

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

имени М.В.ЛОМОНОСОВА

ФАКУЛЬТЕТ ПСИХОЛОГИИ

На правах рукописи

Ишмуратова Юлия Алексеевна

**Профессиональный опыт как фактор эффективности
когнитивных стратегий решения задач
(на примере специалистов в области химии)**

5.3.3. Психология труда, инженерная психология, когнитивная эргономика
(психологические науки)

Диссертация

на соискание ученой степени

кандидата психологических наук

Научный руководитель:
кандидат психологических наук,
доцент
Блинникова Ирина Владимировна

Москва – 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ГЛАВА 1. ПОНЯТИЕ, КОНЦЕПЦИИ И ПОДХОДЫ К ИССЛЕДОВАНИЮ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОПЫТА	14
1.1. Профессиональный опыт. Подходы к описанию и изучению	14
1.2. Сравнение решения задач экспертами и новичками как модель изучения профессионального опыта	25
1.3. Когнитивные стратегии решения задач специалистами с разным уровнем профессионального опыта	34
1.4. Анализ глазодвигательной активности в процессе решения профессионально-специфичных задач специалистами с разным уровнем профессионального опыта.....	38
ГЛАВА 2. АНАЛИЗ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ И ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОПЫТА ХИМИКОВ.....	52
2.1. Особенности профессиональной деятельности и профессиональных задач химиков	52
2.2. Специфика химических знаний и их использования в профессиональной деятельности	56
2.3. Место и роль ментальных репрезентаций и визуальных представлений в процессе решения профессионально-специфичных задач.....	66
2.4. Стратегии решения задач химиками с разным уровнем профессионального опыта.....	75
ГЛАВА 3. СРАВНЕНИЕ СТРАТЕГИЙ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ НА ИДЕНТИФИКАЦИЮ МОЛЕКУЛ ВЕЩЕСТВА СПЕЦИАЛИСТАМИ-ХИМИКАМИ С РАЗНЫМ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫМ ОПЫТОМ.....	84
3.1. Схема проведения и обоснование эмпирического исследования по сравнению эффективности когнитивных стратегий решений задач на идентификацию вещества специалистами-химиками с разным профессиональным опытом.....	84
3.2. Цель, задачи и гипотезы эксперимента.....	88
3.3. Методика эксперимента по сравнению эффективности когнитивных стратегий решений задач на идентификацию вещества специалистами-химиками с разным профессиональным опытом	91
3.4. Результаты сравнения эффективности когнитивных стратегий решений задач на идентификацию вещества специалистами-химиками с разным профессиональным опытом.....	95
3.5. Обсуждение результатов сравнения эффективности когнитивных стратегий решений задач на идентификацию вещества специалистами-химиками с разным профессиональным опытом	112
3.6. Выводы по результатам эксперимента № 1	115

ГЛАВА 4. СРАВНЕНИЕ СТРАТЕГИЙ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ НА МОДЕЛИРОВАНИЕ СХЕМ ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ СПЕЦИАЛИСТАМИ-ХИМИКАМИ С РАЗНЫМ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫМ ОПЫТОМ (ЭКСПЕРИМЕНТ № 2)	117
4.1. Цель, задачи и гипотезы эксперимента.....	117
4.2. Методика эксперимента по сравнению когнитивных стратегий решения задач на моделирование схем технологических процессов специалистами-химиками с разным профессиональным опытом	119
4.3. Результаты сравнения когнитивных стратегий решения задач на моделирование схем технологических процессов специалистами-химиками с разным профессиональным опытом.....	126
4.4. Обсуждение результатов сравнения когнитивных стратегий решения задач на моделирование схем технологических процессов специалистами-химиками с разным профессиональным опытом	147
4.5. Выводы по результатам сравнения когнитивных стратегий решения задач на моделирование схем технологических процессов специалистами-химиками с разным профессиональным опытом	149
ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	151
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	156
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	160
ПРИЛОЖЕНИЯ	177

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследования. Анализ вклада профессионального опыта в результативность и качество решения трудовых задач вот уже несколько десятилетий не теряет своей актуальности (Стрелков, 2007; Gobet, 2017; Ward et al., 2019). Данная проблема обсуждалась в работах как российских (Д.А. Ошанин, А.В. Карпов, В.Н. Пушкин, Ю.К. Стрелков, Ю.К. Корнилов, Е.Ю. Артемьева), так и зарубежных авторов (Г. Саймон, В. Чейз, Д. Фелдман, К. Эрикссон, Ф. Гобе), но интерес к ней не угасает. Исследования в этой области позволяют прояснить ряд важных теоретических вопросов и открывают перспективы в области диагностики профессиональной компетентности, развития профессионалов, разработки средств обеспечения надежности и безопасности профессиональной деятельности (Стрелков, 2007; Карпов, Скитяева, 2005; Harsh, 2019).

Профессиональный опыт понимается как сложная система ментальных средств, приемов, процедур, приобретаемая в процессе трудовой деятельности и используемая в дальнейшем для ее осуществления – такой взгляд представлен в работах Е. А. Климова и Ю. К. Стрелкова. Раскрыть содержательные компоненты, структурные связи и функциональный потенциал этой системы можно с помощью оценки эффективности и способов решения задач специалистами, находящимися на разных этапах профессионального становления (Климов, 2015; Dreyfus, 1986). Наиболее информативным является сравнение полярных групп: «экспертов» – специалистов, обладающих длительным и успешным опытом профессиональной деятельности, и «новичков» – специалистов, находящихся на начальном пути профессионального развития (Ericsson, 2018).

Во многих работах показано, что эксперты, по сравнению с новичками, решают профессиональные задачи эффективнее: допускают меньше ошибок, тратят меньше времени и усилий. Долгое время такое «превосходство» объясняли с помощью отдельных компонентов профессионального опыта, подчеркивая, прежде всего, наличие у экспертов хорошо структурированного знания, их способность интегрировать информацию в концептуально значимые паттерны («чанки» и «шаблоны») (Gobet, 2017). Однако со временем становится понятным, что важны не столько сами знания, сколько умение их использовать (Юдин, 2009). И здесь на

первый план выходят когнитивные стратегии, как особые способы организации познавательной деятельности (Feldon, 2007).

Когнитивные стратегии – это специфические методы и приемы, которые используются для анализа, понимания, и нахождения решения задачи. Они складываются в определенную последовательность действий, обеспечивают ориентировку в заданных условиях, обработку и структурирование информации, выбор подходящего решения (Спиридонов, 2006). Когнитивные стратегии предполагают подключение различных познавательных процессов (внимания, памяти, мышления, восприятия и принятия решений); они интегрируют аспекты профессионального опыта и позволяют рассмотреть его целостно в контексте разных этапов решения задачи. Их изучение позволит раскрыть структуру процесса нахождения решений экспертами и новичками, определить, какие методы и приемы являются наиболее эффективными.

Анализируя ограниченное число работ, в которых рассматривались стратегии начинающих и опытных специалистов, можно выдвинуть предположение, что первые в большей степени опираются на внешние (экзогенные), а вторые – на внутренние (эндогенные) факторы решения задачи. Конкретизируя это предположение, можно сформулировать ряд гипотез, которые касаются уровня осознания, использования ментальных репрезентаций, разделения проблемного поля на релевантные и нерелевантные области, особенностей когнитивной обработки.

Изучение когнитивных стратегий решения задач связано с рядом проблем. Во-первых, когнитивные стратегии лишь частично доступны сознательному осмыслению и рефлексивному анализу. Для изучения когнитивных стратегий применялись такие методы, как анализ рассуждений вслух, выявление ошибок, психосемантический анализ, учет непрямы́х оценок, обсуждение хода решения задачи (Chi, Feltovich, Glaser, 1981; Ericsson, 2018), однако эти методы ограничены в возможностях выявления скрытых, недоступных рефлексии и прямому самонаблюдению операциональных компонентов. Наиболее перспективным и исчерпывающим нам представляется метод видеорегистрации движений глаз, позволяющий раскрыть все уровни когнитивной активности (Барабанщиков, Жегалло, 2014; Меньшикова, Пичугина, 2020). Эта технология позволяет

установить ряд существенных различий в решении задач между опытными и начинающими специалистами (Klostermann, Moeinirad, 2020), однако полученные в разных исследованиях данные часто противоречат друг другу и требуют более внимательного и комплексного анализа, сопоставления с типом и этапом решаемой задачи (Gegenfurtner et al., 2011).

Во-вторых, когнитивные стратегии решения задач предметно-специфичны, поэтому их необходимо детально соотносить с особенностями профессионального опыта. В данном исследовании для изучения влияния профессионального опыта на когнитивные стратегии были привлечены специалисты химики, что было обусловлено рядом соображений. Развитие и усложнение химических технологий, возрастающая потребность в продукции химических предприятий повышают требования к подготовке специалистов в этой области (Волкова, 2006). В то же время характер профессионального опыта химиков исследован недостаточно, хотя в последнее время здесь появились значимые работы (Esselman, Hill, DeGlopper, 2023). Особенностью профессиональной деятельности химиков является необходимость решать большое количество разнообразных задач, связанных с анализом молекулярного состава вещества; разработкой и анализом схем технологических процессов; синтезом веществ, обладающих заданными свойствами; переводом технологии получения нового продукта с химического языка на язык производства; проведением исследований по разработке новых продуктов; внедрением разработанного продукта в производство (Реутов, Курц, Бутин, 2021).

Кроме того, химическое знание обладает своеобразием: оно представлено на макро-, микро- и символическом уровнях, а его использование предполагает установления взаимосвязей между ними (Johnstone, 1991). Тщательный анализ профессиональной деятельности химиков и выделение основных профессиональных задач химика на производстве позволили разработать стимульный материал в данном исследовании. Вопрос о том, как меняется характер обращения к химическому знанию в процессе становления профессионального опыта остается до сих пор открытым и требует серьезного изучения.

Цель исследования: выявить различия в эффективности и характеристиках когнитивных стратегий решения профессионально-специфичных задач у специалистов в области химии с разным уровнем профессионального опыта.

Объект исследования: когнитивные стратегии решения профессионально-специфичных задач у специалистов с разным профессиональным опытом.

Предмет исследования: эффективность и характеристики когнитивных стратегий, проявляющиеся в показателях оculoмоторной активности в процессе решения задач специалистами в области химии с разным профессиональным опытом.

Основная гипотеза исследования

Специалисты в области химии с более высоким уровнем профессионального опыта (эксперты), по сравнению с начинающими специалистами (новичками), решают профессионально-специфичные задачи быстрее, с меньшим количеством ошибок за счет использования более эффективных когнитивных стратегий.

Частные гипотезы исследования

1. Эксперты в области химии будут давать больший процент правильных ответов, затрачивать меньше времени и усилий при решении профессионально-специфичных задач на идентификацию молекулы вещества и моделирование схемы технологического процесса.
2. Когнитивные стратегии, используемые экспертами и новичками в области химии, будут различаться по последовательности действий и ряду существенных характеристик, связанных с особенностями когнитивной обработки.
3. Эксперты в области химии в процессе решения задач способны эффективнее формировать и использовать различные формы ментальных репрезентаций компонентов задачи.
4. Эксперты в области химии быстрее и точнее выделяют релевантные области в профессиональных задачах разного типа.
5. Эксперты в области химии демонстрируют высокую эффективность в преобразовании различных форм представления химического знания (они быстрее и точнее преобразуют трехмерные молекулы веществ в формульную и словесную запись вещества и обратно; быстрее и точнее преобразуют словесное описание технологического процесса в схематическое представление технологического процесса).

6. Параметры движений глаз, отражающие характер познавательной деятельности при решении профессионально-специфичных задач, значимо различаются у групп с разным профессиональным опытом.

Задачи исследования

1. Провести теоретический анализ проблемы и концептуальных подходов к изучению профессионального опыта в отечественной и зарубежной психологии.

2. Обосновать использование показателей глазодвигательной активности для анализа когнитивных стратегий решения задач специалистами с разным уровнем профессионального опыта.

3. Выявить особенности профессионального опыта и экспертного знания специалистов-химиков и разработать комплекс профессионально-специфичных задач для изучения когнитивных стратегий опытных и начинающих химиков.

4. Экспериментально сравнить эффективность и характер решения профессионально-специфичных задач специалистов-химиков с разным уровнем профессионального опыта с помощью анализа результативности, глазодвигательной активности, post-hoc интервью испытуемых.

5. Выявить основные характеристики когнитивных стратегий и ключевые показатели глазодвигательной активности, позволяющие дифференцировать когнитивные стратегии решения задач у специалистов с разным уровнем профессионального опыта.

6. Описать когнитивные стратегии решения профессионально-специфичных задач опытных и начинающих специалистов.

7. Сравнить эффективность использования различных форм представления химического знания опытными и начинающими специалистами в области химии.

Методологические основания работы

Методологические основания диссертационного исследования составили фундаментальные принципы взаимообусловленности деятельности и сознания (С.Л. Рубинштейн, А.Н. Леонтьев, Е.А. Климов), развития (Л.С. Выготский, Л.И. Анцыферова, А.Г. Асмолов), системности (П.К. Анохин, Б.Ф. Ломов, Б.Г. Юдин), профессионального опыта (Е.А. Климов, Е.Ю. Артемьева, Ю.К. Стрелков), концепции когнитивной обработки в процессе решения

профессиональных задач (Б.М. Величковский, Г. Саймон, Ф. Гобе, А. Эриксон), развития системы когнитивных умений и навыков в рамках профессиональной деятельности (В.П. Зинченко, Б.М. Величковский, Д.Н. Ошанин).

Методы исследования

Основной метод – квазиэксперимент, построенный на сравнении эффективности и характере когнитивных стратегий решения задач опытными и начинающими специалистами (экспертами и новичками). Была разработана экспериментальная процедура с использованием двух профессионально-специфичных задач, предварительного анкетирования, регистрации глазодвигательной активности, и «post-hoc» интервью. При разработке задач и стимульного материала использовался метод экспертной оценки. Создание экспериментальной процедуры выполнялось при помощи программного обеспечения «SMI Experiment Center». Сбор данных осуществлялся с применением айтрекера SMI Hi-Speed с частотой 1250 Гц и подбородной опорой. Обработка записей движений глаз произведена с помощью программного обеспечения SMI IView ETG 3.6 и SMI BeGaze 3.6.; статистический анализ данных был выполнен с помощью программы IBM SPSS 21.

Характеристика выборки

Экспериментальное исследование проведено на базе факультета психологии МГУ имени М.В.Ломоносова с использованием установки для видеорегистрации движений глаз. В экспериментальных исследованиях приняли участие 77 специалистов в области химии - сотрудников химических предприятий ПАО «Химпром», АО «Перкарбонат», АО «Волжская перекись», которые были разделены на две группы по критерию стажа работы. В первую группу – «новичков» – вошли 37 начинающих химиков, работающих на химических предприятиях от 9 месяцев до 1,5 лет (средний стаж работы – 1 год, средний возраст – 21 год, занимаемые должности: химик-технолог, инженер-технолог, инженер-химик). Вторая группа «экспертов» – 40 профессиональных химиков, успешно работающих на химических предприятиях в должностях инженеров-технологов, инженеров-химиков, ведущих инженеров от 10 до 18 лет (средний стаж работы – 15 лет, средний

возраст – 38 лет). Для разработки стимульного материала привлечена группа из 5 высококлассных специалистов в области химии, кандидатов химических наук.

Научная новизна результатов исследования заключается в предложенной и обоснованной схеме анализа когнитивных стратегий решения профессионально-специфичных задач. На основе предложенной схемы выявлены и описаны когнитивные стратегии разной эффективности, установлены их существенные характеристики, проявляющиеся в параметрах движений глаз.

Разработаны оригинальные профессионально-специфичные задачи на идентификацию молекул вещества и моделирование схем технологического процесса, которые позволили дифференцировать когнитивные стратегии экспертов и новичков.

Впервые систематически проанализирована структура когнитивных методов и приемов, обеспечивающих эффективное решение профессионально-специфичных задач в области химии. Это позволило выявить и описать стратегии, присущие экспертам и новичкам. Установлено, что преимущество экспертов достигается за счет применения эндогенных стратегий, предполагающих преимущественную опору на формируемые в процессе решения ментальные репрезентации, структурирование поступающей информации, поддержание высокого уровня сознательного контроля. Новички уступают в эффективности решения, поскольку используют экзогенные стратегии, ориентированные на стихийное сканирование, сличение разных частей визуальной информации.

Новым является обнаруженный факт, что эксперты в области химии могут быстрее и точнее переводить профессионально-специфичную информацию из одной формы представления в другую (из трехмерного изображения молекулы вещества в химическую формулу, представленную в словесной форме, а также из словесного описания технологического процесса в схематическую запись и обратно).

Теоретическая значимость полученных результатов. В работе получили дальнейшее развитие теоретические положения о профессиональном опыте как системе средств, способов, приемов, процедур, приобретаемых и используемых в процессе трудовой деятельности.

Внесен вклад в разработку научных представлений о когнитивных стратегиях решения профессиональных задач, создана и описана их структура, выделены характеристики и ключевые компоненты. Показано, что с накоплением профессионального опыта происходит переход от экзогенных к эндогенным стратегиям решения задач. Применение эндогенных стратегий позволяет более опытным специалистам затрачивать меньше времени на ориентировку в задаче и принятие решений, быстрее и точнее выделять релевантные области и осуществлять по отношению к ним более глубокую когнитивную обработку; сохранять более высокий уровень контроля; эффективнее создавать и использовать ментальные репрезентации.

Практическая значимость полученных результатов определяется возможностью применения установленных данных для диагностики и развития уровня компетентности специалистов в области химии. Разработанные задачи могут использоваться для подбора персонала, для принятия решения о допуске к работе в конкретной должности или при переходе специалиста химика на новый производственный участок, как показатель технологической адаптации на химических предприятиях. Полученные результаты могут применяться для создания новых образовательных программ и технологий обучения химии, формирования ментальных репрезентаций вещества, работе со схемами технологических процессов. Данные об эффективных стратегиях движения глаз могут быть полезны при разработке новейших пользовательских интерфейсов и компьютеризированных программ в химической промышленности.

Надежность и достоверность результатов обеспечивается обоснованностью теоретико-методологического подхода; применением методов регистрации, обработки и анализа данных, адекватных предмету и задачам исследования; использованием при обработке и анализе данных высокотехнологичного современного программного обеспечения и статистических методов, отвечающих специфике эмпирических данных.

Положения, выносимые на защиту

1. Повышение эффективности решения профессионально-специфичных задач по мере становления профессионального опыта происходит за счет качественных

изменений в когнитивных стратегиях, регистрируемых в показателях глазодвигательной активности.

2. На начальных этапах становления профессионального опыта специалисты применяют экзогенные стратегии, характеризующиеся преимущественной опорой на внешнюю информацию, слабым структурированием информационного поля. Использование стратегий данного типа приводит к более медленной первичной ориентировке, затруднениям в выделении релевантных областей задачи, большому количеству перемещений взгляда между областями задачи, использованию приемов исчерпывающего поиска.

3. На поздних этапах профессионального опыта специалисты используют эндогенные стратегии, которые характеризуются преимущественной опорой на имеющиеся знания и формируемые в процессе решения задач ментальные репрезентации, выраженным структурированием информационного поля. Стратегии данного типа позволяют быстрее ориентироваться в пространстве задачи, точнее выделять релевантные области и осуществлять по отношению к ним более глубокую когнитивную обработку, использовать приемы самооканчивающегося поиска.

4. Становление профессионального опыта специалистов химиков ведет к более эффективному использованию структуры химических знаний, позволяет быстрее и точнее осуществлять переход между различными формами представления профессиональной информации (текстовой, схематической, словесной, трёхмерной).

Апробация результатов исследования. Результаты исследования обсуждались на заседаниях кафедры психологии труда и инженерной психологии МГУ имени М.В. Ломоносова (2019 г. и 2023 г.); заседаниях лаборатории психологии саморегуляции ПИ РАО (2021 г.); заседании лаборатории психологии труда, эргономики, инженерной и организационной психологии ИП РАН (2021 г.).

Основные положения и результаты исследования докладывались на: Европейской конференции по зрительному восприятию (Берлин, Германия, 2017); Европейской конференции по движениям глаз (Вупперталь, Германия, 2017); Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов» (Москва, Россия, 2017, 2018, 2019); Международной конференции

студентов, аспирантов и молодых ученых «Psy-Вышка» (Москва, Россия, 2018, 2019); Международном конгрессе по психофизиологии (Лукка, Италия, 2018); Международном форуме по когнитивному моделированию (Тель-Авив, Израиль, 2018); Европейском психологическом конгрессе (Москва, Россия, 2019); «Актуальные проблемы теоретической и прикладной психологии» (Ереван, Армения, 2019); Международной конференции «Математическая психология: современное состояние и перспективы», посвященная 90-летию со дня рождения В.Ю. Крылова (Москва, Россия, 2023).

Структура и объём диссертации

Работа состоит из введения, четырех глав, обсуждения результатов, выводов и заключения, списка литературы и четырех приложений. Общий объем работы составляет 194 страницы. В тексте диссертации содержится 22 таблицы 34 рисунка. Список литературы включает 258 наименований, из них 180 – на иностранном языке.

ГЛАВА 1. ПОНЯТИЕ, КОНЦЕПЦИИ И ПОДХОДЫ К ИССЛЕДОВАНИЮ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОПЫТА

1.1. Профессиональный опыт. Подходы к описанию и изучению

Понятие «профессиональный опыт»

В настоящее время исследования профессионального опыта становятся все более востребованными. Профессиональный опыт является важной характеристикой сотрудника организации, которая учитывается при отборе, оценке, назначениях, формировании команд и т.п. Под понятием «профессиональный опыт» мы, вслед за Ю. К. Стрелковым, будем понимать сложную систему способов, приемов и правил решения задач, складывающуюся в результате обучения и собственно трудовой деятельности (Стрелков, 2001). Он является результатом прошлого профессионала и определяет эффективность будущей деятельности сотрудника. Однако значимым вопросом является то, как оценить профессиональный опыт в настоящем. Существенным является то, что в процессе накопления опыта складываются системы не только декларативного, но и процедурного знания (Anderson, 1982), формируются стратегии, обеспечивающие решение профессиональных задач (Feldon, 2007). Пятьдесят лет назад Герберт Саймон и Уильям Чэйз предложили способ выявления структур профессионального опыта через сравнение экспертов и новичков в отдельных специализированных областях (Chase, Simon, 1973a).

