперсии	,638	,427	2,184
	Не предполагаются равные дисперсии			2,184

Критерий для независимых выборок

		t-критерий для равенства средних		
		ст.св.	Знач. (2-х сторонняя)	Разность средних
Идентификация	Предполагаются равные дисперсии	74	,281	-,02632
	Не предполагаются равные дисперсии	66,225	,281	-,02632
Метрика	Предполагаются равные дисперсии	74	,021	-,14474
	Не предполагаются равные дисперсии	61,705	,021	-,14474
Топология	Предполагаются равные дисперсии	74	,012	-,04812113989
	Не предполагаются равные дисперсии	73,337	,012	-,04812113989
Время	Предполагаются равные дисперсии	74	,032	6,50407
	Не предполагаются равные дисперсии	72,321	,032	6,50407

Критерий для независимых выборок

		t-критерий для равенства средних		
		Среднеквадратичная ошибка разности	95% доверительный интервал для разности	
			Нижняя	Верхняя
Идентификация	Предполагаются равные дисперсии	,02423	-,07460	,02197
	Не предполагаются равные дисперсии	,02423	-,07470	,02206
Метрика	Предполагаются равные дисперсии	,06126	-,26680	-,02267
	Не предполагаются равные дисперсии	,06126	-,26720	-,02227

Топология	Предполагаются равные дисперсии	,01860003720	-,08518252303	-,01105975676
	Не предполагаются равные дисперсии	,01860003720	-,08518808996	-,01105418983
Время	Предполагаются равные дисперсии	2,97844	,56940	12,43874
	Не предполагаются равные дисперсии	2,97844	,56711	12,44103

Критерии Нраг Критерий Манна-Уитни

Ряды				
	Репрезентация	N	Средний ранг	Сумма рангов
Идентификация	AP	38	36,93	1403,50
	ЭР	38	40,07	1522,50
	Всего	76		
Метрика	AP	38	33,24	1263,00
	ЭР	38	43,76	1663,00
	Всего	76		
Топология	AP	38	32,45	1233,00
	ЭР	38	44,55	1693,00
	Всего	76		
Время	AP	38	44,26	1682,00
	ЭР	38	32,74	1244,00
	Всего	76		

Статистические критерии^а

	Идентификация	Метрика	Топология	Время
U Манна-Уитни	662,500	522,000	492,000	503,000
W Вилкоксона	1403,500	1263,000	1233,000	1244,000
Z	-,946	-2,156	-2,389	-2,279
Асимптотическая значимость (2-сторонняя)	,344	,031	,017	,023

а. Группирующая переменная: Репрезентация

Сравнение средних показателей точности идентификации, локализации и времени реконструкции ЭПР статических сцен при низкой и высокой нагрузке

Т-критерий

Статистика группы

Нагрузка		N	Среднее значение	Стандартная отклонения	Среднекв. ошибка среднего
Идентификация	Низкая	41	,9878	,05452	,00851
	Высокая	38	,9671	,08564	,01389
Метрика	Низкая	41	,6463	,31611	,04937
	Высокая	38	,4605	,32114	,05210
Топология	Низкая	41	,8277880451	,11247441505	,01756555251
	Высокая	38	,8148318908	,07712541637	,01251139465
Время	Низкая	41	30,7832	13,38987	2,09115
	Высокая	38	34,5246	13,93677	2,26084

Критерий для независимых выборок

		Критерий равенства дисперсий Ливиня		t-критерий для равенства средних
		F	Знач.	t
Идентификация	Предполагаются равные дисперсии	7,161	,009	1,291
	Не предполагаются равные дисперсии			1,270
Метрика	Предполагаются равные дисперсии	,035	,851	2,591
	Не предполагаются равные дисперсии			2,589
Топология	Предполагаются равные дисперсии	,785	,378	,593
	Не предполагаются равные дисперсии			,601
Время	Предполагаются равные дисперсии	,247	,621	-1,217
	Не предполагаются равные дисперсии			-1,215

Критерий для независимых выборок

		t-критерий для равенства средних		
		ст. св.	Знач. (2-х сторонняя)	Разность средних
Идентификация	Предполагаются равные дисперсии	77	,201	,02070

	Не предполагаются равные дисперсии	61,934	,209	,02070
Метрика	Предполагаются равные дисперсии	77	,011	,18582
	Не предполагаются равные дисперсии	76,343	,012	,18582
Топология	Предполагаются равные дисперсии	77	,555	,01295615428
	Не предполагаются равные дисперсии	71,098	,550	,01295615428
Время	Предполагаются равные дисперсии	77	,227	-3,74146
	Не предполагаются равные дисперсии	75,962	,228	-3,74146

Критерий для независимых выборок

		t-критерий для равенства средних		
		Среднеквадратичная ошибка разности	95% доверительный интервал для разности	
			Нижняя	Верхняя
Идентификация	Предполагаются равные дисперсии	,01603	-,01122	,05262
	Не предполагаются равные дисперсии	,01629	-,01187	,05327
Метрика	Предполагаются равные дисперсии	,07173	,04299	,32864
	Не предполагаются равные дисперсии	,07177	,04288	,32875
Топология	Предполагаются равные дисперсии	,02186679115	-,03058618971	,05649849828
	Не предполагаются равные дисперсии	,02156579772	-,03004379462	,05595610319
Время	Предполагаются равные дисперсии	3,07492	-9,86442	2,38149
	Не предполагаются равные дисперсии	3,07966	-9,87519	2,39226