В исследованиях, посвященных проблеме профессионального опыта, было показано, что специалиста высокого уровня отличает от низкоквалифицированного работника не только разнообразие умений и навыков, которые имеются в его распоряжении, но и осознание своего опыта и пределов своей компетентности. Они получают возможность управлять своими умениями, знать где, когда и как применить те или иные способы решения задач (Стрелков, 2007).

Важно отметить, что система профессионального опыта – живое образование, которое постоянно обогащается. Достижение высших уровней профессионального опыта происходит, в первую очередь, за счет смыслового наполнения, при котором каждое усвоенное знание обретает собственный субъективный смысл, а не является

только результатом накопления новых знаний (Абдуллаева, 2017; Артемьева, Стрелков, 1988). Особенно важно постоянное развитие систем профессионального опыта, ведь в связи с развитием информационных технологий очень часто появляются новые первостепенные значения, а другие – устаревают и теряют свою значимость.

М. А. Холодная, рассуждая об опыте, включает его в состав интеллекта (Холодная, 2020). Важно заметить, что исследователь вводит понятие «ментальный» опыт личности, определяя его как систему индивидуальных интеллектуальных ресурсов, которая обуславливает особенности познавательного отношения субъекта к миру и характер воспроизведения действительности в индивидуальном сознании (Холодная, 2020). По мнению М. А. Холодной, природа опыта заключается в ментальных структурах, отнесенных к трем уровням: когнитивному опыту (подразумевается получение, обработка, хранение и использование информации), метакогнитивному (произвольный и непроизвольный интеллектуальный контроль), интенциональному (индивидуальные интеллектуальные склонности). Уровень организации ментального опыта определяется степенью сформированности и мерой интеграции когнитивных, метакогнитивных и интенциональных психических структур.

Профессиональный опыт и профессиональная компетентность

Понятие профессионального опыта в современной науке связано в некоторой степени с понятием профессиональной компетентности. Под компетентностью специалиста подразумевают не просто степень профессиональной подготовленности сотрудника, а его способность актуализировать свою подготовленность в процессе профессиональной деятельности. Она включает в себя скрупулезное изучение своего дела, специфики выполняемой деятельности, знание средств и способов достижения поставленных задач. Впервые Р. Вайт (White, 1959) ввел в обращение термин «компетенции» для того, чтобы описать те особенности индивидуальности, которые наиболее тесно связаны с «превосходным» выполнением работы и высокой мотивацией. Сегодня профессиональной компетентностью, как правило, называют интегральную характеристику деловых и личностных качеств специалистов, которая определяет его способность решать

профессиональные проблемы и типичные профессиональные задачи, возникающие в реальных ситуациях профессиональной деятельности с использованием знаний и жизненного опыта, ценностей и наклонностей (Кузьмина, 1990). Д. Мак-Клелланд определил компетенции как характеристики людей, которые, с одной стороны, могут быть измерены, с другой – позволяют отличить работников, показывающих высокие результаты, от работников, показывающих низкие результаты в работе (McClelland, 1973).

В настоящее время исследователи по-разному подходят к анализу проблемы компетентности. Так, например, можно выделить функционально-операционный подход, представители которого анализируют в первую очередь операционную сторону деятельности сотрудников. Представители данного подхода утверждают, что компетентность выражается в овладении профессиональными знаниями, умениями, навыками, которые позволяют специалисту успешно решать трудовые задачи в соответствии с поставленными целями (Кузьмина, 1990). Специалисту высокого уровня свойственно умение грамотно и адекватно ставить перед собой цели на подготовительном этапе, знать пути реализации целей, владеть средствами труда, производить контроль на итоговом этапе работы (Климов, 1998).

В личностно-мотивационном направлении главную роль играет мотивационная сторона деятельности и личностные качества субъекта труда. Успешность профессиональной деятельности в рамках данного подхода обусловлена профессиональной мотивацией, профессиональным интересом и любопытством. Д. Равен, описывая компетентного сотрудника, приписывает ему совокупность компетентностей разного уровня (хорошо разбираться в предмете, автономно ставить цели, разрешать возникающие конфликты, писать деловые письма) (Равен, 2002). Исследователь утверждает, что компетентность может проявляться лишь в соотношении с ценностями специалиста (то есть при наличии у человека мотивации в данном виде деятельности) (Равен, 2002). Главная роль мотивации отводится и в работе К. Эриксона, который вводит специальное понятие «целенаправленная практика». «Целенаправленная практика» или «deliberate practice» является определяющим условием развития компетентности и не ограничивается решением задач в определенной области. Для обучающегося важно

иметь мотивацию к обучению, а не достижению цели, прилагать волевые усилия, получать обратную связь в ходе решения задач (Андерсон, 2002).

Следующий подход, характерный для работ И. Е. Елиной (Елина, 1999), предпринимает попытки соединить операциональные и мотивационные компоненты деятельности. Компетентность в данном подходе рассматривается как характеристика профессиональной деятельности, определяющая связь и соответствие цели и результата труда. Выделяются два важнейших этапа профессиональной деятельности: этап целеполагания – постановка целей и способов их достижения, и этап оценки, на котором производится сравнение желаемого результата с действительным. Полученный результат должен соотноситься с намеченной целью – тогда специалиста можно назвать компетентным. Если же соответствие не установлено, и полученный результат отличен от идеального, то специалист считается некомпетентным. И.Е. Елина считает, что единственный способ измерить компетентность специалиста – это самооценка и оценка результата деятельности (Елина, 1999).

А. К. Маркова, обсуждая феномен профессиональной компетентности, подчеркивает его системный характер. Компонентами профессиональной компетентности являются как мотивационные, так и операциональные аспекты (Маркова, 1996). А. К. Маркова выделила несколько видов компетентности: специальная (владение профессиональной деятельностью на высоком уровне, умение определять свое дальнейшее развитие как профессионала), социальная (способность осуществлять совместную профессиональную деятельность, сотрудничество), индивидуальная (владение основными способами самореализации и саморазвития в рамках своей профессии, способность рациональной организации своего труда), личностная (владение индивидуальными приемами, помогающими преодолеть профессиональные деформации), экстремальная (способность работать неизменно в изменившихся условиях деятельности) (Маркова, 1996).

Таким образом, в широком смысле компетентность определяет меру освоения индивидом той или иной предметной области и характеризуется особым типом организации предметно-специфических знаний и эффективностью принятия решений в данной предметной области, а в узком смысле – это способность и готовность специалиста решать профессиональные задачи.

Как соотносится профессиональная компетентность с профессиональным опытом? Во-первых, профессиональный опыт можно рассмотреть, как один из источников компетентности специалиста. Компетентность формируется в ходе обучения и профессионального опыта. Здесь профессиональный опыт является опытом деятельности, реализуемой через решение профессиональных задач. Взаимодействие знаний, умений, навыков специалиста в профессиональном опыте порождает профессиональную компетентность. Компетентность является производной профессионального опыта, следствием его формирования в течение деятельности специалиста. Компетентность будет обусловлена спецификой, разнообразием и форсированностью профессионального опыта. Во-вторых, профессиональный опыт в своих завершённых формах является частью профессиональной компетентности. Он воплощает в себя способы и стратегии решения конкретных профессиональных задач, которые встают перед специалистом в определенных ситуациях трудовой деятельности. В нашем исследовании мы остановимся на изучении феномена компетентности в аспекте профессионального опыта. В таком случае компетентность специалиста будет проявляться в особых способах и стратегиях решения задач (Блинникова, Ишмуратова, Леонова, 2018).

Отдельно стоит вопрос об измерении уровня профессиональной компетентности. Долгое время полагалось, что в основе прогнозирования уровня достижений в профессиональных областях лежат психометрические процедуры определения способностей. Все изменилось с момента опубликования в 1973 году знаковой статьи Дэвида МакКлеелланда «Скорее нужно тестировать компетенции, а не интеллект» («Testing for Competence Rather Than Intelligence») (McClelland, 1973), которую часто расценивают как начало компетентностного подхода в психологии и педагогике. Д. МакКлеелландом было продемонстрировано, что используемые тесты способностей, академические тесты и тесты на знание предмета не могли спрогнозировать эффективность выполнения работы или достижение успеха в жизни. Для диагностики компетентности он предложил два методических приема – метод критериальных выборок, который предполагает сравнение личностных свойств, способностей, знаний, умений, навыков людей, явно успешных в профессиональной деятельности с менее успешными, чтобы выявить характеристики, которые связаны с эффективной работой; и метод тестовых

заданий (кейсов), который позволял участникам исследований генерировать идеи, искать решения и подходы, проявляя свой профессиональный потенциал.

Подходы к анализу профессионального опыта

В научной литературе существует несколько подходов к анализу профессионального опыта. Первый подход к анализу профессионального опыта – структурный. В нем опыт рассматривается с точки зрения элементов, из которых он состоит. В данном подходе имеется большое количество разногласий между исследователями относительно проблемы составных элементов профессионального опыта. Так, например, А.К. Маркова, рассматривая данный феномен, описывает, что входит в его структуру, а именно: профессиональные знания, необходимые для деятельности субъекта, профессиональные умения, личностные особенности специалиста, которые обеспечивают овладение человеком знаниями и умениями (Маркова, 1996). Большинство исследователей к составляющим профессионального опыта относят знания, умения, навыки (Лактионов, 1998), некоторые добавляют такую единицу, как привычки (Платонов, 1972).

Второй подход – генетический, рассматривает профессиональный опыт с позиции его формирования. В рамках данного подхода особое внимание уделяется приобретению опыта субъектом труда. Также анализируются индивидуальное знание субъекта профессиональной деятельности о разнообразных аспектах рабочей ситуации. Профессиональный опыт в данном направлении рассматривается не только как знание о различных объектах, но то знание, которое было освоено «в терминах и единицах данного субъекта» (Корнилов, 1982). В рамках данного подхода профессиональный опыт анализируется в контексте общего развития личности, которая осваивает профессиональную деятельность. Поэтому развитие профессионального опыта это, с точки зрения сторонников данного подхода, становление системы личностных смыслов, мотивов, потребностей и ценностей (Стрелков, 2001).

Следующее направление в изучение феномена профессионального опыта – функциональный подход, он до определенной степени интегрирует в себе первый и второй подходы. Этот третий подход был предложен Ю. К. Стрелковым и заключается в выделении функциональных систем и подсистем. В отличие от

структурных компонентов первого подхода функциональные системы обладают большей гибкостью и адаптивностью. Подсистемы выполняют следующие функции: выбор необходимой цели, формулировка задач, выделение способов достижения поставленных задач, поддержание адекватного уровня работоспособности, обеспечение спонтанной активности, объединение деятельности трех других подсистем (Стрелков, 2001). Системы и подсистемы трансформируются по ходу развития профессионального опыта.

Системы и подсистемы профессионального опыта могут быть продиктованы спецификой профессии и быть не существенными при анализе других профессий. Выделяют некие универсальные, общие для всех профессий компоненты и узкие, специфические для определенной группы профессий. Например, Ю. К. Стрелков описывает «чувство самолета», которое имеется у группы летчиков (Стрелков, 1989), также описаны «чувство автомобиля», присущее водителям транспортных средств, «чувство льда», характерное для фигуристов, а также «чувство станка», которым обладают рабочие. Анализ составляющих профессионального опыта в настоящее время является сложным процессом для исследователей. С возрастанием сложности современных профессий становится все сложнее определить, в форме каких структур аккумулируется опыт субъекта.

Несмотря на существование нескольких подходов и множества моделей, остается неясным, каким образом описывать профессиональный опыт, используя выделенные параметры, каким образом проводить сравнение опыта одного профессионала с опытом другого, как оценить влияние на профессиональный опыт выполняемой деятельности и как измерять изменение профессионального опыта в течение времени. Если оценивать профессиональный опыт посредством знаний, умений и навыков, то возникает проблема их адекватной оценки, так как в условиях современной профессиональной среды вариативность знаний, умений, навыков очень высока и зависит от сочетания многих других факторов (личностных характеристик, ценностных, мотивационных установок, функциональных состояний и др.).

Ю. К. Стрелков отмечал, что к развитию профессионального опыта также применим и принцип формирования индивидуального опыта, который был описан А. Н. Лактионовым, основанный на том, что опыт является превращенной формой

жизнедеятельности. В ходе процесса «превращения» – особой формы взаимосвязи субъекта с реальностью, знание субъекта становится его опытом (Лактионов, 1998). С этой точки зрения мы можем рассмотреть, как опыт преобразует системы ментальной активности человека (Александров, 2006). Анализируя вклад профессионального опыта в выполнение задач, выделяют ряд направлений. Первое касается знания субъекта: многие авторы отмечают, что в процессе опыта знание не только накапливается, но и переструктурируется, развиваются системы доступа к различным когнитивным блокам. Второе направление связывают с выработкой более эффективных способов и стратегий решения задач, связанных с профессиональной областью знаний. Третье направление определяется процессом автоматизации умений, навыков, способов обращения к знаниям, применения стратегий и т.п. Четвертое направление, пожалуй, самое проблематичное – оно затрагивает не только положительные изменения, которые происходят с субъектом деятельности, но и негативные. Речь идет об уровне адаптивности субъекта опыта к задачам разного типа. И в этом аспекте субъекты, обладающие более продвинутым профессиональным опытом, часто испытывают трудности (Feldon, 2007).

Так как данный феномен может быть представлен как профессиональная целостность, которой присущи конкретные характеристики (свойства профессионального опыта), то возникает вопрос, как можно адекватно сравнить профессиональный опыт разных специалистов. Самый распространенный и незатратный способ оценки профессионального опыта – определение стажа работы человека в выбранной профессиональной области. Но такой способ не дает полного представления о структурах профессионального опыта. Важно найти существенные характеристики высококомпетентных специалистов, обнаружить качества, определяющие их превосходство, найти и описать способы, приемы, с помощью которых они добиваются наивысшего уровня достижений в своей профессиональной области. Это заставило исследователей искать методы, которые смогли бы определить характеристики, позволяющие прогнозировать уровень исполнения работы. Такие методы были найдены.

Аспекты профессионального опыта

В фундаментальной работе У. Чейза и Г. Саймона (Chase, Simon, 1973b), посвященной особенностям памяти шахматистов, было показано, что основополагающей составляющей профессионального опыта является точность и количество знаний. В исследовании сравнивались способности шахматистов воспроизводить расположение фигур на шахматной доске. Результаты показали превосходство высококлассных игроков по сравнению с теми, кто находился на более низких уровнях профессионального опыта в задачах с необходимостью воспроизведения позиций фигур при кратковременном предъявлении стимулов. Несмотря на это, при эквивалентных условиях выдающиеся шахматисты не продемонстрировали значимого преимущества в задачах с воспроизведением случайных стимулов, не связанных с шахматами (Блинникова, Ишмуратова, Леонова, 2018).

Авторы пришли к выводу, что эффективность использования знаний зависит от двух факторов. Во-первых, задачи должны быть в рамках предметной области испытуемых. Во-вторых, эффективное обращение к предыдущему релевантному опыту в данной области обеспечивает высокую скорость работы и больший объем памяти, который и был продемонстрирован участниками эксперимента У. Чейза и Г. Саймона. Таким образом, процесс решения задач основан на экспертных знаниях, которые можно быстро и стабильно воспроизвести. Последующие исследования профессионального опыта в различных областях показали аналогичные результаты роли предшествующих знаний в эффективности решения задач (Alberdi, Sleeman, Korpi, 2000; Veilock, Wierenga, Carr, 2002).

Другая характеристика знания, по которой различаются специалисты с разным профессиональным опытом, включает уровни дифференциации и уровни абстракции. В настоящее время стало понятно, что особая структура знаний дает преимущества в решении задач. Сформированные ментальные репрезентации проблемных ситуаций создают особые связи между релевантными составляющими задачи. Следовательно, увеличение объема полученной информации еще больше улучшает способности к решению задачи. К примеру, способность воспроизведения позиций фигур на шахматной доске у высококвалифицированных шахматистов улучшалась, если пояснения к задаче предоставлялись до или после предъявления

шахматной доски (Cooke et al., 1993). Без пояснения к задаче они воспроизводили позиции фигур лучше, чем новички, но в меньшей степени, чем при наличии пояснений. Это свидетельствует о том, что профессиональный опыт приводит к лучшей способности к запоминанию и воспроизведению информации в ситуациях, когда профессионалы высокого уровня могут использовать свои абстрактные знания в отношении конкретных задач.

Различия между специалистами с разным уровнем профессионального опыта могут выражаться в особых способах решения задач – стратегиях решения задач. Индивидуальные когнитивные стратегии – это устойчивые способы, которые позволяют решать задачи успешно (Спиридонов, 2006). Исследования показывают, что профессионалы высокого уровня используют свои высокоструктурированные знания о важных понятиях и принципах в своей профессиональной области для создания эффективных стратегий (Chi, Glaser, Rees, 1981; Singley, Anderson, 1985).

Имеются определенные разногласия в литературе относительно роли автоматизмов в профессиональном опыте: некоторые исследователи считают, что автоматизмы являются отличительной чертой профессионального опыта (Scardamalia, Bereiter, 1993), другие же полагают, что это не так (Ericsson, 1998). Автоматизмом называется выполнение не требующих усилий когнитивных процедур (Schneider, Shiffrin, 1977; Shiffrin, Schneider, 1977). Это происходит, когда специалисты с большим профессиональным опытом в решении определенной задачи выполняют ее чрезвычайно быстро, при этом уровень затрачиваемых когнитивных усилий снижается (Anderson, 1982; Logan, 1988). Было обнаружено, что в сложных навыках автоматизм влечет за собой сокращение числа промежуточных точек принятия решений, требующих сознательного контроля (Blessing, Anderson, 1996; Fitts, Posner, 1967; Logan, 1988).

Стратегии, ставшие автоматизмами, трудно изменить: опытные специалисты склонны с большей вероятностью бессознательно применять автоматизированные стратегии, даже при достижении сознательно выбранных целей (Aarts, Dijksterhuis, 2000). Как правило, автоматизмы не подлежат сознательному контролю и выполняются без перерывов и остановок до момента завершения решения. Автоматизмы затруднительно изменить, но в то же время они позволяют специалисту быть эффективным в процессе решения задачи (Logan, Cowan, 1984).

Автоматизмы также могут происходить и до осознанного выбора целей. Автоматизм в такой форме может оказывать влияние на суждения и оценку ситуации субъекта, а также на его выбор целей (Bargh, Chartrand, 1999).

А. Эрикссон утверждает, что развитие автоматизма препятствует развитию экспертного знания (Ericsson, 1998). Данное утверждение имеет две предпосылки: первая заключается в том, что успешная адаптация к нетипичным условиям является основой профессионального опыта (Ericsson, 1998), вторая – подобные адаптации требуют сознательного контроля совершаемых действий для изменения результата. В частности, Эрикссон полагает, что главная проблема для начинающих специалистов – избежать отставания в профессиональном развитии, связанного с автоматизмом. Однако, другие исследования не подтверждают подобную связь автоматизма и профессионального опыта. Первая предпосылка не предполагает того факта, что профессионалы высокого уровня могут различаться между собой по уровню адаптивности.

Также в некоторых исследованиях выделяются рутинные и адаптивные структуры профессионального опыта (Hatano, 1982). Специалистам с высоким уровнем адаптивности присущ стабильный уровень эффективности решения задач в меняющихся условиях деятельности, специалистам с низким уровнем адаптивности присуща высокая эффективность работы в стабильных условиях деятельности. Но при изменении условий задачи даже высококлассные профессионалы с низкой способностью к адаптации не могут поддерживать высокий уровень производительности (Gick, Holyoak, 1980). В исследовании игроков в бридж (Frensch, Sternberg, 1989) варьировались условия игры, чтобы изучить влияние данного фактора на эффективность адаптации. Было обнаружено, что и опытные, и начинающие игроки одинаково эффективно адаптировались к поверхностным изменениям игры, однако изменение на более глубоких уровнях в большей мере нарушали деятельность опытных игроков. Это было интерпретировано как свидетельство того, что автоматизмы опытных профессионалов менее адаптивны и почти не подвержены модификациям.

В другом исследовании на выборке инженеров было показано, что при решении технических задач высококлассные специалисты находили неисправный элемент в 59 процентах случаев, в то время как новички – в 75 процентах (Besnard,

Sacitti, 2001). Но при этом пять из десяти опытных инженеров правильно определили причину неисправности, и только двое из девяти начинающих специалистов смогли сделать то же самое. Пятеро опытных инженеров, не справившихся с заданием, использовали свои привычные стратегии, будучи не в состоянии модифицировать автоматизмы; пять остальных успешно адаптировали стратегии решения подобных задач.

Таким образом, каждый аспект профессионального опыта (структура знаний, стратегия решения задач, автоматизация умений и навыков, адаптация к условиям задачи) вносит огромный вклад в эффективность деятельности специалистов.

1.2. Сравнение решения задач экспертами и новичками как модель изучения профессионального опыта

В большинстве исследований о роли профессионального опыта сравнивают специалистов, находящихся на разных уровнях профессионального развития. Традиционно принято сравнивать начинающих специалистов («новичков» – то есть тех, кто находится на начальном этапе своего профессионального развития) и опытных специалистов («экспертов»). Такой подход предполагает высокую экологическую валидность в связи с участием в качестве испытуемых специалистов, имеющих разный профессиональный опыт, как по времени накопления, так и по качественным характеристикам. С помощью данного метода можно установить не только особые характеристики познавательных и эмоциональных процессов, индивидуальных и личностных характеристик «новичков» и «экспертов», но и выявить внутренние (ментальные) средства, обуславливающие различия между группами в решении профессиональных задач.

Экспертами (профессионалами) мы называем специалистов, имеющих достаточно длительный¹ и успешный² профессиональный опыт в

¹ Андерс Эрикссон вместе с коллегами считает, что длительность профессионального опыта экспертов должна быть не меньше 10 лет (Ericsson, Krampe, Tesch-Römer, 1993). Другие авторы полагают, что критическая продолжительность опыта может быть и ниже – это зависит от интенсивности профессиональной практики (Simonton, 1999).

² Некоторые авторы полагают, что термин «эксперт» может относиться только к специалистам, достигшим высочайших успехов в тех или иных профессиональных областях (Ericsson, Smith, 1991). Другие полагают, что уровень достижений зависит от конкретной области экспертизы и связан с особенностями профессионального сообщества и наличием определенных процедур оценки и социального признания той

специализированной области³, например, квалифицированные врачи, опытные шахматисты, профессора университетов, лица, в идеале владеющие иностранными языками и др. В современной зарубежной психологии все чаще применяют понятие «экспертность», которое, по мнению некоторых авторов, интегрирует хорошо организованную структуру знаний и высокую эффективность профессиональной деятельности (Kraiger, Ford, Salas, 1993). Новичками или начинающими специалистами мы будем называть тех, кто только начал свой профессиональный путь и еще не успел продвинуться по нему (Спиридонов, 2006).

Рассмотрим подробнее те параметры, по которым могут различаться начинающие и опытные специалисты. Р. Глейзер и М. Чи (Chi, Glaser, Rees, 1981) в своей работе выделили ряд важных характеристик, присущих экспертам: 1) они превосходят других в своей профессиональной области; 2) воспринимают значимые, взаимосвязанные модели в рамках своей области; 3) быстрее и эффективнее выполняют задания в рамках своей специализации; 4) обладают лучшей кратко- и долговременной памятью; 5) воспринимают задачи в рамках своей профессиональной области на более глубоком (фундаментальном) уровне по сравнению с новичками; 6) тратят больший процент времени на качественный анализ задач; 7) производят эффективный самоконтроль в процессе решения задач. Было показано, что экспертам во многих профессиональных сферах присущи выделенные характеристики. Тем не менее, не было выявлено, в какой степени эти навыки должны быть необходимыми или достаточными для работы конкретного эксперта (Блинникова, Ишмуратова, 2019).

При сравнении новичков и экспертов в центре внимания, как правило, оказывается анализ когнитивных процессов (Спиридонов, 2012). Исследование когнитивных процессов новичков и экспертов началось с анализа деятельности шахматистов в 1925 году (Дьяков, Петровский, Рудик, 1926). Была поставлена задача выявить определенные различия между гроссмейстерами (профессионалами высокого уровня) и людьми, которые не умеют играть в шахматы. Не было обнаружено значимых различий между группами испытуемых по объему

или иной профессиональной компетентности. «Эксперты», с этой точки зрения, должны обладать лишь высокой квалификацией, при этом во многих случаях это относится к узкому классу задач (Sternberg, 1998).

³ Одна из важнейших характеристик экспертов – это владение специфичным знанием в определенной области и возможность решения узкоспециализированных задач (Feldon, 2007).

запоминаемого материала, так как в этом исследовании измерялась степень развития познавательных способностей, не имеющих непосредственного отношения к профессиональной деятельности испытуемых (к игре в шахматы) – объем вербальной памяти, скорость простой моторной реакции и т.д.

В дальнейшем Г. Саймон и В. Чэйз пересмотрели область поиска различий между экспертами и новичками и сместили фокус внимания на релевантные профессиональной деятельности характеристики познавательной сферы (Chase, Simon, 1973b). Было обнаружено, что эти характеристики обладают сильно выраженными особенностями – например, организацией имеющихся у них специальных знаний. С помощью использования технологии регистрации движений глаз были описаны предметно-специфические структурные единицы организации профессионального опыта – «чанки», количеством и способом организации которых и отличались эксперты от новичков (Chase, Simon, 1973b). Объединение фигур в «чанки» производили все испытуемые, но эксперты использовали гораздо большее количество подобных осмысленных конфигураций. Опытные шахматисты видят, запоминают и понимают позицию с помощью выделения подобных интегративных структур, в свою очередь, новички часто переходили на пофигурное воспроизведение позиций. Затем концепция «чанков» нашла свое продолжение на выборке врачей – врачи имеют схожую структуру – «сценарий болезни» («illness script») (Feltovich, Barrows, 1984). В эту структуру вошла следующая информация: пол пациента, возраст, профессия, склонность к заболеванию в семье – то есть то, что называется поверхностным медицинским знанием. Чем опытнее врач, тем меньше он запоминает истории болезней пациентов.

Г. Саймон и его последователи (В. Чэйз, Ф. Гобе и др.) полагали, что преимущество экспертов связано с ментальными структурами, формирующимися и хранящимися в кратковременной памяти с чем были не согласны К. Эрикссон и В. Кинч (Ericsson, Kintsch, 1995), связав процесс кодирования и извлечения знаний экспертов с долговременной памятью. Несмотря на разногласия исследователей, стало понятно, что особая организация предметно-специфических знаний является одной из составляющих в структуре профессионального опыта (Спиридонов, 2006). В работе А. Де-Гроот и коллег было показано, что главную роль играют не

особенности мышления экспертов, а лучшая организация их знаний коллегами (de Groot, Gobet, Jongman, 1996).

Отметим, что нельзя свести феномен превосходства экспертов к особенностям памяти. Некоторые ученые (Voss et al., 1983) в своей работе приходят к выводу, что решение задач опытными специалистами включает понимание со структурированием проблемы и ее классификацией, и именно это играет главную роль при поиске решения. Также было отмечено, что преимущество экспертов в том, что они лучше выстраивают структуру в плохо структурированных задачах. Кроме этого, в одной из ранних работ было показано, что способность экспертов эффективнее решать задачи скорее связана с процессами активного поиска, изменения и более успешным анализом материала, чем с готовыми шаблонами, которые используются для опознания конфигураций (Holding, 1979).

Р. Глейзер изучал, каким образом решают задачи новички в области физики (студенты) и эксперты в той же области (профессора) (Chi, Glaser, Rees, 1981). Он определил, что эксперты при решении задач опираются на обобщенные, категориальные знания, вытекающие из знаний субъекта, а знания новичков сконцентрированы вокруг поверхностных аспектов задачи, указанных непосредственно в условиях задания. Кроме того, оказалось, что эксперты лучше знают, как использовать имеющуюся у них информацию и быстрее дифференцируют релевантную и нерелевантную информацию. Из этого следует вывод о том, что причины различий заключены в применении разных стратегий решения задач и в особой организации знаний.

В другом исследовании (Chi, Glaser, Rees, 1981) испытуемым необходимо было классифицировать задачи. Классификации экспертов оказались более грамотно построенными за счет нахождения обобщенных принципов (например, законы Ньютона). Для экспертов это была не просто классификация задач, но одновременно и решение этих задач. Аналогичным образом в задаче на категоризацию строк компьютерного кода начинающие программисты классифицируют строки по синтаксису, тогда как опытные программисты используют функциональные или семантические характеристики (Adelson, 1981).

Сравнение экспертов и новичков является наиболее часто используемой исследовательской парадигмой изучения того, как специалисты решают задачи.

Однако ее применение требует учета множества существующих ограничений. Эксперты и новички должны быть в равных условиях при прохождении экспериментальных заданий. Также возникает проблема идентичности групп экспертов и новичков по всем параметрам, кроме профессионального опыта. В первую очередь, это касается возраста участников исследования: как правило, эксперты всегда значительно старше новичков.

Решение задач экспертами и новичками

Каким образом можно выявить различия между специалистами, находящимися на разных этапах профессионального развития? Д. МакКлеланд (McClelland, 1973) был против того, чтобы использовать традиционные тестовые методики для оценки возможностей и потенциала развития профессионалов. Он считал, что такую оценку можно проводить только в рамках профессиональной деятельности, или моделируя отдельные задачи, которые необходимо решать профессионалам. В частности, он предложил метод кейсов или тестовых заданий, который позволял участникам исследований генерировать идеи, искать решения и подходы, проявляя свой профессиональный потенциал⁴. Сегодня большинство исследователей соглашаются с тем, что одним из наиболее перспективных способов измерения профессионального опыта является исследование процесса решения некоторой совокупности профессионально-значимых ситуаций или задач.

Данный способ оптимален, потому что зачастую опытные и квалифицированные работники не способны описать причины успеха в своей профессиональной деятельности (Геллерштейн, 2017).

Сравнение специалистов с разным уровнем профессионального опыта в большинстве случаев демонстрирует, что эксперты более эффективны в решении задач, которые относятся к их предметной области. Этот стабильно повторяющийся результат получает название «превосходство экспертов». Опытные профессионалы демонстрируют свое преимущество и в реальной профессиональной деятельности, и в экспериментальных условиях.

⁴ Первые апробации этих методов были проведены с участием сотрудников дипломатической информационной службы Государственного Департамента США. В начале 1970-х Государственный Департамент США в психологическую службу за помощью в подборе младших сотрудников для Дипломатической информационной службы (Foreign Service Information Officers, FSIOs).

При этом важно учитывать параметры задач и критерии эффективности их выполнения. Задачей можно назвать цель, которая поставлена перед человеком в определенных условиях, и которую необходимо достичь (Спиридонов, 2006). В психологии труда понятие «задача» представляется неоднозначно. Л. Л. Гурова рассматривает задачу в контексте направления деятельности человека и анализирует средства, которыми реализуется поставленная задача (Гурова, 1976). Исследователь полагает, что задача, как правило, является более конкретной, четко заданной целью, достижение которой определяется средствами, которыми владеет человек (Гурова, 1976). При анализе процесса решения задач В. Д. Шадриков отмечает, что специалисту требуется постоянно решать задачи (в том числе и творческие) и, чтобы достигнуть поставленную цель профессиональной деятельности, человек самостоятельно принимает решения о том, что, как и когда он должен делать (Шадриков, 1994). Некоторые психологи полагают, что отличительной особенностью задач является знание цели и незнание или неполное знание средств ее достижения (Мамыкин, 1972). А. Н. Леонтьев (Леонтьев, 1972) и В. В. Петухов (Петухов, 1987) отмечают, что процесс решения задачи является достижением четко заданной цели и представляет собой поиск требующихся для этого средств. Важно заметить, что средства, необходимые для решения задачи, отсутствуют в постановке цели и задачи.

Как правило, задача предзадана до того, как начался процесс решения задачи (Стрелков, 2001). Решение задач является изменяющимся во времени непрерывным процессом, целью которого является получение определенного результата. Важной характеристикой этого процесса можно назвать то, что он протекает при наличии внутреннего плана действия (Пономарев, 1976), и зачастую происходит без какой-либо опоры на информацию, поступающую из внешнего мира. В связи с вышеописанными особенностями, процессом решения задач довольно трудно управлять и также трудно наблюдать мыслительный процесс без применения дополнительных экспериментальных методов.

В нашей работе мы будем определять задачу как цель, которая задана в определенных условиях, препятствующих ее непосредственному достижению. В данном случае под процессом решения задачи можно понимать нахождение необходимых средств для достижения уже заданной цели (Спиридонов, 2006).

Соответственно, в рамках решения задач можно сформулировать критерии для оценки правильности решения. Также профессиональная цель обычно не единична, а состоит из комплекса целей.

Задачи характеризуют ряд параметров. В частности, выделяют сложные и простые задачи. Сложная задача, как правило, характеризуется легкостью ее деавтоматизации. Чем сложнее задача, тем больше единичных подзадач в ней содержится (Стрелков, 2001). Решение такой задачи подразумевает создание специальных стратегий, которым присуща неопределенность, многовариантность. Для сложных задач характерны следующие особенности: описана не задача, а неопределенная ситуация; условия задачи изложены слишком кратко или неверно. В простых, повторяющихся задачах осуществление трудового процесса идет за счет использования знаний, умений.

С ростом сложности задач происходит рост деавтоматизации контроля и гораздо большее значение приобретают мыслительные процессы. Это возникает вследствие отсутствия необходимых технологических или профессиональных образцов решения определенной задачи. Возникает своего рода конфликт, который приводит к ошибкам или даже остановкам в трудовой деятельности. Чтобы преодолеть возникший конфликт необходимо применить особый режим мышления (например, рефлексивное, проективное), нацеленный на разрешение проблемы и встраивание в профессиональную деятельность разработанных процедур и стратегий (Спиридонов, 2006). Осознанная коррекция и выполнение задач, таким образом, происходят только в проблемных, достаточно сложных или новых ситуациях (Величковский, 2006; Стрелков, 2001). То есть особенности профессиональной деятельности специалиста нельзя свести к автоматизации, так как в ней имеется и некоторый процент гибкости, возможности нахождения альтернативных путей решения задачи. Соответственно, эффективность решения задач определяется в меньшей степени объемом знаний, а скорее изменением стратегий и техникой решения задач (Величковский, 2006). Профессиональный опыт специалиста выражается в способности эффективно преодолевать возникающие трудности, критические ситуации (Кукушкина, Спиридонов, 2008).

Психология решения задач и проблем описывается различными представлениями: деятельностью, культурно-историческими,

нейрофизиологическими, информационными и др. (Спиридонов, 2012). Особое значение имеет «теория задачного пространства» (problem-space theory) Г. Саймона и А. Ньюэлла (Simon, Newell, 1971). Основная идея данной теории заключается в выделении двух состояний задачи – исходного и целевого. При этом способ перехода от одного состояния к другому неизвестен, способов перехода может быть несколько. При решении задачи человек переходит от одного промежуточного состояния к другому, каждое из промежуточных состояний будет репрезентацией задачи на определенном этапе решения. Авторы теории утверждают, что процесс решения задачи – это нахождение верного пути от исходного состояния задачи к целевому через промежуточные состояния. В рамках данной теории вводится понятие «ментального оператора». Ментальные операторы – переходы между состояниями задачи, которые включают в себе все совершаемые человеком действия и существующие ограничения при решении задачи. Ментальные операторы, целевое, исходное, промежуточные состояния, ограничения составляют в совокупности «пространство задачи». Отметим, что в рамках теории задачного пространства принимается предметно неспецифичный или универсальный характер анализа пространства всех задач. Авторы теории указывают, что решение задач построено по принципу «сверху-внизу» (top-down): от эвристик к условиям задачи. Данной теории придерживаются авторитетные когнитивные психологи как в России (Спиридонов, 2012), так и за рубежом (Atwood, Polson, 1976; Jeffries et al., 1977).

Особое место в современной психологии в контексте исследования решения задач в профессиональных областях занимают вопросы, связанные с разрешением субъектом проблемной ситуации (проблемной задачи). Задачное пространство можно рассмотреть с точки зрения заданной проблемности. Применительно к процессу решения задач категория проблемность традиционно применяется для описания психологических трудностей и оценки сложности задач (Брушлинский, 1996). Категория «проблемность» в отечественной психологии вводится на основе работ С. Я. Рубинштейна, А. Н. Костина, Ю. А. Голикова, К. А. Абульхановой-Славской, А. В. Брушлинского, В. Г. Асеева и других. Проблемность выступает как несоответствие между объективной реальностью и ее психическим отражением (Костин, Голиков, 2014), она определяется изначальной неданностью и неполной

заданностью результата или конечной стадии процесса мышления (Брушлинский, 1996).

Ю. Я. Голиков и А. Н. Костин также вводят понятие «субъективной сложности» задачи. Под «субъективной сложностью» понимают степень неизвестности, неопределенности, неоднозначности, неясности в силу новизны возникающих событий (Костин, Голиков, 2014). В процессе профессиональной деятельности человеку необходимо преодолевать проявления субъективной сложности, для это ему нужно принять определенное решение, выработать план поведения и деятельности, спрогнозировать последствия своих действий, реализовать эти действия, изменить свое представление и отношение к объекту, явлению, ситуации. На основе представлений о субъективной сложности авторы определяют проблемность как форму проявления субъективной сложности возникающего события, необходимость оценки и понимания которого, а также инициации и реализации дальнейших действий детерминирует последующую активность человека (Костин, Голиков, 2014). Понятие субъективной сложности имеет особое значение при сравнении специалистов, находящихся на разных этапах профессионального становления. Объективно одна и та же задача обладает разной субъективной сложностью для опытных и начинающих специалистов.

Проблемности могут быть представлены на разных уровнях, от которых зависит потенциальная возможность их разрешения. Ю. Я. Голиков и А. Н. Костин (Костин, Голиков, 2014) предложили следующую их классификацию:

1) «проблемный момент» – категория, отражающая быстротечный характер процессов возникновения и преодоления проблемностей при непосредственном реагировании на привычные, ожидаемые события малой субъективной сложности;

2) «проблемная ситуация» отражает «необходимость осмысления и анализа не совсем обычных, отличающихся от ожидаемых, т.е. достаточно существенных по субъективной сложности событий в рамках некоторых ситуаций и более значительному масштабу протекания процессов возникновения и преодоления проблемностей» (Костин, Голиков, 2014)

3) «проблема» определяет необходимость оценки и понимания новых, неожиданных событий, которые имеют высокую субъективную сложность, с большой длительностью процессов возникновения и преодоления проблемностей.

При проведении исследований одна из самых существенных проблем – это эквивалентность задач, которые должны решать испытуемые. Исследование должно проводиться на предметно-специфическом материале, так как профессиональный опыт формируется в рамках профессиональной деятельности и подразумевает специфический тип организации знаний в рамках выбранной предметной области. Но при использовании предметно-специфического материала важно помнить, что специалисты с более высоким уровнем профессионального опыта зачастую знают больше (особенно при решении конкретных производственных задач). Поэтому важно, чтобы экспериментальная методика помогала выявлять не просто профессиональный опыт в узком смысле, но и позволяла определять потенциальные возможности освоения определенной профессиональной компетенции.

Что касается критериев эффективности профессиональной деятельности или решения задач, то здесь мы также не находим полной ясности в современной психологии. Одним из очевидных критериев является результативность выполнения, достижение необходимого, заданного или искомого результата. Другим важным параметром является время выполнения. В зарубежных исследованиях оценка эффективности этим и ограничивается. Однако в отечественной психологии труда проблема рассматривается в более широком контексте и учитывается еще «цена деятельности», т.е. энергетические, физические и когнитивные ресурсы, которые затрачиваются при достижении результата. Уровень затрачиваемых ресурсов зависит от способа или стратегии решения задачи.

1.3. Когнитивные стратегии решения задач специалистами с разным уровнем профессионального опыта

Решение профессионально-специфических задач и преодоление проблемности предполагает обращение к разным способам, средствам, приемам, процедурам. Этот часто многочисленный набор может быть интегрирован в более крупные системные единицы – когнитивные стратегии решения задач. Когнитивные стратегии – это планы, тактики, процедуры действий, обеспечивающие достижение конкретной цели (Harvey, Goudvis, 2007). Стратегии можно рассмотреть как процессуальные единицы профессионального опыта. Многие авторы полагают, что

профессиональный опыт формируется в ходе обучения и практической деятельности и воплощается в специфичные стратегии когнитивного выполнения (Ericsson, Smith, 1991; Feldon, 2007). Одним из первых понятие «стратегия» ввел Дж. Брунер (Брунер, 1977) – он описал ее как процесс выдвижения и верификации гипотез в задаче усвоения и образования понятий, это способ приобретения, сохранения и использования информации, служащий достижению определенных целей в том смысле, что он должен привести к определенным результатам. Стратегия тем ближе к «идеальной», чем меньше она требует познавательных усилий. Когнитивным стратегиям присущи следующие особенности: при использовании стратегии должны быть использованы конкретные процедуры; применение стратегий должно быть намеренным (недостаточно декларативного знания о стратегии); применение стратегий происходит с затратой когнитивных ресурсов и требует усилий; использование стратегий позволяет достигать лучших результатов при выполнении задач (Alexander, Graham, Harris, 1998; Vicente, Wang, 1998).

Предполагается, что характер обработки информации у опытных профессионалов отличается от тех, кто только начинает накапливать профессиональный опыт. Например, в некоторых работах было показано, что эксперты предпочитают использовать возможности информационных потоков «сверху-вниз», в то время как менее опытные профессионалы опираются в основном на когнитивные процессы «снизу-вверх» (Chi, Feltovich, Glaser, 1981).

В исследованиях были выделены различные стратегии решения задач. Например, было показано, что высококлассные специалисты решают задачи дедуктивно, манипулируя своими ментальными схемами для того, чтобы определить оптимальное решение в соответствии с заданными условиями задачи. Специалисты в области физики начинают процесс решения задач с ее разложения на базовые физические законы (Larkin et al., 1980a; Larkin et al., 1980b). Они используют стратегии и ментальные схемы для того, чтобы соединить условия задачи и связь между элементами задачи (Dhillon, 1998; Larkin, 1985). Специалисты с меньшим профессиональным опытом начинают решение задачи от обратного – от необходимого правильного решения для того, чтобы выбрать адекватную стратегию решения задачи. Они классифицируют задачи на основе поверхностного знания,

нерелевантного основным принципам задачи (Larkin et al., 1980a; Larkin et al., 1980b), в первую очередь определяя, какие уравнения приведут к правильному решению задачи. Начинающие физики решают задачу индуктивно, находя правильное решение путем метода проб и ошибок с постоянно меняющимися гипотезами (Lamberti, Newsome, 1989). Подобные стратегии решения задач присущи новичкам во многих областях (Lovett, Anderson, 1996).

Различия в стратегиях решения задач между специалистами, обладающими разным профессиональным опытом, обнаруживались даже когда начинающим специалистам предписывалось разработать определенную стратегию, прежде чем приступить к решению задачи. В исследовании (Phillips et al., 2001) было обнаружено, что наличие предварительного планирования не имело значимого влияния на скорость и точность решения задач новичками. В исследованиях также было показано, что даже в ситуациях, когда они воспринимают глубокие, фундаментальные принципы, лежащие в основе задачи, их стратегии решения не похожи на стратегии высококвалифицированных специалистов. Новички продолжают применять свои собственные стратегии, основанные на поверхностных характеристиках задачи (Sloutsky, Yarlac, 2000).