Критерии Нраг Критерий Манна-Уитни

		Ряды		
	Нагрузка	N	Средний ранг	Сумма рангов
Идентификация	Низкая	41	41,57	1704,50
	Высокая	38	38,30	1455,50

	Всего	79		
Метрика	Низкая	41	46,12	1891,00
	Высокая	38	33,39	1269,00
	Всего	79		
Топология	Низкая	41	43,76	1794,00
	Высокая	38	35,95	1366,00
	Всего	79		
Время	Низкая	41	36,73	1506,00
	Высокая	38	43,53	1654,00
	Всего	79		

Статистические критерии^а

	Идентификация	Метрика	Топология	Время
U Манна-Уитни	714,500	528,000	625,000	645,000
W Вилкоксона	1455,500	1269,000	1366,000	1506,000
Z	-1,286	-2,523	-1,511	-1,315
Асимптотическая значимость (2-сторонняя)	,199	,012	,131	,188

а. Группирующая переменная: Нагрузка

Сравнение средних показателей точности идентификации, локализации и времени реконструкции АПР статических сцен при низкой и высокой нагрузке

Т-критерий

Статистика группы

	Нагрузка	N	Среднее значение	Стандартная отклонения	Среднекв. ошибка среднего
Идентификация	Низкая	39	,9808	,06749	,01081
	Высокая	38	,9408	,12239	,01986
Метрика	Низкая	39	,3590	,31306	,05013
	Высокая	38	,3158	,19868	,03223
Топология	Низкая	39	,7693399761	,08881066114	,01422108721
	Высокая	38	,7667107509	,08484222262	,01376322593
Время	Низкая	39	40,8731	13,81934	2,21287
	Высокая	38	41,0287	11,95277	1,93899

Критерий для независимых выборок

	Критерий равенства дисперсий Ливиня	t-критерий для равенства средних
--	--	---

		F	Знач.	t
Идентификация	Предполагаются равные дисперсии	14,026	,000	1,781
	Не предполагаются равные дисперсии			1,769
Метрика	Предполагаются равные дисперсии	13,805	,000	,721
	Не предполагаются равные дисперсии			,725
Топология	Предполагаются равные дисперсии	,350	,556	,133
	Не предполагаются равные дисперсии			,133
Время	Предполагаются равные дисперсии	,884	,350	-,053
	Не предполагаются равные дисперсии			-,053

Критерий для независимых выборок

		t-критерий для равенства средних		
		ст. св.	Знач. (2-х сторонняя)	Разность средних
Идентификация	Предполагаются равные дисперсии	75	,079	,03998
	Не предполагаются равные дисперсии	57,275	,082	,03998
Метрика	Предполагаются равные дисперсии	75	,473	,04318
	Не предполагаются равные дисперсии	64,576	,471	,04318
Топология	Предполагаются равные дисперсии	75	,895	,00262922518
	Не предполагаются равные дисперсии	74,972	,895	,00262922518
Время	Предполагаются равные дисперсии	75	,958	-,15562
	Не предполагаются равные дисперсии	73,969	,958	-,15562

Критерий для независимых выборок

	t-критерий для равенства средних	
	Среднеквадратичная ошибка	95% доверительный интервал для разности

		разности	Нижняя	Верхняя
Идентификация	Предполагаются равные дисперсии	,02245	-,00474	,08470
	Не предполагаются равные дисперсии	,02261	-,00528	,08524
Метрика	Предполагаются равные дисперсии	,05993	-,07621	,16258
	Не предполагаются равные дисперсии	,05960	-,07585	,16222
Топология	Предполагаются равные дисперсии	,01980244706	-,03681927227	,04207772263
	Не предполагаются равные дисперсии	,01979054596	-,03679580681	,04205425717
Время	Предполагаются равные дисперсии	2,94777	-6,02788	5,71665
	Не предполагаются равные дисперсии	2,94219	-6,01810	5,70686

Критерии Нраг Критерий Манна-Уитни

Ряды

	Нагрузка	N	Средний ранг	Сумма рангов
Идентификация	Низкая	39	41,58	1621,50
	Высокая	38	36,36	1381,50
	Всего	77		
Метрика	Низкая	39	40,18	1567,00
	Высокая	38	37,79	1436,00
	Всего	77		
Топология	Низкая	39	40,08	1563,00
	Высокая	38	37,89	1440,00
	Всего	77		
Время	Низкая	39	38,90	1517,00
	Высокая	38	39,11	1486,00
	Всего	77		

Статистические критерии^a

	Идентификация	Метрика	Топология	Время
U Манна-Уитни	640,500	695,000	699,000	737,000
W Вилкоксона	1381,500	1436,000	1440,000	1517,000
Z	-1,688	-,488	-,428	-,041
Асимптотическая значимость (2-сторонняя)	,091	,626	,669	,967

а. Группирующая переменная: Нагрузка

Приложение 3. Проверка гипотез второго эксперимента.

Сравнение точности идентификации, локализации и времени реконструкции ЭПР и АПР динамических и статических сцен.