В ряде работ противопоставляются рациональные и эвристические стратегии, последние позволяют производить поиск целевого состояния в условиях неполной информации о задаче (Спиридонов, 2012). Были предприняты попытки описать и классифицировать такие стратегии. Например, в одной из ранних работ выделялись следующие эвристические стратегии (Klahr, Simon, 1999; Simon, Newell, 1971):

1) «Метод проб и ошибок» заключается в том, чтобы применить некоторые операторы к задаче, проверить – привело ли это к целевому состоянию, если ответ отрицательный – использовать другой оператор.

2) «Подъем в гору» («hill climbing») состоит в том, чтобы совершить несколько мыслительных операторов в разных направлениях, а затем выбрать то направление решения задачи, которое наиболее всего продвигает к целевому состоянию задачи.

3) «Планирование» заключается в достижении определенных подцелей, которые способствуют достижению целевого состояния.

4) «Аналогия» – применение новой целевой области на знакомую область-источник. Позволяет заместить данное пространство задачи более продуктивным (Спиридонов, 2012).

5) «Анализ целей и средств» (means-ends analysis), предполагающий сравнение текущего и целевого состояния задачи и описание имеющейся разницы. Затем происходит выбор того мыслительного оператора, который обеспечит наибольшее сокращение главных различий между состояниями.

В.Ф. Спиридонов в своей работе (Спиридонов, 2013) показал, что деятельность экспертов отличает не только более эффективная когнитивная обработка информации, но и особые метакогнитивные стратегии. Данные стратегии начинают работать в критические моменты решения задачи. В исследованиях на выборке программистов были выделены самые важные точки в ходе решения задачи (корректировки программного кода). Было показано, что программисты именно в этих критических точках начинают применять свои индивидуальные стратегии. Также выяснилось, что подсказка стратегии хорошо помогает новичкам: они подхватывают стратегию, опираются на нее и решают задачи эффективнее. Для опытных программистов подсказка оказывалась лишь преградой на пути решения – задачи-подсказки стратегий мешали экспертам реализовывать свои собственные устойчивые стратегии. Эффективность работы без подсказок экспериментатора была выше у экспертов, а при подсказах – одинаковая.

Эксперты используют более эффективные стратегии самоуправления при решении задач. Было обнаружено, что эксперты гораздо больше времени затрачивали на оценку и анализ своих гипотез (Sonnetag, 1998). В исследованиях Д. Дернер (Дернер, 1997) было показано, что исследовательские действия экспертов на первых шагах решения задачи отличались от действий новичков. Опытные специалисты тратили гораздо больше времени на начальном этапе решения задачи, чтобы сориентироваться в задаче, понять, какие имеются «подводные камни». Также в работах Д. Дернер было отмечено, что эксперты гораздо чаще проводят оценку собственных гипотез на правильность. В другом исследовании (Simmons, Lunetta, 1993) было показано, что эксперты в области биологии были лучше в фиксации собственных ошибок, новички же, в свою очередь, не анализировали совершенные ошибки и не учитывали их при дальнейшей работе. Эксперты

обладают способностью более точного предсказания трудностей, которые могут возникнуть в ходе решения задачи (Lesgold, Lajoie, 1991). Также было обнаружено, что эксперты совершали большее количество усилий по самоконтролю (Sonnentag, 1998). В работе других ученых исследовалась способность математиков определять, решается ли алгебраическая задача (Rehder, 1999). Выяснилось, что более компетентные математики лучше идентифицировали нерешаемые задачи.

Стоит, однако, подчеркнуть, что выделенные стратегии не исчерпывают весь арсенал подходов к решению задач, которые используют опытные специалисты. Сегодня появляются новые исследовательские технологии, которые позволяют выявить микроструктуру применяемых способов решения. К таким технологиям относится бесконтактная регистрация движений глаз. Именно она наиболее часто применяется в последнее время для анализа стратегий решения задач специалистами с разным профессиональным опытом.

1.4. Анализ глазодвигательной активности в процессе решения профессионально-специфичных задач специалистами с разным уровнем профессионального опыта

Для изучения когнитивной подсистемы профессионального опыта применялись такие методы, как анализ рассуждений вслух (Chi, Feltovich, Glaser, 1981), психосемантический метод (Абдуллаева, 2017; Серкин, 2005); определение характера ошибок (Ericsson et al., 2018), учет не прямых оценок (Обознов и др., 2013; Спиридонов, 2013). Однако эти методы ограничены в возможностях выявления скрытых, недоступных рефлексивному анализу и объективному наблюдению операциональных компонентов профессионального опыта (Feldon, 2007; Gobet, 2017).

Метод видеорегистрации движений глаз и его применение в психологических исследованиях

Наиболее перспективным подходом является применение технологий регистрации движений глаз, позволяющих объективизировать этапы и способы когнитивной активности (Баранбанщиков, Жегалло, 2013; Klostermann, Moeinirad,

2020; Грушко, Леонов, 2015; Меньшикова, Пичугина, 2020; Демарева и др., 2022). Регистрация движений глаз позволила установить ряд существенных различий между новичками и экспертами, однако полученные в разных исследованиях результаты часто противоречат друг другу и требуют более тщательного анализа (Gegenfurtner et al., 2011). Метод регистрации движений глаз позволяет более полно изучить различные аспекты познавательной деятельности, в том числе процесса решения задач. Данному методу присуща, в первую очередь, объективизация ментальной активности, то есть определение и измерение определенных параметров процесса решения задач. Применение данного метода, кроме того, подразумевает применение специально разработанных задач и условий для проведения исследования (Спиридонов, 2006).

Исследования перцептивных процессов с использованием технологии регистрации движения глаз впервые в нашей стране начал проводить А.Л. Ярбус (Ярбус, 1966). Он записывал движения глаз испытуемых при решении перцептивных задач (таких как разглядывание произведений искусства, прослеживание контуров изображений и т.п.), что позволило проанализировать сложно структурированную систему процессов познания.

В своих работах отечественный психолог Ю.Б. Гиппенрейтер описывает три направления исследований глазодвигательной активности. В первом направлении главным объектом исследования становятся непосредственно движения глаз: саккады, фиксации, амплитуды, скорости, моргания и т.д. Во втором направлении экспериментальных исследований анализируется роль движений глаз в зрительном процессе. В третьем направлении исследований метод регистрации движений глаз выступает как средство анализа состояний человека и сложных форм деятельности (например, решение профессиональных задач, зрительный поиск) (Гиппенрейтер, 1978). В.П. Зинченко выявил широкий спектр функций, которые могут выполнять движения глаз в процессе познавательной деятельности. К этим функциям относятся: поиск, ориентировка, измерение, контроль, опознавание, установка в оптимальное положение, построение зрительного образа (Зинченко, Мунипов, 1979).

Ранние работы с использованием записи движений глаз обосновали перспективность данного экспериментального подхода, однако исследования были

слишком трудоемки и доставляли испытуемым массу неудобств. Новая эра началась с появлением технологий бесконтактной регистрации движений глаз⁵.

Технология бесконтактной видеорегистрации движений глаз появилась в конце XX века и в настоящее время в когнитивных науках наблюдается бурный рост применения данного экспериментального инструмента. Метод бесконтактной видеорегистрации движений глаз представляет из себя наиболее точный и комфортный для проведения метод регистрации глазодвигательной активности (Белопольский, 2013). Метод основан на скоростной фиксации изображения видеокамерой, которая работает в ближнем инфракрасном (IR) диапазоне (850–950 нм) (Барabanчиков, Жегалло, 2013).

Когда люди взаимодействуют с визуальной информацией, их движения глаз состоят из серий фиксаций. Фиксациями называют периоды, в течение которых поступающая информация перерабатывается. После фиксации глаза быстро перемещаются в новую область с помощью чрезвычайно быстрого движения – саккады, в течение которой никакая информация не может быть обработана. Саккадами называют скачки высокой скорости баллистического типа, которые меняют местоположение глаз в орбите и позволяют выделять отдельные фрагменты зрительной сцены для дальнейшей фиксации взора (Величковский, 2006).

Показатели глазодвигательной активности

Современная аппаратура и обеспечивающее ее работу программное обеспечение позволяют фиксировать ряд показателей, связанных с фиксациями и саккадами. Анализируемыми параметрами при регистрации движений глаз являются: продолжительность и количество фиксаций и саккад, амплитуда и направление саккад, количество и частота морганий, количество пребываний в выделенной области представленного поля (dwells). Кроме этого, технологии регистрации окулоmotorной активности позволяют фиксировать величину зрачка и показатели, связанные с морганиями. Приведем параметры, наиболее часто используемые для анализа сканирования пространства и извлечения информации, связанной с когнитивной обработкой:

⁵В рамках отечественной школы глазодвигательную активность изучали А.Л. Ярбус, А.В. Запорожец, Л.А. Венгер, В.П. Зинченко, А.Г. Рузская, Ю.Б. Гиппенрейтер, О.К. Тихомиров, В.Я. Романов, Ю.Б. Дормашев и другие.

1) Количество фиксаций. Было показано, что чем больше фиксаций, тем больше семантическая значимость данной области. Также с повышением сложности задачи поиска увеличивается число фиксаций (Барабанщиков, Жегалло, 2013).

2) Продолжительность фиксаций. Этот параметр считается одним из самых информативных в исследованиях с регистрацией движений глаз. Продолжительность фиксаций находится в диапазоне значений от 120 до 350 мс (Барабанщиков, Жегалло, 2013). Данный показатель может варьироваться в зависимости от влияния следующих факторов: специфики стоящей перед испытуемым задачи, ожиданий и целей испытуемого (Анисимов и др., 2012; Бессонова, Обознов, Лобанова, 2015; Ярбус, 1966); эмоционального состояния участника эксперимента (Nieuwenhuys et al., 2008; Williams, Elliott, 1999); пространственно-временных особенностей объекта восприятия (Panchuk, Vickers, 2011; Ярбус, 1966); наличия совместной деятельности испытуемых (Atkins et al., 2013; Величковский, 2006); функционального состояния (Coetzer, Hancke, 2011; Devi, Vajaj, 2008; Гиппенрейтер, 1978); прошлого опыта в решении задач (Bond et al., 2014; Stasi Di et al., 2012; Vrzakova, Bednarik, 2012; Wood et al., 2013).

Считается, что более продолжительные фиксации свидетельствуют о более длительной информационной переработке, с затратой больших усилий, установлением большего количества связей, с выходом на более глубокие «семантические уровни» (Holmqvist et al., 2015). Также обнаружено, что больше времени суммарно приходится на фиксации на тех областях, которые считаются релевантными задаче, чем на тех, которые считаются нерелевантными. При чтении текстов с незнакомыми или редко встречающимися словами длительность фиксаций возрастает (Rayner, 1998). При чтении текста, содержащего сложные грамматические структуры, длительность фиксаций также возрастает (Rayner, 1998). Было обнаружено, что при возрастании уровня сложности трассы и увеличения возможности аварии у водителей транспортных средств возрастала длительность фиксаций (Shinar, McDowell, Rockwell, 1977). В исследованиях с группами экспертов и новичков было показано, что экспертам присущи более длительные (и редкие) фиксации (Nodine, Locher, Krupinski, 1993; Reingold et al., 2001; Reingold, Charness, 2005; Savelsbergh et al., 2002). В данном случае более продолжительные

фиксации не всегда означают большую обработку, а скорее другой тип обработки информации, вовлекающий более широкий визуальный диапазон.

Количество саккад выделяется или для определенного временного диапазона, или для постоянной дистанции. Оно напрямую связано с количеством фиксаций и определяет дифференцированность сканирующих движений.

Амплитуда саккад измеряется в градусах или угловых пикселях и показывает расстояние между начальной и конечной позициями или общую длину пути между саккадами. Данный показатель может зависеть от поставленной перед испытуемым цели, от характера стимульного материала и от уровня сложности задачи (Барабанщиков, Жегалло, 2013).

Количество морганий – важный компонент анализа окуломоторной активности, так как он связан с когнитивными функциями (Fogarty, Stern, 1989). Исследование показало, что количество морганий повышается со временем, затраченным на задание и с увеличением усталости. Несколько исследований связали количество морганий с ментальной нагрузкой (Wolkoff et al., 2005). В одном исследовании было показано (Brookings, Wilson, Swain, 1996), что количество морганий положительно коррелирует с ментальной нагрузкой в работе операторов самолетов. Количество морганий варьируется для разных типов заданий.

Частота морганий – это показатель общего числа морганий за выбранный промежуток времени. Некоторые исследования показывают корреляцию между частотой морганий и сложностью задачи, но при этом важно учитывать тип решаемой задачи. (Барабанщиков, Жегалло, 2013).

Зоны интереса (AOI – areas of interest) – области стимульного материала, которые исследователь выделяет в соответствии с условиями поставленной задачи.

Отметим, что выбор тех или иных глазодвигательных параметров для анализа зависит от целей и задач проводимого исследования.

Сравнение показателей глазодвигательной активности в процессе решения задач экспертами и новичками в разных профессиональных областях

Аналізу профессионального опыта с помощью метода регистрации движений глаз уделяется все большее внимание в последние годы (Ericsson, Kintsch, 1995; de

Groot, Gobet, Jongman, 1996; Haider, Frensch, 1999; Kaakinen, Hyona, 2005; Kalyuga, 2009; Krupinski et al., 2006; Mann et al., 2007). Во многом это связано с интересными наблюдениями о том, что специалисты с большим профессиональным опытом могут решать сложные задачи в рамках своей области, едва посмотрев на них (например, гроссмейстеры могут устанавливать позиции контрольных точек на шахматной доске, почти не двигая глазами) (Reingold et al., 2001).

Метод регистрации движений глаз позволяет выявить различия в обработке информации при решении визуально представленных задач (Gould, 1973; Hyönä, Lorch Jr, Kaakinen, 2002; Liversedge, Paterson, Pickering, 1998). Метод видеорегистрации движений глаз позволил выявить когнитивные механизмы, лежащие в основе профессиональной деятельности в различных областях, включая авиацию (Schriver et al., 2008), ихтиологию (Jarodzka et al., 2010), управление транспортными средствами (Crundall, Underwood, Chapman, 1999), искусство (Vogt, Magnussen, 2007), спорт (Williams et al., 2006) медицину (Krupinski, Manning, Gale, 2005; Wilson et al., 2010). В Таблице 1 приведен краткий обзор наиболее значимых исследований, связанных с изучением профессионального опыта.

Наиболее активно развивается изучение глазодвигательной активности в области медицины. Например, исследуются паттерны движений глаз травматологов при визуальном сканировании рентгеновских снимков (Wood et al., 2013) кардиологов в процессе анализа ЭКГ (Bond et al., 2014; Wood et al., 2013). В исследовании М. Аткинс и А. Ломакс на выборке из десяти хирургов, пять из которых были высококвалифицированными врачами, а пять – начинающими врачами, испытуемым необходимо было провести лапароскопическую операцию в специально созданной компьютерной программе. Обнаружилось, что эксперты были быстрее и точнее при выполнении процедуры (Блинникова, Ишмуратова, Леонова, 2018). Также было установлено, что эксперты используют отличную от новичков стратегию решения задачи: эксперты дольше смотрят на целевой объект, новички – на инструмент, которым совершается действие (Khan et al., 2012) (Таблица 1).

Таблица 1 - Обзор исследований с применением метода регистрации движений глаз, анализирующих способы решения задач новичками и экспертами

Автор исследования, год исследования	Область исследования	Стимульный материал	Задание	Критерии экспертности
Медицина				
Wilson et al., 2010	Медицина (лапароскопические операции)	Симулятор операций	Провести виртуальную операцию с помощью специального программного обеспечения	Количество проведенных лапароскопических процедур
Cooper et al. 2009	Медицина, радиология	Данные МРТ мозга	Обнаружение инсульта	Профессиональный стаж
Krupinski Manning, Gale, 2005	Медицина, радиология	Рентгеновские снимки грудной клетки	Обнаружение опухолей	Профессиональный стаж
Krupinski et al., 2006	Медицина, патологическая анатомия	Данные биопсии	Выбор трех зон на слайдах с биопсией для подробного рассмотрения	Профессиональный стаж в патологической анатомии, дипломы о повышении квалификации
Kundel et al., 2007	Медицина, радиология	Маммограмма	Обнаружение пораженных областей	Профессиональный стаж
Litchfield et al., 2008	Медицина, радиология	Рентгеновские снимки грудной клетки	Обнаружение повреждений	Профессиональный стаж
Спорт				
Abernethy, Zawi, 2007	Бадминтон	Видеоролики	Предвосхищение позиции после удара противника	Участие в чемпионате «Игры Содружества»
Bard et al. 1980	Гимнастика	Видеоролики	Обнаружение ошибок в упражнениях на баланс	Стаж работы судьей, наличие сертификатов о повышении квалификации

Bertrand, Thullier, 2009	Футбол	Последовательность статических кадров из видео	Предвосхищение направления дриблинга	Профессиональный стаж в футболе
Laurent et al., 2006	Баскетбол	Схематические изображения позиций игроков в игре	Принятие решения о том, одинаковые стимулы или нет	Количество тренировочных лет, участие в соревнованиях на международном уровне
McRobert et al., 2009	Крикет	Видеоролики	Предсказание путей полета мяча после удара соперника	Профессиональный стаж в крикете, участие в международных соревнованиях
Moreno et al., 2006	Плавание	Видеоролики	Обнаружение ошибок в движениях пловцов	Опыт тренерской деятельности
Williams et al., 2006	Спорт, футбол	Видеоролики	Предвосхищение направления мяча	Профессиональный стаж в футболе, количество тренировочных часов в неделю
Ripoll et al., 1995	Бокс	Видеоролики	Предвосхищение различных ситуаций	Профессиональный опыт, членство в национальной сборной
Шахматы				
Charness et al., 2001	Шахматы	Изображения позиций шахмат на доске	Принятие решения о лучшем ходе	Место в рейтинге Шахматной федерации Канады
de Groot, Gobet, Jongman, 1996	Шахматы	Фотографии	Воспроизведение позиций фигур на доске	Позиция Международного мастера или гранд-мастеров
Reingold et al., 2001	Шахматы	Изображения позиций фигур на шахматной доске	Обнаружение переставленной фигуры	Рейтинг игрока в Шахматной федерации Канады
Авиация и управление транспортными средствами				
Bellenkes, Wickens, Kramer, 1997	Авиация	Симулятор полета	Исполнение маневров на симуляторе	Количество часов полета
Kasarskis et al., 2001	Авиация	Симулятор полета	Посадка самолета в авиатренажере	Профессиональный опыт, количество часов полета
Schriver et al., 2008	Авиация	Симулятор полета	Устранение неполадок во время полета	Количество часов полета, прохожде-

				ние тестов на знание авиации, наличие сертификатов
Crundall, Underwood, Chapman, 1999	Управление транспортными средствами	Видеоролики	Обнаружение опасных событий	Водительский стаж
Huestegge et al., 2010	Управление транспортными средствами	Фотографии	Обнаружение опасных ситуаций	Водительский стаж
Konstantopoulos, 2009	Управление транспортными средствами	Симулятор вождения автомобиля	Вождение машины	Водительский стаж
Биология				
Amadiou et al., 2009	Вирусология	Цифровые концептуальные карты	Ориентировка в концептуальных картах	Прохождение курсов в университете
Jarodzka et al., 2010	Биология	Видеоролики	Классификация движений рыб	Профессиональный стаж

Было обнаружено, что опытные рентгенологи способны обнаруживать рак на маммограмме за доли секунды (Kundel et al., 2007). Исследования в медицинской сфере говорят о преимуществах решения зрительных задач экспертами благодаря их способности выборочно игнорировать нерелевантную информацию и способности видеть целостную картину заболевания, а не отдельные части несвязанной информации. Высокий уровень профессиональной компетентности в медицинской сфере определяется как способность точной постановки диагноза на основе медицинских изображений (Reingold, Sheridan, 2011).

В исследованиях в медицинской сфере часто проводится сравнение между высокопрофессиональными специалистами (например, консультантами-радиологами или кардиологами) и новичками (например, студентами или стажерами). В данном случае стимульным материалом являются изображения анатомии или физиологии человека. Также могут использоваться рентгеновские снимки, снимки компьютерной томографии, позитронно-эмиссионной томографии, магнитно-резонансные изображения, УЗИ, электрокардиограммы, фотографии из клинической дерматологии.

Еще одной сферой, в которой применяется метод регистрации движений глаз, является операторская деятельность и деятельность водителей транспортных

средств. Исследователями анализируются способы решения разнообразных профессиональных задач водителей транспортных средств (Coetzer, Hancke, 2011; Devi, Bajaj, 2008; Stasi Di et al., 2012). В частности, анализируются характеристики внимания и зрительного восприятия пилотов при решении профессиональных задач на тренажерах (Vrzakova, Bednarik, 2012; Weibel et al., 2012). Б.М. Величковский в своем исследовании оценивал способность опытных водителей реагировать на критические ситуации, которые могут возникнуть на дороге. Для этого была создана виртуальная дорожная среда со статичными переменными (улицы и перекрестки) и динамичными, которые подвергались изменениям (возникновение пешехода или автомобиля на дороге). Было обнаружено, что продолжительность фиксации растет при возникновении критической ситуации на дороге (Величковский, 2006; Velichkovsky et al., 2002).

В работе Р. Шлейчер, Н. Гэллей и соавторов (Schleicher et al., 2008) была продемонстрирована связанность показателей движений глаз не только со сложностью анализируемой ситуации, но и с функциональным состоянием человека. Исследователи установили, что утомление и состояние сонливости у водителей транспортных средств связано с уменьшением количества долгих фиксаций (длительностью более 150 мс) и увеличением количества произвольных фиксаций, имеющих малую продолжительность (менее 150 мс).