Многофакторный дисперсионный анализ

Общая линейная модель

Межгрупповые факторы

		Метка значения	N
Репрезентация	1,00	АР	160
	2,00	ЭР	161
Нагрузка	2,00	Низкая	168
	6,00	Высокая	153
Дин_стат	1,00	Динамика	165
	2,00	Статика	156

Многомерные критерии^а

Эффект		Значение	F	Ст.св. гипотезы	Ошибка ст.св.
Свободный член	След Пиллаи	,995	15641,318 ^b	4,000	310,000
	Лямбда Уилкса	,005	15641,318 ^b	4,000	310,000
	След Хотеллинга	201,823	15641,318 ^b	4,000	310,000
	Наибольший корень	201,823	15641,318 ^b	4,000	310,000
	Роя				
Репрезентация	След Пиллаи	,126	11,187 ^b	4,000	310,000
	Лямбда Уилкса	,874	11,187 ^b	4,000	310,000
	След Хотеллинга	,144	11,187 ^b	4,000	310,000
	Наибольший корень	,144	11,187 ^b	4,000	310,000
	Роя				
Нагрузка	След Пиллаи	,020	1,597 ^b	4,000	310,000
	Лямбда Уилкса	,980	1,597 ^b	4,000	310,000
	След Хотеллинга	,021	1,597 ^b	4,000	310,000
	Наибольший корень	,021	1,597 ^b	4,000	310,000
	Роя				
Дин_стат	След Пиллаи	,071	5,909 ^b	4,000	310,000
	Лямбда Уилкса	,929	5,909 ^b	4,000	310,000
	След Хотеллинга	,076	5,909 ^b	4,000	310,000

	Наибольший корень Роя	,076	5,909 ^b	4,000	310,000
Репрезентация *	След Пиллаи	,011	,873 ^b	4,000	310,000
Нагрузка	Лямбда Уилкса	,989	,873 ^b	4,000	310,000
	След Хотеллинга	,011	,873 ^b	4,000	310,000
	Наибольший корень Роя	,011	,873 ^b	4,000	310,000
Репрезентация *	След Пиллаи	,011	,838 ^b	4,000	310,000
Дин_стат	Лямбда Уилкса	,989	,838 ^b	4,000	310,000
	След Хотеллинга	,011	,838 ^b	4,000	310,000
	Наибольший корень Роя	,011	,838 ^b	4,000	310,000
Нагрузка * Дин_стат	След Пиллаи	,011	,848 ^b	4,000	310,000
	Лямбда Уилкса	,989	,848 ^b	4,000	310,000
	След Хотеллинга	,011	,848 ^b	4,000	310,000
	Наибольший корень Роя	,011	,848 ^b	4,000	310,000
Репрезентация *	След Пиллаи	,004	,287 ^b	4,000	310,000
Нагрузка * Дин_стат	Лямбда Уилкса	,996	,287 ^b	4,000	310,000
	След Хотеллинга	,004	,287 ^b	4,000	310,000
	Наибольший корень Роя	,004	,287 ^b	4,000	310,000

Многомерные критерии^a

Эффект		Знач.
Свободный член	След Пиллаи	,000
	Лямбда Уилкса	,000
	След Хотеллинга	,000
	Наибольший корень Роя	,000
Репрезентация	След Пиллаи	,000
	Лямбда Уилкса	,000
	След Хотеллинга	,000
	Наибольший корень Роя	,000
Нагрузка	След Пиллаи	,175
	Лямбда Уилкса	,175
	След Хотеллинга	,175
	Наибольший корень Роя	,175
Дин_стат	След Пиллаи	,000
	Лямбда Уилкса	,000
	След Хотеллинга	,000
	Наибольший корень Роя	,000
Репрезентация * Нагрузка	След Пиллаи	,481

	Лямбда Уилкса	,481
	След Хотеллинга	,481
	Наибольший корень Роя	,481
Репрезентация * Дин_стат	След Пиллаи	,502
	Лямбда Уилкса	,502
	След Хотеллинга	,502
	Наибольший корень Роя	,502
Нагрузка * Дин_стат	След Пиллаи	,496
	Лямбда Уилкса	,496
	След Хотеллинга	,496
	Наибольший корень Роя	,496
Репрезентация * Нагрузка * Дин_стат	След Пиллаи	,887
	Лямбда Уилкса	,887
	След Хотеллинга	,887
	Наибольший корень Роя	,887

а. Структура: Свободный член + Репрезентация + Нагрузка + Дин_стат + Репрезентация * Нагрузка + Репрезентация * Дин_стат + Нагрузка * Дин_стат + Репрезентация * Нагрузка * Дин_стат

б. Точная статистика

Критерии межгрупповых эффектов

Источник	Зависимая переменная	Сумма квадратов типа III	ст.св.	Средний квадрат	F	Знач.
Скорректированная модель	Идентификация	,111 ^a	7	,016	1,819	,083
	Метрика	5,839 ^b	7	,834	9,662	,000
	Топология	,195 ^c	7	,028	3,195	,003
	Время	4173,022 ^d	7	596,146	3,292	,002
Свободный член	Идентификация	295,819	1	295,819	33868,947	,000
	Метрика	42,760	1	42,760	495,312	,000
	Топология	195,797	1	195,797	22499,179	,000
	Время	445610,796	1	445610,796	2460,612	,000
Репрезентация	Идентификация	,044	1	,044	5,061	,025
	Метрика	2,867	1	2,867	33,204	,000
	Топология	,128	1	,128	14,749	,000
	Время	3552,187	1	3552,187	19,615	,000
Нагрузка	Идентификация	,025	1	,025	2,867	,091
	Метрика	,365	1	,365	4,228	,041
	Топология	,003	1	,003	,320	,572
	Время	121,892	1	121,892	,673	,413
Дин_стат	Идентификация	,017	1	,017	1,918	,167