Метод регистрации движений глаз нашел также свое отражение в исследованиях, направленных на изучение деятельности спортсменов. Было установлено, что спортсмены высокой квалификации могут более эффективно выделять и обрабатывать зрительную информацию, а значит, и эффективнее решать профессиональные задачи и быть более результативными (более меткими, точными и скоординированными) (Abernethy, Farrow, 2002; Afonso et al., 2012; Piras, Vickers, 2011; Vickers, 1988; Williams et al., 2006). В исследовании на выборке баскетболистов обнаружено, что чем опытнее баскетболист, тем дольше у него продолжительность фиксаций на области кольца и тем быстрее он совершает поворот головы в сторону баскетбольной корзины (Laurent et al., 2006). В другом исследовании Х. Риполла обнаружилось, что стрелки из пистолета высокого уровня фиксируют взгляд непосредственно на мишени, а затем совершают корректировку руки с пистолетом (без включения зрительного контроля), в то время как стрелки

среднего уровня начинают подготовку к стрельбе с регулировки действия руки при участии зрительного контроля, а уже затем совершают фиксацию на мишени (Ripoll et al., 1995). В исследовании Дж. Вickers (Vickers, 1988) было обнаружено, профессионалы высокого уровня совершали более продолжительные фиксации на лунке и более медленные саккады в области мяча и лунки. Помимо этого, они не фиксировали свой взгляд на клюшке. Игроки низкого профессионального уровня совершали короткие фиксации на области лунки и быстрые саккады в области лунки и мяча. В другом эксперименте было обнаружено, что более опытные спортсмены реагировали быстрее и точнее на противника и фокусировали взгляд, как правило, на голове кикбоксеров, при этом стараясь просканировать и периферию зрительного поля (Ripoll et al., 1995).

Обобщение множества результатов позволяет заключить, что специалисты с разным уровнем профессионального опыта в определенной деятельности различаются по следующим параметрам: количество фиксаций на стимуле, количество фиксаций на релевантной и нерелевантной областях, время решения задачи, эффективность решения задачи. В масштабном метаанализе (Gegenfurtner et al., 2011) рассматриваются исследования с участием 819 экспертов, 187 специалистов среднего уровня и 893 новичков в различных профессиональных областях. Было обнаружено, что эксперты по сравнению с новичками имеют более короткую длительность фиксаций, больше фиксаций на релевантной задаче области и меньшее количество фиксаций на не относящейся к заданию области. Кроме того, у экспертов были более длинные саккады и более короткое время первой фиксации на релевантной информации благодаря превосходству в парафовеальной обработке и селективному распределению внимания (Блинникова, Леонова, Ишмуратова, 2018).

Один из параметров, по которому были выявлены различия между новичками и экспертами – распределение внимания между релевантными и нерелевантными областями. Х. Хайдер и П. Френш (Haider, Frensch, 1999) в своей гипотезе о сокращении информации заявили, что с возрастанием профессионального опыта специалисты лучше различают релевантную и нерелевантную информацию и поэтому концентрируются на обработке наиболее важной информации.

Некоторые исследователи (Reingold et al., 2001) также обнаружили в своих работах, направленных на изучение игры в шахматы, что у экспертов была большая доля фиксаций на релевантных, а не на нерелевантных областях.

В литературе существуют некоторые разногласия в имеющихся данных. А именно: некоторые авторы полагают, что у экспертов больше фиксаций меньшей продолжительности, чем у новичков (Konstantopoulos, 2009; Litchfield et al., 2008). Другие исследователи сообщают об обратном (Bertrand, Thullier, 2009; Vogt, Magnussen, 2007). Вероятнее всего, разногласия связаны с тем, что параметры глазодвигательной активности меняются у разных групп испытуемых (специалистов с разным уровнем профессионального опыта) в зависимости от сферы деятельности.

Таким образом, метод видеорегистрации движений глаз применим и перспективен для анализа способов решения задач специалистами с разным уровнем профессионального опыта. Во-первых, потому что данный метод может показать различия в способах решения профессиональных задач разными группами испытуемых. Во-вторых, метод позволяет выявить корреляции между показателями окулоmotorной активности, скоростью решения задачи и эффективностью решения задачи, зафиксировать паттерны движений глаз при решении профессиональных задач. В настоящее время метод регистрации движений глаз – это богатый источник получения эмпирических данных. В нашем исследовании мы попытались выявить разницу в глазодвигательных паттернах специалистов с разным уровнем профессионального опыта.

Выводы по результатам анализа особенностей профессионального опыта

1. Профессиональный опыт представляет собой сложную систему способов решения задач, формируемую в результате обучения и трудовой деятельности, определяющую эффективность будущей работы. Развитие системы профессионального опыта является непрерывным процессом, обогащаемым новыми знаниями и ценностями, особенно в условиях быстрого развития информационных технологий. В современной научной литературе представлены различные подходы к анализу профессионального опыта, включая структурный, генетический и функциональный. Структурный подход фокусируется на элементах, из которых

состоит опыт, таких как знания, умения, навыки и личностные особенности. Генетический подход рассматривает формирование опыта и его связь с развитием личности. Функциональный подход выделяет системы и подсистемы профессионального опыта, которые трансформируются в процессе развития. Однако остаются нерешенными вопросы описания, сравнения, оценки и измерения профессионального опыта, особенно в условиях современной профессиональной среды, где вариативность факторов влияния на опыт высока.

2. В работе У. Чейза и Г. Саймона и последующих исследованиях профессионального опыта выявлено, что ключевыми компонентами опыта являются точность и объем знаний, которые специалисты могут применять для решения задач в своей области. Выдающиеся специалисты обладают высокой скоростью работы и большим объемом памяти, благодаря эффективному использованию предыдущего опыта. Особая структура знаний, уровни дифференциации и абстракции играют важную роль в способности решать задачи. Профессионалы высокого уровня развивают устойчивые когнитивные стратегии, используя свои структурированные знания для создания эффективных подходов к решению задач. Вопрос о роли автоматизмов в профессиональном опыте остается дискуссионным, однако исследования показывают, что автоматизмы могут способствовать более быстрому и эффективному выполнению сложных навыков.

3. Исследования о роли профессионального опыта сосредотачиваются на сравнении начинающих и опытных специалистов в различных областях. Эксперты обладают выдающимися знаниями и навыками, позволяющими им более эффективно и быстро решать задачи в своей области. Они обладают лучшей памятью, способностью к анализу и самоконтролю. Сравнение когнитивных процессов новичков и экспертов часто выявляет различия в способности восприятия и решения задач. Однако, необходимо дальнейшее изучение для определения, насколько эти навыки являются обязательными или достаточными для успешной профессиональной деятельности.

4. Профессиональный опыт формирует когнитивные стратегии решения задач, которые отличают экспертов от новичков. Эксперты обладают более эффективными стратегиями, такими как дедуктивное решение задач и использование ментальных схем, в то время как новички склонны к индуктивному

подходу и методу проб и ошибок. Различия в стратегиях решения задач наблюдаются даже при предписании определенной стратегии для новичков, указывая на важность профессионального опыта. Эти результаты подчеркивают значимость развития профессионального опыта.

5. Исследования профессионального опыта включают применение различных методов, таких как анализ рассуждений вслух, психосемантический метод, определение характера ошибок и учет не прямых оценок. Однако данные методы имеют ограничения в выявлении скрытых операциональных компонентов профессионального опыта, которые не доступны для рефлексивного анализа и объективного наблюдения. В последние годы метод регистрации движений глаз стал широко используемым инструментом для анализа профессионального опыта в различных областях, таких как авиация, искусство, спорт, медицина и другие.

ГЛАВА 2. АНАЛИЗ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ И ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОПЫТА ХИМИКОВ

Химия в ее современном виде – относительно молодая наука и практика. Самостоятельной рациональной наукой, основывающейся на экспериментах и логических доказательствах, она стала лишь в 19 веке. Сегодня химия – одна из важнейших и обширных областей естествознания, наука о веществах, их свойствах, строении и превращениях, происходящих в результате химических реакций, а также фундаментальных законах, которым эти превращения подчиняются (Габриелян, 2008).

Химиками мы называем тех специалистов, которые в своей профессиональной деятельности работают с веществом, анализируя и преобразуя его. Химикам присущ высокий интерес к составу и свойствам веществ, к процессам химического синтеза (Реутов, Курц, Бутин, 2021).

Работа с реально осязаемыми, визуально наблюдаемыми веществами долгое время являлась главной отличительной особенностью трудовой деятельности химиков (Кузьменко, Еремин, Попков, 2001), но в современном мире специалист химической сферы довольно большую часть времени проводит за монитором, где вещество представлено в виде изображений, схем, диаграмм, поэтому большинство решаемых им задач так или иначе опосредовано компьютером (Russell, Kozma, 2005; Ишмуратова, Моросанова, 2021).

2.1. Особенности профессиональной деятельности и профессиональных задач химиков

Химики подразделяются на три категории: химики-исследователи, химики-технологи и химики-преподаватели. Владея навыками идентификации, классификации, группировки химических соединений, специалисты-химики могут проводить исследования по разработке новых, совершенствованию существующих технологических процессов и продуктов. Они описывают процесс получения нового химического соединения (продукта) через химические формулы, уравнения реакций. В нашей работе мы анализируем химиков-технологов. Химики-

технологи – это специалисты, занимающиеся разработкой и оптимизацией технологических процессов по получению, модификации и использованию химических продуктов. Они сочетают глубокие знания в области химии с навыками инженерной деятельности. Химик-технолог может разрабатывать новые продукты и способы их получения, создавать безопасные и эффективные методы производства, разрабатывать схемы внедрения новых химических технологий в промышленность, а также контролировать производство по уже имеющимся технологиям.

Задача химиков-технологов – произвести продукт в промышленных масштабах, перевести технологию получения нового продукта с химического языка (символьного представления) на язык производства. Для этого разрабатываются технологические схемы и технологические регламенты производств. Кроме того, химик-технолог должен знать не только особенности химических реакций производства, но и специфику устройства химических реакторов.

Рассмотрим подробнее задачи химика-технолога, работающего на производстве. Одним из первых этапов процесса создания химического продукта является постановка цели по разработке нового соединения или модификации существующего. Специалистам ставится задача разработать новое химическое соединение или композицию веществ, обладающие заданными физико-химическими характеристиками или потребительскими свойствами (Кузьменко, Еремин, Попков, 2001).. Зная конечные характеристики и свойства вещества, химик может предположить, к какому классу веществ будет относиться синтезируемый продукт.

Затем специалисту необходимо провести поисковую работу по выявлению существующих аналогичных процессов получения вещества (Тикунова, Артеменко, Малеванный, 1985). Зная конечную формулу, химик может предположить, при помощи каких реакций реализовать процесс. На следующем этапе химиком составляются и описываются предполагаемые химические реакции, определяются возможные побочные продукты.

При любой химической реакции между веществами могут образовываться разные продукты, многое зависит от условий проведения реакции. Задача химика на производстве – подобрать такие условия реакции, при которых заданный продукт образуется в максимальном количестве, при этом, чтобы как можно меньше

образовалось ненужных (побочных) веществ, которые необходимо будет отделять от основного вещества и находить им применение или утилизировать (Реутов, Курц, Бутин, 2021). Также специалист химик-технолог рассчитывает различные варианты количества веществ, необходимого для проведения реакций, подбирает условия проведения синтеза: температура, давление, скорость взаимодействия реагентов, среду, в которой реакция протекает с наибольшим выходом основного вещества.

Кроме того, химик, работающий на предприятии, обязан знать о воздействии веществ на организм человека и на окружающую среду. Владея навыками идентификации, классификации, группировки продуктов, специалисты-химики осуществляют разработку параметров токсичности веществ, гигиенических нормативов, условий хранения продуктов, разрабатывают требования безопасности, требования охраны окружающей среды, аналитические методики испытаний веществ (Тикунова, Артеменко, Малеванный, 1985).

На производстве задачами специалистов химической отрасли являются инженерно-техническое обеспечение стабильной и эффективной производственной деятельности подразделений предприятия; мониторинг технологических процессов с целью оптимизации расходных норм сырья, материалов и энергоресурсов; модернизация и внедрение эффективных технологических процессов в производство; инженерно-техническое сопровождение продукции на рынке. В соответствии с задачами основные силы химиков направлены на совершенствование технологии производства, существующего ассортимента продукции, повышение качества, снижение издержек (Реутов, Курц, Бутин, 2021).

Таким образом, профессиональная деятельность химика всегда связана с веществом и его преобразованиями. Он анализирует вещества и их свойства; определяет состав веществ; кодирует и декодирует качественный и количественный состав молекул; анализирует химический процесс; классифицирует вещества и процессы; проводит разработку новых химических продуктов; прогнозирует свойства полученных веществ; контролирует протекание химических процессов. Для проведения такой масштабной работы необходимо хорошо владеть знаниями в области химии и языком химии.

По мнению К. Борецка, для того, чтобы освоить предмет химии, необходимы следующие компоненты: наблюдение явлений, фактов, процессов и организация

наблюдений; умелое использование понятийного аппарата, химической терминологии, номенклатуры в словесном, графическом и модельном описании для установления фактов и их описания; верное обобщение полученных фактов и формулировка эмпирических законов низшего и высшего порядка; выдвижение и подтверждение гипотез; установление причинно-следственных связей и химических закономерностей; обширное и полное описание свойств химических элементов, веществ и их взаимодействий, выделение из теории новых законов, предсказание новых фактов и последующая проверка на практике (Борецка, 1993). Это также можно обозначить как «химическая направленность ума» – способность обнаруживать и анализировать различные химические процессы в повседневной жизни и «включенность» в химический мир (Доманова, 1999). Химическая направленность ума состоит в том, что специалисты могут переходить от внешне наблюдаемых характеристик вещества к его анализу и кодировке с помощью химических знаков.

В отечественной психологии вопросом изучения особенностей деятельности химиков занимается Е.В. Волкова. В своих работах она указывает, что к способам построения когнитивной структуры репрезентации химических знаний можно отнести следующее: способность самостоятельной работы с литературой, проведение количественного и качественного анализа, умение деятельности наблюдения, экспериментальные умения, формирование межпредметных связей и использование алгоритмического подхода (Волкова, 2006; Волкова, 2011). Исследователь выделяет основные структурные элементы научных знаний, общие для всех наук: факты, понятия, правила, модели, теории, гипотезы и законы. К специфичным же для химии когнитивным структурам автор относит следующие: химический язык, качественно-количественные отношения, которые включают «генетические структуры» и структуры причинно-следственных связей, «чувство вещества» и «химические руки», производственно-технологические особенности, структуру понятийных отношений. Е.В. Волкова подчеркивает, что химическая наука анализирует форму движения материи, предметом ее изучения является вещество, его свойства, превращения веществ и те явления, которые сопровождают эти превращения.

Е. В. Волкова отмечает, что особенностью химиков является их возможность общаться с коллегами при помощи химических знаков, уравнений, графиков, схем. Таким образом, подчеркивается факт наличия невербального уровня когнитивной структуры: кодирование научной информации в химической области может происходить при помощи рисунков, схем, таблиц, диаграмм, моделей, объектов, образов химических процессов.

В исследованиях было показано, что существует прямая зависимость успеваемости по химии от успеваемости по другим предметам у учащихся 8-11 классов (Волкова, 2006). Данная взаимосвязь объясняется тем, что в когнитивной структуре химического языка задействованы составляющие когнитивной структуры других предметных знаний. К примеру, в химии используются некоторые понятия из математики: особенность десятичной системы счисления схожа со схемой иерархии разрядов, обобщенная схема соотношения компонентов прямых и обратных операций, обобщенные схемы анализа задач, топологические структуры. Кроме того, можно обнаружить, что когнитивная структура химического языка очень схожа со структурой репрезентации в области физики. В. Н. Дружинин в своей работе подчеркивает сходство когнитивных структур в математике, физике и химии и утверждает, что для успешного освоения указанных наук необходимо обладать развитым формально-символическим, пространственным и вербальным интеллектом (Дружинин, 1999).

2.2. Специфика химических знаний и их использования в профессиональной деятельности

Основные модели химического знания

Одной из базовых концепций в систематизации химических знаний является модель, предложенная А. Джонстоном (Johnstone, 1991). Модель А. Джонстона основана на принципе многоуровневости знаний химического мира. В своей модели исследователь отмечает, что химики могут рассматривать объект или процесс как минимум на трех уровнях. Макроуровень – описательный и функциональный: уровень, на котором наблюдаются и описываются химические явления. Макроуровень – это все наблюдаемые глазом, реально существующие химические явления (химические реакции, химические взаимодействия). Микроуровень или

объяснительный уровень – уровень, на котором объясняются химические явления, это ненаблюдаемые глазом атомы, молекулы, ионы, кристаллические решетки веществ. Микроуровень, как правило, наиболее сложен для понимания студентов (Chittleborough, Treagust, 2008; Nicoll, 2003), при этом он является очень важным для понимания природы химических веществ и процессов. Третий уровень – символичный уровень: уровень, на котором используются знаки и символы для представления концепций и идей. Символьный уровень – это графические, схематические, математические представления, описывающие взаимосвязь макро- и микроуровней (Ишмуратова, Блинникова, 2021а). В процессе обучения химии часто используется схема, предложенная А. Джонстоном (Johnstone, 1991): треугольник, в котором описанные три уровня пересекаются (Рисунок 1). Представленная схема является демонстрацией взаимодействия трех уровней. А. Джонстон подчеркивает, что профессионалы в области химии строят свою деятельность как динамическую интеграцию элементов из макро-, символического и микроуровней, в то время как начинающие химики по большей части сосредоточены на макроуровне и испытывают трудности с тем, чтобы связать его с двумя другими уровнями (Johnstone, 1991). Кроме того, А. Джонстон указывает на неоднозначность микроуровня в рамках изучения химии: с одной стороны он позволяет описывать абсолютно все происходящие химические процессы, с другой – он представляет наибольшую сложность для студентов при изучении химии (Johnstone, 2000).

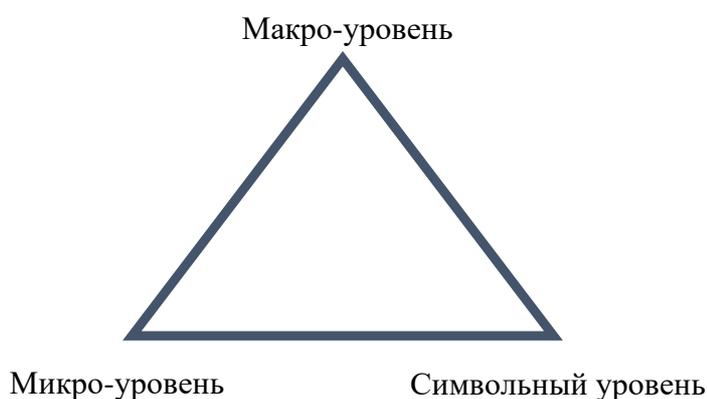


Рисунок 1 - Треугольник Джонсона (адаптация из (Kotz, Treichel, Townsend, 2012))

Основываясь на идеях А. Джонсона, Т. Райт продемонстрировал, что большое количество начинающих химиков не может построить ментальную модель

понятий или процессов в силу непонимания процессов на микроуровне (Wright, 2003).

Модель А. Джонстона получила широкое распространение, и на ее основе Б. Давидович и Г. Читлборо (Davidowitz, Chittleborough, 2009) построили модель, в которой представлены три уровня химического знания (Таблица 2).

Таблица 2 - Сравнение трех уровней химического знания

	Уровень		
	макро	микро	символьный
Форма представления уровня: реально существующий или репрезентация	Реальный	Реальный, но недоступный для непосредственного наблюдения	Репрезентация
Описание уровня	Материальный, количественный	Согласно атомной теории, состоит из атомов	Изображение, которое может быть или не быть точным, но которое помогает понять химическую концепцию или процесс
Восприятие уровня	Видимое	Нельзя непосредственно увидеть, поэтому мысленный образ основан на описаниях, схемах, моделях	Репрезентации являются инструментом, помогающим понять сущность химических явлений

Развитие многоуровневой модели А. Джонстона можно найти в работах В. Таланкьюера. Автор предложил иную классификацию химического знания, включающую три типа знаний: опыт, модели и визуализации (Maeyer, Talanquer, 2010). Опыт включает в себя знания профессионала о химических веществах и процессах, полученные прямым способом (с помощью ощущений) или косвенным (с использованием инструментальных приборов). Опыт – это фактические эмпирические знания о химических системах, которыми обладает химик. Это весь эмпирический опыт, приобретенный химиком. Второй тип знаний – модели, который включает описательные, объяснительные, прогностические, теоретические модели, разработанные химиками для описания наблюдаемых химических явлений. Третий тип знаний – визуализации, который включает в себя статические и динамические репрезентации (от символов до иконок), разработанные для

облегчения качественного и количественного анализа данных и облегчения коммуникации между исследователями. Визуализации представляют собой химические символы и формулы, специальные рисунки, уравнения, графики, анимацию, физические модели, предназначенные для репрезентации компонентов теоретической модели. Отметим, что визуализации схожи с символьным уровнем химических знаний А. Джонстона (Johnstone, 1991).

В. Таланкьюер подчеркивает, что очень важно различать модели и визуализации, потому что они не идентичны по своей сути. Рассмотрим подробнее представленную В. Таланкьюером модель на примере горения газа (Maeyer, Talanquer, 2010). «Природный газ горит в присутствии воздуха, выделяя при этом тепло» – это химическое знание в форме опыта, которое человек получает в процессе взаимодействия с внешним миром. В химии описанное знание часто фиксируют в виде модели химического знания: «Природный газ состоит преимущественно из метана, который при взаимодействии с кислородом подвергается реакции горения, производя при этом два новых вещества (углекислый газ и воду) и выделяя энергию в виде тепла и света». Процесс горения газа может быть визуализирован и записан в символьной форме: « $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 = 2\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 + Q$ ». Это уравнение содержит подробную информацию о составе веществ, для понимания которой химик должен иметь четкое представление о правилах химических записей и формул. Разработанная В. Таланкьюером модель широко используется при создании учебного материала по химии (Maeyer, Talanquer, 2010).