	Метрика	2,031	1	2,031	23,529	,000
	Топология	,047	1	,047	5,398	,021
	Время	89,794	1	89,794	,496	,482
Репрезентация *	Идентификация	,009	1	,009	1,009	,316
Нагрузка	Метрика	,137	1	,137	1,581	,209
	Топология	,001	1	,001	,072	,788
	Время	54,402	1	54,402	,300	,584
Репрезентация *	Идентификация	,004	1	,004	,428	,513
Дин_стат	Метрика	,057	1	,057	,659	,417
	Топология	,014	1	,014	1,603	,206
	Время	212,553	1	212,553	1,174	,279
Нагрузка * Дин_стат	Идентификация	,013	1	,013	1,462	,227
	Метрика	,176	1	,176	2,039	,154
	Топология	,000	1	,000	,033	,856
	Время	40,711	1	40,711	,225	,636
Репрезентация *	Идентификация	5,948E-5	1	5,948E-5	,007	,934
Нагрузка * Дин_стат	Метрика	,072	1	,072	,833	,362
	Топология	,000	1	,000	,051	,821
	Время	74,889	1	74,889	,414	,521
Ошибка	Идентификация	2,734	313	,009		
	Метрика	27,021	313	,086		
	Топология	2,724	313	,009		
	Время	56683,533	313	181,098		
Всего	Идентификация	299,813	321			
	Метрика	75,688	321			
	Топология	199,452	321			
	Время	507547,848	321			
Скорректированный итог	Идентификация	2,845	320			
	Метрика	32,860	320			
	Топология	2,918	320			
	Время	60856,555	320			

a. R-квадрат = ,039 (Скорректированный R-квадрат = ,018)

b. R-квадрат = ,178 (Скорректированный R-квадрат = ,159)

c. R-квадрат = ,067 (Скорректированный R-квадрат = ,046)

d. R-квадрат = ,069 (Скорректированный R-квадрат = ,048)

Сравнение средних показателей точности идентификации, локализации и времени реконструкции ЭПР статических и динамических сцен при низкой нагрузке

Т-критерий

Статистика группы

Дин стат		N	Среднее значение	Стандартная отклонения	Среднекв. ошибка среднего
Идентификация	Динамика	45	,9667	,08594	,01281
	Статика	41	,9878	,05452	,00851
Метрика	Динамика	45	,3833	,31802	,04741
	Статика	41	,6463	,31611	,04937
Топология	Динамика	45	,7860790744	,08587068955	,01280084661
	Статика	41	,8277880451	,11247441505	,01756555251
Время	Динамика	45	35,1553	15,35057	2,28833
	Статика	41	30,7832	13,38987	2,09115

Критерий для независимых выборок

		Критерий равенства дисперсий Ливиня		t-критерий для равенства средних
		F	Знач.	t
Идентификация	Предполагаются равные дисперсии	7,933	,006	-1,347
	Не предполагаются равные дисперсии			-1,374
Метрика	Предполагаются равные дисперсии	,064	,801	-3,842
	Не предполагаются равные дисперсии			-3,843
Топология	Предполагаются равные дисперсии	,041	,841	-1,943
	Не предполагаются равные дисперсии			-1,919
Время	Предполагаются равные дисперсии	2,785	,099	1,401
	Не предполагаются равные дисперсии			1,410

Критерий для независимых выборок

		t-критерий для равенства средних		
		ст.св.	Знач. (2-х сторонняя)	Разность средних
Идентификация	Предполагаются равные дисперсии	84	,182	-,02114

	Не предполагаются равные дисперсии	75,295	,173	-,02114
Метрика	Предполагаются равные дисперсии	84	,000	-,26301
	Не предполагаются равные дисперсии	83,351	,000	-,26301
Топология	Предполагаются равные дисперсии	84	,055	-,04170897065
	Не предполагаются равные дисперсии	74,632	,059	-,04170897065
Время	Предполагаются равные дисперсии	84	,165	4,37218
	Не предполагаются равные дисперсии	83,850	,162	4,37218

Критерий для независимых выборок

		t-критерий для равенства средних		
		Среднеквадратичная ошибка разности	95% доверительный интервал для разности	
			Нижняя	Верхняя
Идентификация	Предполагаются равные дисперсии	,01569	-,05235	,01007
	Не предполагаются равные дисперсии	,01538	-,05178	,00950
Метрика	Предполагаются равные дисперсии	,06846	-,39916	-,12686
	Не предполагаются равные дисперсии	,06844	-,39913	-,12688
Топология	Предполагаются равные дисперсии	,02146704631	-,08439854647	,00098060517
	Не предполагаются равные дисперсии	,02173500193	-,08501081597	,00159287467
Время	Предполагаются равные дисперсии	3,11977	-1,83183	10,57618
	Не предполагаются равные дисперсии	3,09989	-1,79246	10,53682