Б. Давидович и Г. Читлборо предложили свою структуру химического знания, основанную на модели Джонстона (Davidowitz, Chittleborough, 2009) (Рисунок 2)

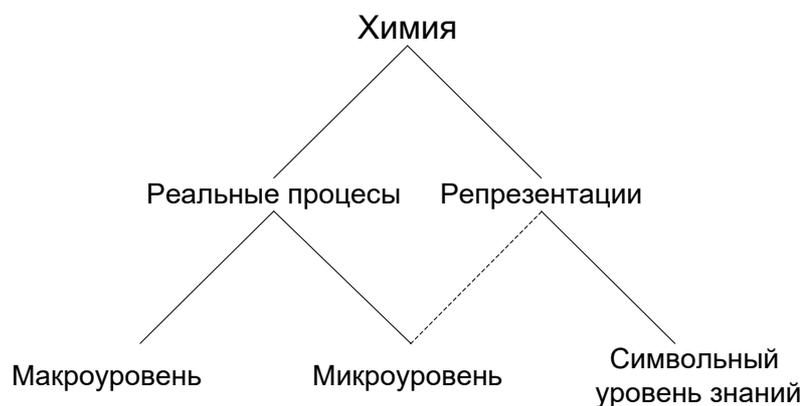


Рисунок 2 - Взаимосвязь между тремя уровнями в рамках концепции Б. Давидович и Г. Читлборо (по (Davidowitz, Chittleborough, 2009))

Согласно их модели, химическое знание можно разделить на реально существующие явления и на графические репрезентации (графические представления), представленные в образной и символической форме. Реальные, непосредственно воспринимаемые характеристики макроуровня также, как и характеристики микроуровня, которые не могут быть восприняты «невооруженным глазом», предоставляют информацию об одном и том же веществе, но только в разных масштабах. Для того, чтобы иметь возможность изучать, анализировать и трансформировать характеристики микроуровня их необходимо представить в виде знаков, формул, уравнений, моделей, схем, диаграмм, графиков и т.п. (в зарубежной литературе все визуальные представления называют репрезентациями).

Многие исследования (Albanese, Vicentini, 1997; Gabel, 1999; Johnstone, 1991) демонстрируют, что учащиеся заинтересованы в изучении химии преимущественно на макроуровне (например, проведение химических экспериментов на лабораторных занятиях), в то время как поддержание интереса к химии на символическом и микроуровне затруднительно. Помимо этого, одной из главных проблем при изучении химии является то, что учащиеся не всегда способны совершать верные переходы от одного уровня изучения вещества к другому уровню. В нашем исследовании были использованы химические графические представления разных уровней для того, чтобы оценить способность химиков производить необходимые переходы между уровнями.

Отечественные исследователи также разделяют концепцию А. Джонстона о многоуровневой природе химического знания. Так, например, Е.В. Высоцкая и И.В. Рехтман (Высоцкая, Рехтман, 2001), занимаясь вопросами обучения школьников и студентов химии, указывают, что характерной особенностью предмета химии является существование макроуровня наблюдений за химической реакцией и микроуровня, который описывает ее атомно-молекулярный состав. Для эффективного овладения знаниями в области химии учащийся должен уметь совершать переход от макроуровня к микроуровню и обратно. И.В. Рехтман считает, что химические формулы и уравнения являются связующим звеном между наблюдаемым в эксперименте макромиром и недоступным для наблюдения микромиром ионов, атомов, молекул. В отличие от идей А. Джонстона, И.В. Рехтман постулирует, что химические формулы принадлежат как к макро-, так и к микроуровню, так как отражают микроуровень в терминах атомов различного вида, так и наблюдаемый макроуровень в понятии элементов. Таким образом, И.В. Рехтман не выделяет третий – символичный уровень химического знания. При этом И.В. Рехтман, также, как и зарубежные исследователи, подчеркивает трудности, с которыми сталкиваются учащиеся в описании проведенных реакций на химическом языке с помощью уравнений. Это происходит потому, что учащимся затруднительно преодолеть пропасть между макромиром (миром реально наблюдаемых веществ) и микромиром (формулами, выражающими атомный состав данных веществ).

Сложности, которые возникают при переходах между макро- и микроуровнями, порождают ошибки в системе ментальных представлений о химических веществах и процессах. Исследования демонстрируют, что студенты (начинающие химики) часто используют макроскопические свойства вещества, чтобы вывести свойства его микрочастиц. Другими словами, студенты, исходя из свойств больших видимых элементов судят о свойствах малых невидимых элементов (Taber, García-Franco, 2010; Talanquer, 2006). Например, в работе Д. Крнела, Р. Ватсона и С. Глазара было показано, что студенты думают, что молекулы льда тяжелее, чем молекулы воды, а молекулы пара легче, чем молекулы воды (Krnell, Watson, Glazar, 1998). В другом исследовании было обнаружено, что начинающие химики

полагают, что атомы меди красно-коричневые так как медь имеет красную окраску, а атомы хлора зеленые, потому что хлор – это зеленовато-желтый газ (Ingham, Gilbert, 1991).

А. Харрисон и Д. Трегуст объясняют наличие подобных заблуждений студентов отсутствием сформированных научных моделей, отсутствием адекватных ментальных репрезентаций (Harrison, Treagust, 1996; Harrison, Treagust, 2002), а также неспособностью студентов объяснять процессы, происходящие на макроуровне, через поведение частиц на микроуровне. Научный подход в химии основан на объяснении происходящих с веществами процессов с помощью анализа микрочастиц.

Пример одновременного использования репрезентаций разного уровня можно обнаружить в книге по химии М. Силберберга (Silberberg, 2017) (Рисунок 3). Иллюстрация позволяет учащимся увидеть все три уровня химического знания: макроуровень (происходящие в колбе химические реакции), микроуровень (превращения веществ на молекулярном уровне) и символичный уровень (записанные в виде формул уравнения реакций).

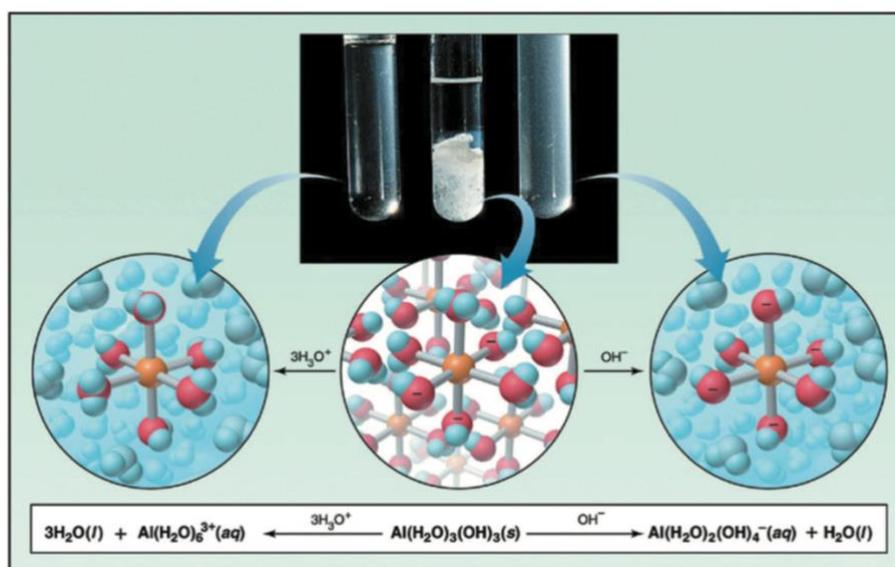


Рисунок 3 – Иллюстрация трех уровней химического знания: сверху представлен макроуровень, в середине – молекулярный (микро)уровень, снизу – символичный уровень (по (Silberberg, 2017))

Согласно М. Хинтону и М. Наклеху (Hinton, Nakhleh, 1999) макро-, микро- и символный уровни могут быть использованы для иллюстрации различных аспектов химических реакций. Например, для демонстрации сбалансированного уравнения химической реакции.

Б. Давидович и Г. Читлборо (Davidowitz, Chittleborough, 2009) отмечают, что учащиеся должны уметь анализировать и соотносить графические представления микро- и символного уровней.

Описанные химические модели созданы в первую очередь для объяснения сложной природы химического знания. Его многоуровневая природа рассматривается в них как основополагающая концепция при изучении химии. Несмотря на подробное описание составляющих элементов данных моделей, в них не изложено то, каким образом специалисты в области химии с разным профессиональным опытом анализируют химические процессы на различных уровнях химического знания.

Химический язык

Одним из важнейших элементов профессионального опыта химика является владение химическим языком (Волкова, 2002). Решая любую из профессиональных задач, специалист должен использовать систему химического языка. Химический язык – это особым образом устроенная система обозначений и понятий, служащая для краткой и удобной записи и передачи химической информации.

Химический язык очень специфичен, поэтому его освоение – важнейшая задача специалиста в области химии. В литературе не существует единого мнения относительно того, с помощью каких феноменов формируется химический язык. Например, Е.В. Высоцкая и И.В. Рехтман (Высоцкая, Рехтман, 2001) полагают, что данным феноменом является химический элемент, а Е.В. Волкова (Волкова, 2002) демонстрирует, что именно структура репрезентации химических знаний позволяет химикам анализировать и познавать химический мир и язык. Е.В. Волкова подчеркивает, что для успешного освоения химии важен не сам химический элемент, а его особое место, роль и функция по отношению к другим элементам.

Символы химических элементов – это «буквы» химического языка. Из них составляются «слова» – химические формулы. Информация же о химических

процессах («предложениях») выражается в виде схем и уравнений реакций (Реутов, Курц, Бутин, 2021). У химика-профессионала название химического вещества влечет за собой ассоциацию в виде структурной формулы, образного представления молекулы и связанной с ней понятийной конструкцией (Волкова, 2006). Химические знаки и химические формулы – это единицы химического языка, используемые для передачи информации о веществе (Бокий, Голубкова, 1989).

Химическая формула – это условное обозначение химического состава и структуры соединений с помощью символов – химических элементов, числовых и вспомогательных знаков (Габриелян, 2008). Химические формулы строения вещества обнажают внутреннюю природу материи, из которой состоит данное вещество. На их основе составляются уравнения реакций, а также химическая классификация и номенклатура веществ. По химической формуле высококвалифицированный химик может определить, является вещество простым или сложным, качественный и количественный состав вещества, молекулярную массу, химические свойства вещества, массовые доли химических элементов в веществе, может предположить, с какими веществами и каким образом данное вещество будет реагировать, какие будут происходить химические реакции, составлять уравнения (Реутов, Курц, Бутин, 2021).

Выделяют несколько видов химических формул (Габриелян, 2008). Самая простая в написании – это эмпирическая формула (простейшая, истинная или рациональная) показывает состав химического соединения с числом атомов, которые образуют одну формульную единицу (C_6H_6 , CH_3COOH). Формулу вещества составляют путем записи знаков химических элементов, из которых это вещество состоит, с указанием числа атомов каждого элемента в молекуле (Мусаев, Мусаева, Гринева, 2009). Но молекулярная формула не предоставляет информацию о строении частиц. Соединения, имеющие одинаковый элементный состав, могут абсолютно отличаться по свойствам друг от друга. Так, простейшей формуле C_2H_6O могут соответствовать совершенно разные вещества: C_2H_5OH (этанол) и CH_3OCH_3 (диметиловый эфир).

Для практической работы и для написания уравнений реакций используют структурные формулы (Габриелян, 2008). Структурная формула дает указание на элементный состав, порядок соединения атомов в молекуле и на химические связи

между атомами в соответствии с теорией химического строения. Структурные формулы показывают изомерию молекул, которая может быть обусловлена разным порядком взаимосвязи атомов, которые образуют скелет молекулы (Рисунок 4). К примеру, изопропиловый спирт и н-пропиловый спирт (C_3H_7OH) имеют абсолютно одинаковый атомарный состав, но из-за разного порядка связей обладают различными свойствами.



Рисунок 4 - Структурная формула молекулы вещества

Но и структурная формула не совершенна, так как она не дает полную информацию о строении вещества, не показывает пространственного расположения атомов. Только трехмерные (пространственные) модели молекул позволяют наиболее близко к теоретическим моделям строения вещества представить его состав, и, зачастую более полное (правильное) взаимное расположение атомов, угол связи и расстояния между атомами (Габриелян, 2008). Пространственная формула – это такая химическая формула, которая составлена из элементов и особых знаков, которые отражают строение данного вещества, включая взаимное пространственное расположение атомов в молекулах этого вещества (Реутов, Курц, Бутин, 2021). Обычно в пространственной формуле обозначают длины связей и значения углов между связями в молекуле. Пространственная изомерия обусловлена существованием стереоизомеров – соединений, которые имеют одинаковый порядок связей атомов, но различное расположение в пространстве. Соответственно и свойства таких изомеров различные.

Сегодня, благодаря разработанным современным методам исследований, создана система правил для понимания и предсказания конфигурации молекул. Часто методы опираются на довольно сложный математический аппарат и требуют применения самых совершенных компьютеров. Они позволяют создавать модели строения молекул, которые объясняют свойства молекул и веществ. Для получения

значимых результатов химикам просто необходимо профессионально владеть как можно большим объемом знаний и умений в рамках этой химической системы, основой которой являются химические формулы.

В нашем исследовании были разработаны специальные тестовые задания, включающие в себя наиболее информативный вид химической формулы – пространственные формулы молекул веществ. Они позволят определить особенности решения задач специалистами в области химии с разным профессиональным опытом.

2.3. Место и роль ментальных репрезентаций и визуальных представлений в процессе решения профессионально-специфичных задач

Огромное значение в профессиональной деятельности химиков играют **ментальные репрезентации**. Остановимся подробнее на данном феномене. Раньше в традиционной когнитивной психологии под понятием «репрезентация» понималась особая фиксированная форма определенным образом упорядоченного знания либо специфическая форма его хранения. В последние десятилетия содержание понятия «ментальная репрезентация» было значительно изменено. Сейчас под ментальными репрезентациями в отечественной психологии понимают актуальный умственный образ того или иного конкретного события (то есть то, как человек воспринимает, понимает и объясняет происходящее) (Холодная, 2020).

Ментальные репрезентации – это особая форма ментального опыта, они изменяются по мере изменения ситуации и интеллектуальных усилий субъекта, являются специализированной и детализированной умственной картиной события (Холодная, 2020). Важно отметить, что наличие ментальной репрезентации у человека свидетельствует о существовании особого рода психической реальности, которая хотя инициируется внешним воздействием, но зарождается «внутри» субъекта. Исследователи также подчеркивают, что особенности ментальной репрезентации происходящего определяют характер осуществляемой далее интеллектуальной деятельности, в том числе показатели ее эффективности. В настоящее время ментальные репрезентации рассматриваются уже не как форма фиксации знаний, а как инструмент применения знаний к определенному аспекту

действительности (Холодная, 2020). Ментальная репрезентация – это конструкция, зависящая от обстоятельств и построенная в конкретных условиях для определенных целей (Ришар, 1998). Кроме того, отмечается, что специфика ментальных репрезентаций задается особенностями задачи, которую требуется решить. Ментальные репрезентации – очень специфичные, детализированные и довольно непрочные конструкты, которым свойственно видоизменяться, заменяться (Носуленко, 2016).

Рассуждая о ментальных репрезентациях знания, Н.И. Чуприкова вводит понятие «когнитивных структур репрезентации знаний». Под когнитивными структурами репрезентации знаний Н.И. Чуприкова понимает особые внутренние психологические структуры, складывающиеся у человека в процессе жизни и содержащие в себе сложившуюся картину мира, общества и самого себя (Чуприкова, 1997). Н.И. Чуприкова описывает понятие ментальная репрезентация как способ описания и хранения в долговременной памяти знаний в самом широком смысле, при этом знания хранятся в памяти в виде обобщенно-абстрактных продуктов воспринятого. Исследователь подчеркивает, что хранящиеся в памяти знания упорядочены в форме систем и подсистем с уровнями иерархии. Данные системы являются также и средством познания и, соответственно, чем сильнее они развиты, тем больше у человека возможностей приема, анализа и синтеза информации (Чуприкова, 1997). Н.И. Чуприкова подчеркивает, что репрезентативно-когнитивные структуры являются внутренней основой всех происходящих процессов переработки информации и организации деятельности. Очень важно рассматривать данные структуры в связи с тем, что именно от них зависит легкость и быстрота процессов анализа, синтеза, обобщения и абстракции, приобретения новых знаний и навыков.

Об эффективности построения ментальной репрезентации можно судить по нескольким параметрам: 1) особенностям распределения внимания (какие из элементов задачи воспринимаются как релевантные); 2) объему времени, затраченному на ознакомление с задачей; 3) форме субъективного представления ситуации (вербальной или визуальной); 4) характеру задаваемых вопросов (Dodd, White, 1980).

Предполагается, что ментальные репрезентации выполняют особые функции в интеллектуальной деятельности, кроме того, характер их построения различен у экспертов и новичков (Холодная, 2020).

Одним из первых понятие «репрезентационная компетентность» вводит Ж. Пиаже. По мнению Ж. Пиаже, существенный скачок в интеллектуальном развитии ребенка обусловлен развитием символической функции (способности действовать в режиме «как если бы») и с переходом к познавательному отражению на уровне построения ментальных репрезентаций (Пиаже, 1994). Репрезентации глубоко рассматривались в контексте теории интеллекта Дж. Брунера (Bruner, 1964). Исследователь полагал, что рост интеллекта обуславливается развитием трех способов репрезентации действительности (через модальности опыта: действие, образ и слово) и интеграцией различных форм субъективного отражения происходящего (в виде взаимопереводов разных модальностей опыта, а также соотнесенности актуального опыта с прошлым и будущим опытом) (Bruner, 1964). Роль репрезентаций в процессе решения задач изучал Ф. Кликс. Согласно концепции исследователя, неэффективное решение задач связано с построением ошибочных или чересчур громоздких репрезентаций проблемной ситуации (Klix, 1985).

В своем подходе М. А. Холодная выделяет ряд дефицитов репрезентационных способностей, а именно:

- неспособность построить адекватное представление о ситуации без четких внешних указаний относительно ее природы и способов ее разрешения;
- неполное представление о ситуации, когда некоторые детали вообще не попадают в поле зрения;
- опора на непосредственные субъективные ассоциации, а не на анализ объективных особенностей ситуации;
- глобальное представление о ситуации без серьезных попыток подойти к ней аналитически, декомпозируя и переструктурируя отдельные ее детали и аспекты;
- неспособность построить адекватную репрезентацию на недостаточной, незавершенной информационной основе;

- предпочтение более простой и хорошо организованной формы репрезентации перед сложной и противоречивой;
- фиксация внимания на очевидных, внешних, бросающихся в глаза аспектах ситуации и неспособность реагировать на скрытые ее аспекты;
- отсутствие в репрезентации высокообобщенных элементов в виде знаний об общих принципах, категориальных основаниях, фундаментальных законах;
- неспособность объяснить собственные действия при построении своего представления о ситуации;
- использование стратегии «сначала - сделать, потом – подумать» - время на знакомство и понимание ситуации резко сокращается за счет более непосредственного перехода к процессу ее решения;
- неспособность быстро и четко выделить ключевые элементы ситуации с тем, чтобы сделать их опорными точками своих дальнейших размышлений;
- неготовность перестроить образ ситуации в соответствии с изменением условий и требований деятельности;
- эгоцентрический характер репрезентации, ее центрированность на личной точке зрения и собственных потребностях и, как следствие, ее подверженность искажающему влиянию аффективных состояний.

В зарубежной литературе рассматривается также и другой вид репрезентаций – графические репрезентации, то есть весь спектр визуально представленной информации (схемы, уравнения реакций, графические модели, графики, диаграммы и т.д.). Под графическими репрезентациями (внешними) в зарубежной литературе понимают модели, которые описывают определенный феномен или облегчают его понимание, и являются по своей сути формой представления знания. В нашей работе для удобства мы будем называть их **визуальными представлениями**.

Визуальные представления особенно важны для понимания предмета химии в связи с невозможностью непосредственного наблюдения молекулярных взаимодействий. Сильная взаимосвязь между пониманием химиками химических явлений (Kozma, 2003) и визуальными представлениями, используемыми для демонстрации этих явлений, делает понимание и анализ визуальных представлений одним из ключевых компонентов профессионального опыта специалистов химической сферы (Kozma et al., 2000). Если язык визуального представления ясен

и однозначен, то оно содержит в себе значительный объем ценной информации. Визуальные представления являются языком химических знаний и играют важнейшую роль как в химическом образовании, так и в профессиональной деятельности в области химии.

П. Годфри-Смит (Godfrey-Smith, 2006) утверждает, что моделирование в науке представляет особую форму культуры, опирающуюся на системы языка и правила его использования, и позволяющую достигать более полного и глубокого уровня понимания процессов и явлений. В естественно-научном знании графические представления часто рассматривают как инструменты для изучения различных процессов и явлений.

Дж. Гилберт (Gilbert, 2005) в своей работе определил пять видов визуальных представлений:

- 1) точно заданные визуальные представления (например, общепринятый способ представления орбиталей атома в виде шаров);
- 2) устный вид представлений (к примеру, метафоры, аналогии или устные описания – могут быть как устными, так и письменными);
- 3) символичный вид визуальных представлений (например, химические уравнения реакций);
- 4) визуальные представления в виде графиков диаграмм, схемы и т.п.;
- 5) невербальные представления (например, движение частей тела для описания взаимодействий атомов или молекул).

Визуальные представления химических веществ и процессов могут включать изображения, символы, диаграммы, графики, формулы, модели, устные пояснения (Harrison, 2001). Они используются для демонстрации химической информации, для помощи в описании идей, для объяснения происходящих процессов, для представления визуального образа, для построения прогнозов, заключения выводов и формирования гипотез (Davidowitz, Chittleborough, 2009). Они могут быть статическими или динамическими, двух- или трехмерными, состоящие из одного или из нескольких элементов.

Применительно к специалистам в области химии репрезентационная компетентность рассматривается несколько иначе: учитывается не только формирование ментальных репрезентаций, но и работа с визуальными

представлениями. Роберт Козма и Джоэл Рассел (Kozma, Russell, 1997) определили репрезентационную компетентность химиков как способность трансформировать репрезентации из одной формы в эквивалентную репрезентацию другой формы. По мнению авторов, за репрезентационной компетентностью стоят умения и навыки, обеспечивающие успешное использование визуальных представлений для решения профессиональных задач (Kozma, Russell, 2005). Другие исследователи описывают данный вид компетентности как понимание, перевод и построение различных форм визуальных представлений (Harrison, Treagust, 1996; Harrison, Treagust, 2002). А именно: понимание того, какие аспекты визуальной информации важны, а какими можно пренебречь; передача идей посредством визуальных изображений; а также перевод информации из одной формы представления в другую.

Во многих исследованиях было продемонстрировано, что эксперты в области химии могут с легкостью интерпретировать визуальные представления различного типа, в то время как для начинающих специалистов интерпретация визуальных представлений представляет значительную сложность (Chittleborough, Treagust, 2008; Gabel, 1999; Johnstone, 1991).

Для развития репрезентационной компетентности необходимо адекватное использование большого количества визуальных представлений в учебной программе, их правильная интерпретация учащимися, а также свободный переход между ними (Gilbert, Treagust, 2009). В последнее десятилетие с ростом информационных технологий точность и разнообразие химических визуальных представлений сильно возросли (Tasker, Dalton, 2006). В исследовании Р. Майер было продемонстрировано, что учащиеся лучше понимали и дольше сохраняли в памяти научные концепции, которые были представлены как комбинация текста и графических представлений по сравнению с концепциями, представленными только в виде текста (Clark, Mayer, Thalheimer, 2003).

В научном сообществе химиков принято использовать определенные представления для обозначения идей и понятий, поэтому для того, чтобы начинающий химик смог стать полноценным членом этого сообщества, ему необходимо безошибочно интерпретировать графические представления и интегрировать их в свою профессиональную деятельность (Davidowitz, Chittleborough, 2009).

Р. Козьма и Д. Рассел (Kozma, Russell, 1997) отмечают, что понимание предмета химии основывается на понимании невидимого и неосязаемого. Объяснение химических процессов требует построения особых ментальных репрезентаций, созданных для визуализации взаимодействия частиц на микроуровне. Визуальные представления способствуют построению ментальной модели процесса. В связи с тем, что невозможно наблюдать, как взаимодействуют атомы, химики в работе полагаются на атомную теорию вещества, на которой основан микроуровень.

Можем сделать вывод о том, что химики в своей работе анализируют взаимодействие частиц микроуровня с помощью наблюдения за химическими явлениями на макроуровне, а затем переводят эти взаимодействия в визуальные представления и ментальные репрезентации. Эта триплетная природа химии требует от специалистов постоянного перехода между микро-, макро- и символьным уровнями, а также понимания представлений в разных масштабах для решения профессиональных задач (Johnstone, 1991). Понимание природы вещества, состоящего из дискретных частиц, имеет решающее значение для изучения химии. Природу частиц веществ можно определить следующим образом (Мусаев, Мусаева, Гринева, 2009): любое вещество состоит из атомов, которые слишком малы, чтобы увидеть их непосредственно через микроскоп. Атомы любого элемента похожи между собой, но отличаются от атомов других элементов. Атомы могут соединяться вместе в определенные молекулы или могут объединяться в большие массивы. Для всех веществ присуще различное расположение атомов (Блинникова, Ишмуратова, 2019).

В процессе обучения студенты учатся взаимодействовать с различными типами визуальных представлений, и каждое представление должно быть верно интерпретировано, соотнесено с другими для построения более глубокого концептуального понимания. Т. Нох и Л. Шарманн (Noh, Scharmann, 1997) обнаружили, что студенты-химики, которым был представлен учебный материал графически, строили научно более верные концепции, чем студенты, которым материал был представлен в традиционной форме, но разницы в эффективности решения задач не было обнаружено. В другом исследовании (Nicoll, 2003) было установлено, что студенты без предоставления им четкого руководства не развивают

такого высокого уровня владения графическими представлениями, как квалифицированные ученые.

Процесс изучения химии требует перехода между этими тремя уровнями химического знания (макро, микро, символьным) для создания концептуального понимания (Clough, Olson, 2008; Taber, 2009). Студенты могут сосредоточиться на особенностях символьного представления, а не на фактически происходящих микрофеноменах (Kozma, Russell, 2005). Изучение ненаблюдаемых микрофеноменов осложнено тем, что оно доступно только посредством воображения (Bucat, Moserino, 2009), что требует концептуального понимания отношений между визуальными представлениями и реальностью (Taber, 2009).

В одном из исследований (Cheng, Gilbert, 2009) было показано, что при изучении химии большую сложность для студентов представляет не только построение связи между существующими знаниями и визуальными представлениями, но и построение взаимосвязи между макро-, микро-, и символьным уровнями. Исследователи подчеркнули важность поддержания согласованности между всеми уровнями.

Дж. Гилберт (Gilbert, 2005) отмечает, что репрезентационная компетентность химиков включает в себя следующие требования:

1) специалист должен понимать условные обозначения (символы, знаки) во всех размерностях (трех-, двух-, и одномерных) на всех уровнях химического знания;

2) специалист должен быть способен производить переход между различными уровнями, выявляя несоответствия в графических представлениях, не обращая внимания на нерелевантную информацию, и сосредотачиваться только на релевантной;

3) специалист должен уметь строить подходящие графические представления на любом уровне (макро, микро, символьном) в соответствии с заданными целями.

Важной особенностью анализа графических представлений является способность при необходимости быстро извлекать имеющееся знание или «беглость восприятия». П. Кельман и П. Гарриган (Kellman, Garrigan, 2009) описали беглость восприятия как способность быстро и без особых усилий выделять релевантную

информацию на визуальных представлениях и устанавливать ключевые связи между элементами.

Б. Давидович и Г. Читлборо предложили использовать визуальные представления микроуровня в процессе изучения химии для того, чтобы облегчить понимание процессов, происходящих на молекулярном уровне (Davidowitz, Chittleborough, 2009). Например, исследователи разработали учебные материалы, включающие графические представления микроуровня и макроуровня. Стратегия внедрения визуальных представлений Б. Давидович и Г. Читлборо заключается в том, чтобы демонстрировать в рамках учебного процесса визуальные представления микро- и макроуровня, описывающие одно и то же вещество или процесс.

В проведенных Б. Давидович и Г. Читлборо (Davidowitz, Chittleborough, 2009) экспериментах было использовано два типа стимульного материала: первый содержал визуальные представления молекулярного уровня (микроуровня), второй – визуальные представления в виде уравнения реакции (символьный уровень). В обоих типах заданий испытуемые должны были внимательно рассмотреть представления и ответить на ряд вопросов, относящихся к ней.

В первой задаче испытуемым требовалось интерпретировать графические изображения, перевести визуальные представления микроуровня в представления символьного уровня, указать лимитирующий реагент в реакции, назвать максимальное число молекул аммиака, выделяющихся в ходе реакции, а также сконструировать собственные визуальные репрезентации, иллюстрирующие продукты реакции. Под лимитирующим реагентом в химии понимают реагент, присутствующий в реакционной смеси в минимальном стехиометрическом количестве (Реутов, Курц, Бутин, 2021). Во втором задании испытуемым необходимо было привести в равновесие уравнение химической реакции, указать лимитирующий реагент в реакции, а также рассчитать, сколько граммов водорода выделяется в ходе указанной реакции.

Для решения первой задачи с графическими представлениями микроуровня студентам необходимо было декодировать представление и перевести его в представление символьного уровня, что является гораздо более сложной задачей, чем привычное уравнение реакции во втором задании, изначально заданное в символьной форме. В химической терминологии такое уравнение реакции

называется стехиометрическим. Стехиометрическое уравнение представляет собой краткое выражение материального баланса реакции (Реутов, Курц, Бутин, 2021).

Было обнаружено, что большинство студентов произвели корректную трансформацию визуальной репрезентации микроуровня в сбалансированное уравнение реакции (символьный уровень). Однако ответить на вопрос о лимитирующем реагенте в первой задаче смогли гораздо меньше студентов, чем во второй, где стехиометрическое уравнение было задано изначально. Разница в количестве правильных ответов еще больше в том случае, когда ставился вопрос о количестве вещества, получившемся в ходе химической реакции. Студентам было гораздо легче решить эту задачу, если она была задана стехиометрическим уравнением, потому что они могли использовать известный алгоритм решения подобных уравнений. Важный вывод, сделанный авторами работы: наибольшую сложность для студентов представляло вычисление массы вещества на основе предъявляемого графического представления микроуровня.

Эти данные схожи с теми, которые были получены в исследовании В. Яррош (Yaroch, 1985). В. Яррош изучал способность студентов решать химические уравнения реакций. Его результаты продемонстрировали, что большинство студентов могли правильно расставить коэффициенты в предъявленных уравнениях реакций. При этом 42 процента испытуемых не могли сконструировать визуальное представление микроуровня, отражающую химическое уравнение реакции, представленное на символьном уровне (Yaroch, 1985).

2.4. Стратегии решения задач химиками с разным уровнем профессионального опыта

Исследованиями, посвященными использованию визуальных представлений в химической сфере, детальнее всего занимался современный исследователь Роберт Козьма. В одном из своих исследований Р. Козьма анализировал, какова роль репрезентаций в химии: как химики строят ментальные репрезентации и как анализируют визуальные представления (Kozma et al., 2000). Испытуемыми выступили сотрудники лаборатории органической химии и сотрудники крупной фармацевтической компании. Основными методами исследования выступили методы наблюдения и интервью. Было отмечено, что графические представления

занимали особое место в работе всех испытуемых: в каждой лаборатории и в комнатах для отдыха на стенах висели доски для того, чтобы можно было нарисовать схемы; графические схемы также были обнаружены в рабочих тетрадях специалистов, на постерах в коридорах, в журналах с рекламной продукцией (Блинникова, Ишмуратова, 2019). Р. Козьма приходит к выводу, что химические визуальные представления могут использоваться в профессиональной деятельности для разных целей. Например, было обнаружено, что химики объясняют многие процессы как себе, так и коллегам с помощью схематических изображений. В особенности это касается описания тех феноменов, которые недоступны для непосредственного наблюдения в лаборатории (например, нуклеофилы или электрофилы). Визуальные представления в данном случае позволяют химикам проверять свои гипотезы.

Другой способ применения визуальных представлений – проверка, подтверждение или опровержение структуры синтезируемых соединений. Для этих целей используются особые инструменты: масс-спектрометрия, ядерная магнитно-резонансная спектроскопия, тонкослойная хроматография. Данные инструменты, по мнению автора исследования, опосредуют работу химиков. Они не используются для физического преобразования вещества, а скорее служат аналитическим инструментом, создавая визуализацию процессов с помощью графиков и диаграмм. Данный вид представлений отличен от тех, что используются для коммуникации между коллегами – вместо букв и линий, обозначающих связи между атомами, здесь используются цветные полосы и пики различной высоты, кластеризованные особым образом.

Аналитические инструменты (хроматография, спектроскопия) преобразуют изучаемые химические процессы, недоступные для анализа другим способом, в визуальные представления. Визуальные представления, как таковые, в данном случае не являются целью работы химиков, но помогают добиться поставленных профессиональных задач (получения новых соединений, разработка веществ с заданными свойствами) (Kozma et al., 2000). Р. Козьма отмечает, что в химической сфере более целесообразно использовать разные типы визуальных представлений для различных целей, потому что часто они являются взаимодополняющими.

Р. Козьма подчеркивает (Kozma et al., 2000), что для эффективной работы специалист в области химии должен уметь разрабатывать адекватные задаче визуальные представления, описывающие определенные феномены и процессы, использовать эти представления для объяснения химических явлений, которые недоступны для непосредственного наблюдения, определять и анализировать особенности репрезентаций (например, пики на графиках) и использовать их для того, чтобы делать прогнозы относительно какого-либо процесса, использовать символичный уровень репрезентаций как средство коммуникации в научном сообществе.

В другом эксперименте Р. Козьма и Д. Рассел (Kozma, Russell, 1997) сравнивали стратегии решения задач специалистами в области химии с разным уровнем профессионального опыта. Испытуемым предъявлялись слайды, содержащие разные типы стимульного материала (видеоролики с химическим процессом, графики, анимация, содержащая атомы веществ и уравнения реакций). Слайды также различались по другим параметрам (например, по типу вещества, по фазе вещества, по типу реакции). Участникам эксперимента предлагалось распределить слайды по группам на основании любого критерия. Испытуемым было сказано, что количество групп может быть любым, как и количество слайдов в каждой группе. После проведения процедуры кластеризации каждую группу необходимо было назвать.

В результате было обнаружено, что эксперты и новички различались размером «чанков», что согласуется с результатами раннего исследования (Chi, Feltovich, Glaser, 1981). Эксперты воспринимают информацию большими, значимыми паттернами в отличие от новичков. Средний размер групп, которые создавали эксперты, был значимо больше, чем тот, который создавали новички: среднее количество слайдов в одной группе у экспертов было 3,23, в то время как у новичков – 2,15. Соответственно, новички создавали большее количество групп, чем эксперты: среднее количество групп у экспертов – 4,4; у новичков – 6,5 групп. Группы, которые формировали эксперты, были объединены вокруг одного общего принципа или закона. Новички же при кластеризации слайдов с химическими феноменами ориентировались скорее на их поверхностных характеристиках. Было обнаружено, что эксперты были способны формировать группы слайдов с разным типом

визуальных репрезентаций (например, в одну группу могли войти слайды с графиками, видеороликами и уравнениями химических реакций). Новички же группировали слайды, содержащие только один или два типа стимульного материала (Блинникова, Ишмуратова, 2019).

Еще одно исследование Р. Козьма (Kozma, Russell, 1997) ставило перед собой цель определить, каким образом профессионалы и студенты химии трансформируют один вид визуальных представлений в другой. Испытуемым предъявлялись слайды с различными визуальными представлениями (например, схема химического процесса), которые необходимо было трансформировать в другой тип представлений (например, в химические уравнения реакций). Было обнаружено, что эксперты совершали 74% правильных трансформаций, в то время как начинающие химики только 40,7%. Также были найдены значимые различия по совершению трансформаций определенного типа стимульного материала: эксперты гораздо лучше переводили информацию в другую форму представлений, если это были видео, графики или анимация. Не было найдено значимых различий по трансформации уравнений реакций в другие формы представлений. Было показано, что эксперты значимо лучше трансформировали любой тип представлений в вербальное описание. Для студентов же трансформация схем и графиков в словесную форму представляла сложность.

В исследовании С. Хансен изучалось, как студенты химических специальностей взаимодействуют с различными видами репрезентаций (Hansen, 2014). В исследовании с использованием метода видеорегистрации движений глаз и метода рассуждения вслух принял участие 41 студент. Целью исследования было определить, какими способами студенты решают задачи и какие глазодвигательные стратегии они при этом используют. Испытуемым необходимо было устно описать химическое уравнение реакции, перевести диаграммы микроуровня в символичный уровень (уравнения реакций), а также решить химические задачи. Затем испытуемым предъявлялась игра, где необходимо было расставить правильное количество атомов в молекулах вещества (микроуровень), а затем составить верное уравнение реакции (символичный уровень). Было обнаружено, что студенты, обладающие большим самоконтролем в процессе решения задачи (объясняющие себе поэтапный процесс решения задачи), оказались более успешными в решении

заданий. Студенты, правильно решившие большую часть задач, использовали стратегию объединения изображенных атомов в «чанки» (Ишмуратова, Блинникова, 2021).

В исследовании М. Рау, Д. Микаэлис и Н. Фэй (Rau, Michaelis, Fay, 2015) были разработаны специальные тестовые задания для оценки беглости восприятия визуальных представлений и способности их анализировать. Например, в одном из заданий необходимо было внимательно рассмотреть два изображения молекулы, представленные в разной визуальной форме: первая – в форме шаростержневой модели молекулы вещества, вторая – в форме карты электростатического потенциала молекулы. Затем учащиеся должны были обнаружить различия в изображениях и выбрать несколько вариантов ответов из списка предложенных (например, возможные варианты ответов: «карта электростатического потенциала молекулы показывает где скорее всего находится электрон, в то время как шаростержневая модель не показывает нахождение электрона» или «в шаростержневой модели зеленый цвет обозначает атом хлора, а в карте электростатического потенциала молекулы зеленая зона обозначает место, где находится среднее количество электронов»). В тестовых заданиях для оценки беглости восприятия визуальных репрезентаций студентам необходимо было найти одинаковые молекулы вещества, которые были представлены с помощью визуальных репрезентаций разного типа. Студентам предъявлялись шесть визуальных представлений одного типа (например, шесть трехмерных пространственных моделей) и шесть графических представлений другого типа (например, карта распределения электростатического потенциала). Обнаружено, что студенты гораздо лучше решали задачи, в которых необходимо было найти различия в визуальных представлениях по сравнению с задачами на поиск одинаковых молекул вещества. Кроме того, было показано, что количество курсов по химии, который прошел учащийся, положительно коррелирует с процентом правильных ответов в заданиях на поиск одинаковых молекул вещества. Полученные данные позволяют исследователям сделать вывод о том, что по мере накопления профессионального опыта, беглость восприятия визуальных химических репрезентаций возрастает (Ишмуратова, Блинникова, 2021).

Кроме того, в исследовании М. Рау, Д. Микаэлис и Н. Фэй (Rau, Michaelis, Fay, 2015) ставилась задача идентифицировать, какие глазодвигательные стратегии обеспечивают максимально эффективное решение задач и более глубокое понимание химических концепций. Для этого была записана глазодвигательная активность испытуемых и проведено интервью. Испытуемыми выступили студенты младших и старших курсов химических специальностей. На основе устных ответов испытуемых была создана особая структура обработки интервью, включающая четыре уровня ответов испытуемых: первый уровень – поверхностные характеристики представленных графических представлений; второй – сходства графических представлений; третий тип – различия графических представлений; четвертый – умозаключения. Описание закодированных уровней ответов представлено в Таблице 3.

Для анализа показателей глазодвигательной активности были выделены определенные области интереса (areas of interest – AOI), одна область интереса охватывала одно визуальное представление. Были проанализированы следующие показатели глазодвигательной активности: частота перемещений между областями интереса, первая и вторая фиксации.

Таблица 3 - Кодирование ответов испытуемых, данных в ходе устного интервью (Rau, Michaelis, Fay, 2015)

Уровни кодирования ответов испытуемых	Определение	Пример ответов испытуемых
Поверхностная оценка графических представлений	Включает в себя ответы испытуемых, в которых связь между графическими представлениями была поверхностной, основанной на нерелевантных задачах особенностях	«Оба элемента графических представлений красные»
Оценка на основе сходства	Включает в себя ответы, в которых испытуемые опирались на структурные сходства изображенных графических представлений	«Пространственная модель молекулы и модель распределения электростатического потенциала схожи по форме, потому что они обе демонстрируют облако электрона»

Оценка на основе различий	Включает ответы, в которых испытуемые описывали различия в графических представлениях	«Пространственная модель дает лучшее понимание того, какие атомы в составе молекулы, но модель электростатического распределения дает более исчерпывающее представление об электронной структуре молекулы»
Умозаключения	Включает ответы, в которых испытуемые описывали понятия и концепции, которые были за рамками того, что изображено на слайде.	«Это графическое представление показывает, что кислород более реактивный, потому что имеются свободные пары»

Считается, что перемещения между релевантными областями стимульного материала, свидетельствует о том, что испытуемый пытается связать эти части (Holsanova, Holmberg, Holmqvist, 2009; Johnson, Mayer, 2012; Mason et al., 2013). Первое попадание взора в зону интереса, как правило, является индикатором обработки предъявляемого материала (Hyönä, Lorch Jr, Rinck, 2003; Hyönä, Nurminen, 2006; Mason et al., 2013). Второе же попадание взора в эту же зону интереса (в случае, когда испытуемый повторно возвращается в ту же зону) свидетельствует о преднамеренной обработке информации для интеграции с другими данными (Hyönä, Lorch Jr, Rinck, 2003; Hyönä, Nurminen, 2006; Mason et al., 2013; Schlag, Ploetzner, 2011). Была обнаружена корреляция между показателями движений глаз и закодированными ответами, данными в ходе интервью. Оказалось, что количество переходов между зонами интереса, а также первая и вторая фиксации на зоне интереса значимо положительно коррелируют с ответами испытуемых на уровне поверхностной оценки репрезентаций. Корреляций между уровнем оценки репрезентаций на основе сходства и показателями движений глаз обнаружено не было. Длительность второй фиксации положительно коррелировала с оценкой репрезентаций на основе различий и умозаключениями. На наш взгляд, это важный вывод, который требует более тщательной проверки на разных типах стимульного материала.

Выводы по результатам анализа профессиональной деятельности и профессионального опыта химиков

1. Профессиональная деятельность специалистов в области химии характеризуется большим количеством неструктурированных задач.

Профессиональная деятельность химика всегда связана с веществом и его преобразованиями. Химик в своей деятельности анализирует вещества и их свойства; определяет состав веществ; кодирует и декодирует качественный и количественный состав молекул; анализирует химический процесс; классифицирует вещества и процессы; проводит разработку новых химических продуктов; прогнозирует свойства полученных веществ; контролирует протекание химических процессов.

2. Рассмотрена специфика профессионального опыта химиков. Для того, чтобы освоить предмет химии, необходимы следующие компоненты: наблюдение явлений, фактов, процессов и организация наблюдений; умелое использование понятийного аппарата, химической терминологии, номенклатуры в словесном, графическом и модельном описании для установления фактов и их описания; верное обобщение полученных фактов и формулировка эмпирических законов низшего и высшего порядка; выдвижение и подтверждение гипотез; установление причинно-следственных связей и химических закономерностей; обширное и полное описание свойств химических элементов, веществ и их взаимодействий; выделение из теории новых законов; предсказание новых фактов и последующая проверка на практике.

3. Рассмотрены основные модели химического знания. Подробно описана наиболее часто используемая модель А. Джонстона, состоящая из трех уровней: макроуровня (все наблюдаемые глазом, реально существующие химические явления), микроуровня (ненаблюдаемые глазом атомы, молекулы, ионы, кристаллические решетки веществ), символического уровня (уровень, на котором используются знаки и символы для представления концепций и идей). Развитие многоуровневой модели А. Джонстона можно найти в работах зарубежных (В. Таланкьюер, Б. Давидович и Г. Читлборо) и отечественных (Е.В. Высоцкая, И.В. Рехтман, Е.В. Волкова) исследователей.