Критерии Нраг Критерий Манна-Уитни

		Ряды		
	Дин стат	N	Средний ранг	Сумма рангов
Идентификация	Динамика	45	41,77	1879,50
	Статика	41	45,40	1861,50

	Всего	86		
Метрика	Динамика	45	34,54	1554,50
	Статика	41	53,33	2186,50
	Всего	86		
Топология	Динамика	45	36,24	1631,00
	Статика	41	51,46	2110,00
	Всего	86		
Время	Динамика	45	46,71	2102,00
	Статика	41	39,98	1639,00
	Всего	86		

Статистические критерии^а

	Идентификация	Метрика	Топология	Время
U Манна-Уитни	844,500	519,500	596,000	778,000
W Вилкоксона	1879,500	1554,500	1631,000	1639,000
Z	-1,340	-3,566	-2,823	-1,250
Асимптотическая значимость (2-сторонняя)	,180	,000	,005	,211

а. Группирующая переменная: Дин_стат

Сравнение средних показателей точности идентификации, локализации и времени реконструкции ЭПР статических и динамических сцен при высокой нагрузке

Т-критерий

Статистика группы

	Дин_стат	N	Среднее значение	Стандартная отклонения	Среднекв. ошибка среднего
Идентификация	Динамика	37	,9730	,07870	,01294
	Статика	38	,9671	,08564	,01389
Метрика	Динамика	37	,3514	,31983	,05258
	Статика	38	,4605	,32114	,05210
Топология	Динамика	37	,7816307530	,10849904177	,01783713259
	Статика	38	,8148318908	,07712541637	,01251139465
Время	Динамика	37	35,5336	12,39649	2,03797
	Статика	38	34,5246	13,93677	2,26084

Критерий для независимых выборок

	Критерий равенства дисперсий Ливиня	t-критерий для равенства средних
--	--	---

		F	Знач.	t
Идентификация	Предполагаются равные дисперсии	,383	,538	,309
	Не предполагаются равные дисперсии			,309
Метрика	Предполагаются равные дисперсии	,006	,937	-1,475
	Не предполагаются равные дисперсии			-1,475
Топология	Предполагаются равные дисперсии	4,083	,047	-1,531
	Не предполагаются равные дисперсии			-1,524
Время	Предполагаются равные дисперсии	,590	,445	,331
	Не предполагаются равные дисперсии			,331

Критерий для независимых выборок

		t-критерий для равенства средних		
		ст.св.	Знач. (2-х сторонняя)	Разность средних
Идентификация	Предполагаются равные дисперсии	73	,758	,00587
	Не предполагаются равные дисперсии	72,760	,758	,00587
Метрика	Предполагаются равные дисперсии	73	,145	-,10917
	Не предполагаются равные дисперсии	72,962	,145	-,10917
Топология	Предполагаются равные дисперсии	73	,130	-,03320113782
	Не предполагаются равные дисперсии	64,862	,132	-,03320113782
Время	Предполагаются равные дисперсии	73	,742	1,00898
	Не предполагаются равные дисперсии	72,417	,741	1,00898

Критерий для независимых выборок

	t-критерий для равенства средних	
	Среднеквадратичная ошибка	95% доверительный интервал для разности

		разности	Нижняя	Верхняя
Идентификация	Предполагаются равные дисперсии	,01901	-,03201	,04375
	Не предполагаются равные дисперсии	,01898	-,03197	,04371
Метрика	Предполагаются равные дисперсии	,07402	-,25670	,03835
	Не предполагаются равные дисперсии	,07402	-,25669	,03834
Топология	Предполагаются равные дисперсии	,02169100071	-,07643123990	,01002896426
	Не предполагаются равные дисперсии	,02178757203	-,07671568205	,01031340641
Время	Предполагаются равные дисперсии	3,04860	-5,06688	7,08484
	Не предполагаются равные дисперсии	3,04380	-5,05813	7,07609

Критерии Нраг Критерий Манна-Уитни

Ряды

	Дин стат	N	Средний ранг	Сумма рангов
Идентификация	Динамика	37	38,45	1422,50
	Статика	38	37,57	1427,50
	Всего	75		
Метрика	Динамика	37	34,08	1261,00
	Статика	38	41,82	1589,00
	Всего	75		
Топология	Динамика	37	35,27	1305,00
	Статика	38	40,66	1545,00
	Всего	75		
Время	Динамика	37	39,23	1451,50
	Статика	38	36,80	1398,50
	Всего	75		

Статистические критерии^а

	Идентификация	Метрика	Топология	Время
U Манна-Уитни	686,500	558,000	602,000	657,500
W Вилкоксона	1427,500	1261,000	1305,000	1398,500
Z	-,311	-1,580	-1,070	-,483
Асимптотическая значимость (2-сторонняя)	,756	,114	,284	,629

а. Группирующая переменная: Дин_стат

Сравнение средних показателей точности идентификации, локализации и времени реконструкции АПР статических и динамических сцен при низкой нагрузке

Т-критерий

Статистика группы				
Дин стат	N	Среднее значение	Стандартная отклонения	Среднекв. ошибка среднего
Идентификация	Динамика	43	,9477	,10291
	Статика	39	,9808	,06749
Метрика	Динамика	43	,2093	,28311
	Статика	39	,3590	,31306
Топология	Динамика	43	,7587764070	,09178250414
	Статика	39	,7693399761	,08881066114
Время	Динамика	43	40,0480	13,87159
	Статика	39	40,8731	13,81934

Критерий для независимых выборок				
		Критерий равенства дисперсий Ливиня		t-критерий для равенства средних
		F	Знач.	t
Идентификация	Предполагаются равные дисперсии	13,315	,000	-1,703
	Не предполагаются равные дисперсии			-1,737
Метрика	Предполагаются равные дисперсии	1,367	,246	-2,274
	Не предполагаются равные дисперсии			-2,262
Топология	Предполагаются равные дисперсии	,000	,989	-,529
	Не предполагаются равные дисперсии			-,529
Время	Предполагаются равные дисперсии	,027	,871	-,269

Не предполагаются равные дисперсии			- ,270
---------------------------------------	--	--	--------

Критерий для независимых выборок

		t-критерий для равенства средних		
		ст.св.	Знач. (2-х сторонняя)	Разность средних
Идентификация	Предполагаются равные дисперсии	80	,092	-,03309
	Не предполагаются равные дисперсии	73,108	,087	-,03309
Метрика	Предполагаются равные дисперсии	80	,026	-,14967
	Не предполагаются равные дисперсии	76,966	,026	-,14967
Топология	Предполагаются равные дисперсии	80	,599	-,01056356910
	Не предполагаются равные дисперсии	79,653	,598	-,01056356910
Время	Предполагаются равные дисперсии	80	,788	-,82507
	Не предполагаются равные дисперсии	79,282	,788	-,82507

Критерий для независимых выборок

		t-критерий для равенства средних		
		Среднеквадрати чная ошибка разности	95% доверительный интервал для разности	
			Нижняя	Верхняя
Идентификация	Предполагаются равные дисперсии	,01943	-,07177	,00558
	Не предполагаются равные дисперсии	,01905	-,07107	,00488
Метрика	Предполагаются равные дисперсии	,06583	-,28068	-,01866
	Не предполагаются равные дисперсии	,06616	-,28141	-,01793
Топология	Предполагаются равные дисперсии	,01998607221	-,05033712034	,02920998214
	Не предполагаются равные дисперсии	,01995361999	-,05027519276	,02914805456
Время	Предполагаются равные дисперсии	3,06189	-6,91843	5,26829

Не предполагаются равные дисперсии	3,06132	-6,91814	5,26800
------------------------------------	---------	----------	---------

Критерии Нраг Критерий Манна-Уитни

Ряды				
	Дин_стат	N	Средний ранг	Сумма рангов
Идентификация	Динамика	43	38,92	1673,50
	Статика	39	44,35	1729,50
	Всего	82		
Метрика	Динамика	43	36,14	1554,00
	Статика	39	47,41	1849,00
	Всего	82		
Топология	Динамика	43	40,16	1727,00
	Статика	39	42,97	1676,00
	Всего	82		
Время	Динамика	43	41,00	1763,00
	Статика	39	42,05	1640,00
	Всего	82		

Статистические критерии ^а				
	Идентификация	Метрика	Топология	Время
U Манна-Уитни	727,500	608,000	781,000	817,000
W Вилкоксона	1673,500	1554,000	1727,000	1763,000
Z	-1,683	-2,268	-,534	-,200
Асимптотическая значимость (2-сторонняя)	,092	,023	,593	,841

а. Группирующая переменная: Дин_стат

Сравнение средних показателей точности идентификации, локализации и времени реконструкции АПР статических и динамических сцен при высокой нагрузке

Т-критерий

Статистика группы					
	Дин_стат	N	Среднее значение	Стандартная отклонения	Среднекв. ошибка среднего
Идентификация	Динамика	40	,9313	,12643	,01999
	Статика	38	,9408	,12239	,01986
Метрика	Динамика	40	,2000	,25445	,04023
	Статика	38	,3158	,19868	,03223
Топология	Динамика	40	,7552130801	,09193659069	,01453645134

	Статика	38	,7667107509	,08484222262	,01376322593
Время	Динамика	40	40,7122	12,19511	1,92822
	Статика	38	41,0287	11,95277	1,93899

Критерий для независимых выборок

		Критерий равенства дисперсий Ливиня		t-критерий для равенства средних
		F	Знач.	t
Идентификация	Предполагаются равные дисперсии	,327	,569	-,338
	Не предполагаются равные дисперсии			-,339
Метрика	Предполагаются равные дисперсии	2,783	,099	-2,232
	Не предполагаются равные дисперсии			-2,246
Топология	Предполагаются равные дисперсии	,200	,656	-,573
	Не предполагаются равные дисперсии			-,574
Время	Предполагаются равные дисперсии	,077	,782	-,116
	Не предполагаются равные дисперсии			-,116

Критерий для независимых выборок

		t-критерий для равенства средних		
		ст.св.	Знач. (2-х сторонняя)	Разность средних
Идентификация	Предполагаются равные дисперсии	76	,736	-,00954
	Не предполагаются равные дисперсии	75,971	,736	-,00954
Метрика	Предполагаются равные дисперсии	76	,029	-,11579
	Не предполагаются равные дисперсии	73,300	,028	-,11579
Топология	Предполагаются равные дисперсии	76	,568	-,01149767084
	Не предполагаются равные дисперсии	75,939	,567	-,01149767084

Время	Предполагаются равные дисперсии	76	,908	-,31652
	Не предполагаются равные дисперсии	75,923	,908	-,31652

Критерий для независимых выборок

		t-критерий для равенства средних		
		Среднеквадратичная ошибка разности	95% доверительный интервал для разности	
			Нижняя	Верхняя
Идентификация	Предполагаются равные дисперсии	,02820	-,06570	,04662
	Не предполагаются равные дисперсии	,02818	-,06566	,04658
Метрика	Предполагаются равные дисперсии	,05188	-,21911	-,01247
	Не предполагаются равные дисперсии	,05155	-,21852	-,01306
Топология	Предполагаются равные дисперсии	,02006007714	-,05145077702	,02845543533
	Не предполагаются равные дисперсии	,02001836171	-,05136820991	,02837286822
Время	Предполагаются равные дисперсии	2,73597	-5,76567	5,13263
	Не предполагаются равные дисперсии	2,73454	-5,76292	5,12988

Критерии Нраг Критерий Манна-Уитни

		Ряды		
	Дин стат	N	Средний ранг	Сумма рангов
Идентификация	Динамика	40	38,78	1551,00
	Статика	38	40,26	1530,00
	Всего	78		
Метрика	Динамика	40	33,28	1331,00
	Статика	38	46,05	1750,00
	Всего	78		
Топология	Динамика	40	38,23	1529,00
	Статика	38	40,84	1552,00
	Всего	78		
Время	Динамика	40	39,93	1597,00
	Статика	38	39,05	1484,00
	Всего	78		

Статистические критерии^а

	Идентификация	Метрика	Топология	Время
U Манна-Уитни	731,000	511,000	709,000	743,000
W Вилкоксона	1551,000	1331,000	1529,000	1484,000
Z	-,396	-2,621	-,510	-,170
Асимптотическая значимость (2-сторонняя)	,692	,009	,610	,865

а. Группирующая переменная: Дин_стат

Сравнение средних показателей точности идентификации, локализации и времени реконструкции ЭПР динамических сцен при низкой и высокой нагрузке

Т-критерий

Статистика группы

Нагрузка		N	Среднее значение	Стандартная отклонения	Среднекв. ошибка среднего
Идентификация	Низкая	45	,9667	,08594	,01281
	Высокая	37	,9730	,07870	,01294
Метрика	Низкая	45	,3833	,31802	,04741
	Высокая	37	,3514	,31983	,05258
Топология	Низкая	45	,7860790744	,08587068955	,01280084661
	Высокая	37	,7816307530	,10849904177	,01783713259
Время	Низкая	45	35,1553	15,35057	2,28833
	Высокая	37	35,5336	12,39649	2,03797

Критерий для независимых выборок

		Критерий равенства дисперсий Ливиня		t-критерий для равенства средних
		F	Знач.	t
Идентификация	Предполагаются равные дисперсии	,477	,492	-,343
	Не предполагаются равные дисперсии			-,346
Метрика	Предполагаются равные дисперсии	,121	,728	,452
	Не предполагаются равные дисперсии			,452

Топология	Предполагаются равные дисперсии	1,566	,214	,207
	Не предполагаются равные дисперсии			,203
Время	Предполагаются равные дисперсии	4,055	,047	-,121
	Не предполагаются равные дисперсии			-,123

Критерий для независимых выборок

		t-критерий для равенства средних		
		ст.св.	Знач. (2-х сторонняя)	Разность средних
Идентификация	Предполагаются равные дисперсии	80	,732	-,00631
	Не предполагаются равные дисперсии	79,037	,730	-,00631
Метрика	Предполагаются равные дисперсии	80	,652	,03198
	Не предполагаются равные дисперсии	76,798	,653	,03198
Топология	Предполагаются равные дисперсии	80	,836	,00444832145
	Не предполагаются равные дисперсии	67,896	,840	,00444832145
Время	Предполагаются равные дисперсии	80	,904	-,37827
	Не предполагаются равные дисперсии	79,981	,902	-,37827

Критерий для независимых выборок

		t-критерий для равенства средних		
		Среднеквадратичная ошибка разности	95% доверительный интервал для разности	
			Нижняя	Верхняя
Идентификация	Предполагаются равные дисперсии	,01837	-,04286	,03024
	Не предполагаются равные дисперсии	,01821	-,04255	,02994
Метрика	Предполагаются равные дисперсии	,07076	-,10883	,17279
	Не предполагаются равные дисперсии	,07080	-,10900	,17296

Топология	Предполагаются равные дисперсии	,02146224591	-,03826290908	,04715955198
	Не предполагаются равные дисперсии	,02195506714	-,03936355046	,04826019336
Время	Предполагаются равные дисперсии	3,12866	-6,60450	5,84797
	Не предполагаются равные дисперсии	3,06427	-6,47639	5,71986

Критерии Нраг Критерий Манна-Уитни

Ряды				
	Нагрузка	N	Средний ранг	Сумма рангов
Идентификация	Низкая	45	41,03	1846,50
	Высокая	37	42,07	1556,50
	Всего	82		
Метрика	Низкая	45	42,59	1916,50
	Высокая	37	40,18	1486,50
	Всего	82		
Топология	Низкая	45	40,89	1840,00
	Высокая	37	42,24	1563,00
	Всего	82		
Время	Низкая	45	40,29	1813,00
	Высокая	37	42,97	1590,00
	Всего	82		

Статистические критерии ^а				
	Идентификация	Метрика	Топология	Время
U Манна-Уитни	811,500	783,500	805,000	778,000
W Вилкоксона	1846,500	1486,500	1840,000	1813,000
Z	-,345	-,471	-,256	-,508
Асимптотическая значимость (2-сторонняя)	,730	,638	,798	,611

а. Группирующая переменная: Нагрузка

Сравнение средних показателей точности идентификации, локализации и времени реконструкции АПР динамических сцен при низкой и высокой нагрузке

Т-критерий

Статистика группы

Нагрузка		N	Среднее значение	Стандартная отклонения	Среднекв. ошибка среднего
Идентификация	Низкая	43	,9477	,10291	,01569
	Высокая	40	,9313	,12643	,01999
Метрика	Низкая	43	,2093	,28311	,04317
	Высокая	40	,2000	,25445	,04023
Топология	Низкая	43	,7587764070	,09178250414	,01399670066
	Высокая	40	,7552130801	,09193659069	,01453645134
Время	Низкая	43	40,0480	13,87159	2,11540
	Высокая	40	40,7122	12,19511	1,92822

Критерий для независимых выборок

		Критерий равенства дисперсий Ливиня		t-критерий для равенства средних
		F	Знач.	t
Идентификация	Предполагаются равные дисперсии	2,001	,161	,651
	Не предполагаются равные дисперсии			,646
Метрика	Предполагаются равные дисперсии	,527	,470	,157
	Не предполагаются равные дисперсии			,158
Топология	Предполагаются равные дисперсии	,008	,930	,177
	Не предполагаются равные дисперсии			,177
Время	Предполагаются равные дисперсии	,898	,346	-,231
	Не предполагаются равные дисперсии			-,232

Критерий для независимых выборок

		t-критерий для равенства средних		
		ст.св.	Знач. (2-х сторонняя)	Разность средних
Идентификация	Предполагаются равные дисперсии	81	,517	,01642
	Не предполагаются равные дисперсии	75,318	,520	,01642

Метрика	Предполагаются равные дисперсии	81	,876	,00930
	Не предполагаются равные дисперсии	80,910	,875	,00930
Топология	Предполагаются равные дисперсии	81	,860	,00356332693
	Не предполагаются равные дисперсии	80,548	,860	,00356332693
Время	Предполагаются равные дисперсии	81	,818	-,66417
	Не предполагаются равные дисперсии	80,752	,817	-,66417

Критерий для независимых выборок

		t-критерий для равенства средних		
		Среднеквадратичная ошибка разности	95% доверительный интервал для разности	
			Нижняя	Верхняя
Идентификация	Предполагаются равные дисперсии	,02523	-,03377	,06662
	Не предполагаются равные дисперсии	,02541	-,03420	,06705
Метрика	Предполагаются равные дисперсии	,05924	-,10857	,12718
	Не предполагаются равные дисперсии	,05901	-,10812	,12672
Топология	Предполагаются равные дисперсии	,02017835628	-,03658527259	,04371192644
	Не предполагаются равные дисперсии	,02017959482	-,03659115253	,04371780638
Время	Предполагаются равные дисперсии	2,87578	-6,38606	5,05773
	Не предполагаются равные дисперсии	2,86233	-6,35957	5,03123

Критерии Нраг Критерий Манна-Уитни

		Ряды		
	Нагрузка	N	Средний ранг	Сумма рангов
Идентификация	Низкая	43	42,92	1845,50
	Высокая	40	41,01	1640,50
	Всего	83		
Метрика	Низкая	43	41,84	1799,00
	Высокая	40	42,18	1687,00

	Всего	83		
Топология	Низкая	43	42,35	1821,00
	Высокая	40	41,63	1665,00
	Всего	83		
Время	Низкая	43	41,35	1778,00
	Высокая	40	42,70	1708,00
	Всего	83		

Статистические критерии^а

	Идентификация	Метрика	Топология	Время
U Манна-Уитни	820,500	853,000	845,000	832,000
W Вилкоксона	1640,500	1799,000	1665,000	1778,000
Z	-,494	-,070	-,137	-,256
Асимптотическая значимость (2-сторонняя)	,621	,944	,891	,798

а. Группирующая переменная: Нагрузка

Приложение 4. Глоссарий аббревиатур.

АПР – аллоцентрическая пространственная репрезентация
 ВС – визуальная система
 ВР – виртуальная реальность
 ВПРП – визуально-пространственный блокнот рабочей памяти
 ДП – долговременная память
 МПС – метрическая пространственная система
 ПС – пространственная система
 ПР – пространственная репрезентация
 РП – рабочая память
 ТПС – топологическая пространственная система
 ФС – функциональная система
 ЭПР – эгоцентрическая пространственная репрезентация