4. Рассмотрен и описан химический язык как важнейший элемент профессионального опыта химиков. Химический язык очень специфичен, поэтому его освоение – приоритетная задача специалиста в области химии. Проанализированы все виды химических формул, используемых специалистами: эмпирическая, структурная, трехмерная (пространственная).

5. В профессиональной деятельности химика огромную роль играют графические и ментальные репрезентации. Графические репрезентации (визуальные представления) – модели, графики, диаграммы, которые описывают определенный химический феномен. К графическим репрезентациям можно отнести все графические схемы, уравнения реакций, изображения молекул веществ, графики. В связи с этим на основе проанализированной литературы был выделен особый вид компетентности специалистов в области химии – репрезентационная компетентность.

6. Под репрезентационной компетентностью подразумевают умения и навыки, обеспечивающие успешное использование репрезентаций для решения профессиональных и тестовых задач, а также понимание, перевод и построение различных форм репрезентаций. Репрезентационная компетентность химика включает в себя: понимание условных обозначений во всех размерностях, на всех уровнях химического знания; способность производить переход между различными уровнями, выявляя несоответствия в репрезентациях, не обращая внимания на нерелевантную информацию, и сосредотачиваться только на релевантной; умение строить подходящие репрезентации на любом уровне (макро, микро, символьном) в соответствии с заданными целями.

7. Химики в своей работе анализируют взаимодействие частиц микроуровня с помощью наблюдения за химическими явлениями на макроуровне, а затем переводят эти взаимодействия в химические уравнения и репрезентации. Эта триплетная природа химии требует от специалистов постоянного перехода между микро-, макро- и символьным уровнями, а также понимания представлений в разных масштабах для решения профессиональных задач.

ГЛАВА 3. СРАВНЕНИЕ СТРАТЕГИЙ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ НА ИДЕНТИФИКАЦИЮ МОЛЕКУЛ ВЕЩЕСТВА СПЕЦИАЛИСТАМИ-ХИМИКАМИ С РАЗНЫМ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫМ ОПЫТОМ

3.1. Схема проведения и обоснование эмпирического исследования по сравнению эффективности когнитивных стратегий решений задач на идентификацию вещества специалистами-химиками с разным профессиональным опытом

По результатам анализа литературных источников, нами была построена схема проведения эмпирической части диссертационного исследования.

Этап 1. Анализ профессиональной деятельности химиков. На первом этапе были привлечены эксперты в области химии для определения набора профессионально значимых задач. На основе анализа профессиональной деятельности химиков-технологов были выявлены те задачи, которые являются наиболее важными для эффективной работы (Таблица 4).

Таблица 4 - Задачи, выполняемые испытуемыми в процессе профессиональной деятельности

Направления работ	Задачи	Необходимые компетенции
Моделирование химико-технологических процессов	Проектирование, разработка, анализ химического процесса. Мониторинг функционирования технологической схемы в реальных условиях. Нахождение и разработка оптимальных параметров работы химического производства.	<ul style="list-style-type: none"> - Знание химических и физических свойств компонентов и смесей, реакций и моделей технологии, которые в сочетании позволяют вычислять свойства процесса. - Перевод технологии получения нового продукта с химического языка (символьного представления в виде формул) на язык производства (символьного представления в виде схемы). - Разработка исходных данных на проектирование, технологических регламентов, составление инструкций, которые включают последовательность операций, используемое сырье, условия химических реакций. - Составление технических отчетов с подробным описанием использованной технологии.
Модернизация химико-технологических процессов	Разработка технологий получения новых химических продуктов и композиций.	<ul style="list-style-type: none"> - Анализ связи структуры химических продуктов и веществ с их химическими и физическими характеристиками. - Поиск и синтез веществ и материалов, обладающих заданными свойствами.

	Совершенствование существующих на предприятии технологий.	<ul style="list-style-type: none"> - Проведение исследований по разработке новых, совершенствованию существующих технологических процессов и продуктов. - Описание процесса получения химического соединения (продукта) через химические формулы, уравнения реакций. - Внедрение разработанного или модифицированного продукта в производство.
--	---	---

Была проведена интерпретация особенностей труда химиков-технологов с целью разработки адекватных методов оценки показателей их деятельности и определения конкретных свойств профессиональной деятельности химиков, связанных с особенностями психических механизмов реализации профессиональных функций. Их обобщение приведет к выделению принципиальных свойств деятельности, которые раскрывают ее главные, ключевые аспекты и сущностное своеобразие в целом (Костин, Голиков, 2014). В нашей работе мы будем анализировать химиков-технологов (см. Раздел 2.1).

Основная задача химиков-технологов – технологическое сопровождение химических производств с целью их оптимизации (снижения издержек, увеличения выхода готового продукта). Для этого они осуществляют постоянный мониторинг процесса производства химических продуктов: ведут контроль параметров стадий производства, расхода сырья, правильности работы оборудования, химико-технических характеристик сырья, промежуточных веществ, готовых продуктов.

При малейших отклонениях по любому параметру химик-технолог обязан в кратчайшие сроки выдать рекомендации и заключения по корректирующим мероприятиям, которые необходимо реализовать. Мероприятия могут включать в себя химические составляющие (разработка корректировок условий реакций, замены некоторых видов сырья, добавок, катализаторов), технические составляющие (изменение схем, потоков полупродуктов, обвязки оборудования).

Кроме того, на крупных химических предприятиях химики-технологи занимаются разработкой новых химических соединений или композиций веществ с определенными потребительскими свойствами, разработкой технологии получения новых химических продуктов и композиций (подготовка сырья, синтез химического продукта, выделение его из реакционной массы, очистка), совершенствованием существующих технологий с целью увеличения выхода основного вещества,

снижения затрат, улучшения химических и потребительских свойств (путем улучшения технологии, замены дорогостоящего или дефицитного сырья на новое), разработкой способов переработки и использования побочных продуктов реакции. Как правило, каждый специалист отвечает за несколько задач. Часто задачи пересекаются между собой, поэтому высококвалифицированному специалисту необходимо быть в курсе всех этапов.

Нами были выделены основные профессиональные задачи: необходимость использовать информацию, закодированную в рамках химической системы в виде формул, графиков, схем, уравнений реакций и необходимость анализировать формулы веществ для последующей работы с ними. Химики-технологи участвуют в составлении исходных данных на проектирование процесса, технологических регламентов. Технологический регламент – основной документ, описывающий процесс, правила, порядок получения химического продукта, который химики-технологи используют в своей работе. Именно поэтому для разработки эмпирического пакета были использованы тексты технологических регламентов.

Этап 2. Разработка методического материала. На втором этапе мы выделили два основных типа задач, с которым сталкиваются все химики в своей работе: 1) задачи, связанные с анализом и чтением результатов определения молекулярного состава веществ и 2) задачи, связанные анализом, разработкой и использованием технологических схем и регламентов производства. Именно поэтому данные задачи послужили основой для разработки стимульного материала. Мы создали такой стимульный материал, который позволит смоделировать решение трудовых задач химиков. В диссертационном исследовании мы ставим перед собой задачу выделить не индивидуально изменчивые, а инвариантные характеристики стратегии решения задач для химиков-технологов, которые в современных условиях должны выполнять комплексные задачи, включающие разработку продукта, создание технологической схемы и поддержание ее функционирования.

На этапе выбора психического и психофизиологического процесса, связанного с деятельностью, были выбраны показатели глазодвигательной активности, самоотчеты испытуемых. Следующий этап – формирование психологических индикаторов деятельности. В нашем случае под «деятельностью» мы будем понимать процесс решения профессиональных задач. Были

сформированы такие индикаторы деятельности как правильность решения задачи, а также регистрируемые показатели глазодвигательной активности.

Этап 3. Подбор групп испытуемых. На данном этапе были отобраны две группы испытуемых. В первую группу вошли начинающие химики с небольшим стажем работы (до 2 лет). Во вторую группу вошли химики-технологи с большим профессиональным опытом (от 10 лет). В исследовании приняли участие химики, работающие на крупных химических предприятиях. При этом были отобраны специалисты, занимающие разные должности: инженеры-химики, инженеры-технологи, специалисты и ведущие специалисты-химики – в количестве 77 человек. Это специалисты, которые понимают специфику происходящих в цехах химических процессов на высочайшем уровне и способны управлять ими.

Мы намеренно не привлекали респондентов, занимающих позиции инженеров-конструкторов, инженеров по технике безопасности и охране труда, так как их трудовая деятельность лишь немного связана с химией несмотря на то, что они работают также на химических предприятиях.

Этап 4. Проведение эмпирической части исследования. Эксперимент № 1 посвящен изучению стратегий решения профессиональных задач на идентификацию трехмерных молекул вещества специалистами с разным уровнем профессионального опыта. Было рассмотрено, насколько эффективно начинающие и опытные специалисты осуществляют переход между разными типами химического материала. Исходя из проанализированной литературы, мы пришли к выводу, что микроуровень химического знания представляет сложность для начинающих специалистов в области химии. Также, проведя обзор научных исследований в данной области, мы пришли к выводу, что у химиков могут возникать сложности при переходе от изображения молекулы вещества к ее словесным и формульным обозначениям. Одной из задач нашего исследования было определить, связаны ли возникающие сложности с уровнем профессионального опыта. Кроме того, мы ставили задачу понять, какие когнитивные операции включены в решение задач с графическими репрезентациями разного уровня.

Эксперимент № 2 посвящен анализу чтений текстов химических регламентов и решению схематических задач, основанных на текстах, специалистами в области химии с разным уровнем профессионального опыта. Е. В. Волкова, выделяя этапы

формирования ментальных структур, указывает последним (пятым) этапом – формирование схем технологического процесса, на котором организуется деятельность по анализу химических технологий (Волкова, 2002). Трансформирование химических уравнений реакций в технологические схемы и обратно имеет прикладное значение. Работая как на производстве, так и в лаборатории, грамотный химик должен контролировать процесс, проверять соответствие технологических схем регламентам и проектам, вносить предложения по совершенствованию процесса, быстро находить и корректировать ошибки.

Этап 5. Анализ и обобщение полученных данных. На заключительном этапе были проанализированы полученные в экспериментах данные и произведены необходимые выводы.

3.2. Цель, задачи и гипотезы эксперимента

Во многих исследованиях большое значение уделяется визуальным репрезентациям микроуровня химического знания. К примеру, Г. Читлборо и Д. Трегуст (Chittleborough, Treagust, 2008) обнаружили большие различия в способности студентов интерпретировать репрезентации на макро- и микроуровнях. В их исследовании было показано, что для студентов младших курсов наибольшую сложность представляют изображения молекул на микроуровне, при том, что учащиеся осознавали важность освоения и использования внешних репрезентаций этого уровня.

В исследовании Д. Мулфорда и В. Робинсона (Mulford, Robinson, 2002) был разработан инструмент оценки знаний микроуровня в области химии студентов первого семестра. В качестве стимульного материала использовались условные изображения взаимодействия молекул двух или более веществ (например, одно из заданий иллюстрировало взаимодействие серы и кислорода с образованием триоксида серы). Данные изображения представляли собой репрезентации микроуровня. После изучения визуального материала студентам необходимо было выбрать верную репрезентацию из нескольких предложенных – необходимо было выбрать то вещество, которое образовалось в ходе химической реакции. Оказалось, что только 20% испытуемых могли выбрать верное изображение молекул SO_3 , при этом две трети из верно ответивших испытуемых выбирали репрезентацию, основываясь на подсчете частиц в молекуле. В схожем эксперименте Б. Давидович

и Г. Читлборо (Davidowitz, Chittleborough, 2009) было продемонстрировано, что 27% студентов смогли изобразить верную визуальную репрезентацию, иллюстрирующую продукт реакции, и только 19% из верно ответивших дали ответ на основе количества частиц в молекуле вещества.

Одной из задач первого эксперимента является определение того, используют ли испытуемые при анализе репрезентаций микроуровня стратегию подсчета количества атомов в молекуле вещества.

Выбор стимульного материала был определен спецификой записи молекул веществ. Изображения молекул могут быть записаны в различных вариантах (Габриелян, 2008): в форме структуры Льюиса, в виде шаростержневой модели, в форме пространственной (трехмерной) модели, в виде карты электростатического потенциала. Трехмерные (пространственные) модели молекул позволяют наиболее близко к теоретическим моделям строения вещества представлять его состав, взаимное расположение атомов, угол связи и расстояния между атомами (Габриелян, 2008). Данные, которые предоставляет трехмерная молекула вещества, являются наиболее полными и исчерпывающими, поэтому в нашем эксперименте была использована именно эта форма изображения молекул (Блинникова, Ишмуратова, 2019).

Данный эксперимент был проведен для достижений двух **целей**:

- 1) методической – разработать методический материал для определения эффективности стратегий решения профессиональных задач;
- 2) исследовательской – определить различия в способах решения задач идентификации трехмерной формулы вещества между специалистами в области химии с разным уровнем профессионального опыта.

Задачи исследования

1. Разработать адекватные химические задачи и дизайн исследования для определения различий в способах решения заданий на определение молекулы вещества специалистами химической сферы с разным уровнем профессионального опыта.
2. Провести экспериментальное исследование с участием двух групп испытуемых с разным уровнем профессионального опыта: начинающих химиков и профессионалов (опытных химиков).

3. С помощью применения дисперсионного анализа определить влияние независимой переменной – уровня профессионального опыта – на зависимые переменные: время выполнения заданий, безошибочность выполнения заданий.

4. Сравнить показатели движений глаз начинающих химиков и профессионалов при решении задач на идентификацию молекулы вещества.

5. Провести анализ стратегий решения задач начинающими химиками и опытными химиками с помощью анализа post-hoc интервью, показателей глазодвигательной активности.

6. Определить, используют ли испытуемые при анализе визуальных репрезентаций микроуровня стратегию подсчета количества атомов в молекуле вещества.

Гипотезы исследования

1. Эксперты в области химии будут давать больший процент правильных ответов, затрачивать меньше времени и усилий в задачах на идентификацию трёхмерной молекулы вещества.
2. Глазодвигательные параметры при решении задач на идентификацию вещества различаются у групп с разным профессиональным опытом.
3. Эксперты начинают решение задач с просмотра непосредственно области трехмерного изображения молекулы вещества, а не с области вариантов ответов.
4. Эксперты в области химии в процессе решения задач способны эффективнее формировать и использовать различные формы ментальных репрезентаций компонентов задачи.
5. Можно обнаружить существенные различия в характеристиках стратегий решения задач на идентификацию вещества начинающими химиками и профессионалами.
6. Эксперты в области химии быстрее и точнее осуществляют переход между различными уровнями химического знания (микро- и символьным уровнем). Эксперты в области химии способны более эффективно трансформировать информацию, представленную на разных уровнях химического знания.
7. Способ предъявления ответов в задачах – в виде словесных обозначений и в виде эмпирических формул, будет по-разному влиять на выполнение задач химиками с разным уровнем профессионального опыта.

3.3. Методика эксперимента по сравнению эффективности когнитивных стратегий решений задач на идентификацию вещества специалистами-химиками с разным профессиональным опытом

Испытуемые

В исследовании приняли участие 42 специалиста-химика в возрасте от 20 до 45 лет. Все испытуемые – сотрудники химических предприятий Группы «Оргсинтез» (ПАО «Химпром», АО «Перкарбонат», АО «Волжская перекись»). Испытуемые были разделены на две группы по уровню профессионального опыта (Таблица 5).

Таблица 5 - Описание выборки испытуемых Эксперимента № 1

Группа испытуемых	Количество человек	Средний возраст	Средний стаж работы	Занимаемые должности
Начинающие химики	20	21 год	1 год	Инженер-технолог, инженер-химик, специалист
Опытные химики	22	38 лет	15 лет	Ведущий инженер-технолог, ведущий специалист, химик-эксперт

Первая группа (20 человек) – начинающие химики (студенты старших курсов и выпускники химического факультета Московского государственного университета имени М. В. Ломоносов и РХТУ имени Д. И. Менделеева), работающие на указанных химических предприятиях. Все испытуемые-студенты имели высокие средние баллы по всем учебным предметам в ВУЗе. Стаж работы начинающих химиков варьировался от девяти до восемнадцати месяцев, средний стаж работы – 1 год. Средний возраст – 21 год.

Вторая группа (22 человека) – опытные химики (профессионалы), работающие по специальности на химическом производстве более 10 лет.

Испытуемыми выступили сотрудники, которые зарекомендовали себя как успешные в своей деятельности – информация об этом была получена от руководителей испытуемых. Средний стаж работы химиков-профессионалов – 15 лет. Минимальный стаж работы профессионалов составил 10 лет, максимальный – 17 лет. Средний возраст испытуемых данной группы – 38 лет.

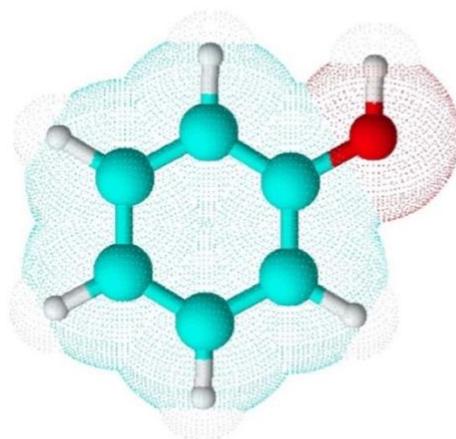
Стимульный материал

Совместно с высококвалифицированными специалистами в области химии было разработано 32 тестовых задания. Каждое тестовое задание представляло собой слайд с изображением трехмерной молекулы химического вещества в левой части монитора и вариантами обозначений данного химического элемента в правой части монитора. Было сконструировано два типа заданий: первый тип включал варианты ответов в виде эмпирических химических формул, второй вариант – в виде словесных обозначений веществ.

Молекулы разных веществ были изображены в 3D-формате. Стимульный материал был создан в программе ChemDraw. ChemDraw — это профессиональный редактор химической графики, который используется для создания и редактирования химических структур и оборудования, для конвертации названия соединения в структуру и обратное название соединения по системе ИЮПАК для проверки химических формул и структур. Данная программа входит в пакет ChemOffice, от CambridgeSoft и используется специалистами-химиками в научно-исследовательской работе.

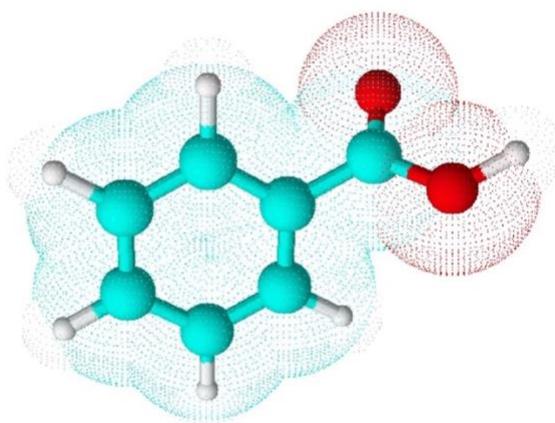
Список возможных обозначений молекулы вещества (варианты ответов) включал десять вариантов, где только один был правильным. Место правильного ответа было рандомным на каждом слайде. Примеры используемых форматов обозначений молекул вещества приведены на Рисунке 5 и Рисунке 6.

Последовательность стимулов состояла из 32 слайдов. Для построения ряда стимулов был использован алгоритм случайных чисел.



C_6H_5CHO	1
$C_6H_5NO_2$	2
$C_6H_6Cl_6$	3
C_6H_5COOH	4
$C_6H_{10}O$	5
$C_6H_5CH_3$	6
$C_6H_{11}OH$	7
C_6H_5OH	8
$C_6H_5NH_2$	9
$C_6H_{11}NH_2$	10

Рисунок 5 - Пример используемого в эксперименте слайда
(формульная запись ответов)



Бензамид	1
Фенол	2
Хлорбензол	3
Фенилтрихлорсилан	4
Циклогексанкарбоновая кислота	5
Метилциклогексан	6
Метилфенилкетон	7
Бензойная кислота	8
Бензиловый спирт	9
Толуол	10

Рисунок 6 - Пример используемого в эксперименте слайда
(словесная запись ответов)

Процедура проведения эксперимента

Перед началом эксперимента была проведена калибровка оборудования, затем испытуемым давалась инструкция и ознакомительное задание. После ознакомительного задания была предъявлена экспериментальная серия из 32 слайдов с задачами. В задачах испытуемым предлагалось внимательно рассмотреть трехмерную (пространственную) модель молекулы вещества, изображенную в левой части экрана, после чего кликнуть мышью на тот вариант ответа в правой части экрана, который они считают верным (полный текст инструкции приведен в Приложении А). Затем испытуемый должен был, нажав клавишу «пробел», перейти к выполнению заданий. Время на выполнение каждого задания не было ограничено. Слайды предъявлялись испытуемым последовательно. Переход к следующему слайду осуществлялся испытуемым с помощью нажатия на клавишу «пробел» на клавиатуре. Время выполнения всей серии заданий одним испытуемым варьировалось в промежутке от 20 до 50 минут.

Кроме того, был применен метод *posthoc*-интервью. После завершения экспериментальных серий, испытуемым был задан вопрос «Пожалуйста, опишите, как вы решали задачи». Испытуемые в устной форме давали свои ответы, которые фиксировались экспериментатором в протокол ответов.

Оборудование и программное обеспечение

Эксперимент был разработан и проведен с использованием оборудования и программного обеспечения фирмы *SensoryMotoricInstruments (SMI)*. Предъявление стимулов осуществлялось с помощью ЖК-монитора, расположенного на расстоянии 60–65 см от испытуемого, разрешение экрана 1280*1024, точность определения направления взора 0.4°, стабильность 0.03°. Создание эксперимента проводилось в программной среде *SMI ExperimentCenter*. Регистрация движений глаз осуществлялась с помощью системы бесконтактной видеорегистрации движений глаз *SMI Hi-Speed* с частотой 1250 Гц с использованием опоры для подбородка.

Регистрируемые показатели

В эксперименте регистрировались:

I – показатели успешности решения задач, такие как время выполнения задачи, количество правильных ответов, время первого ответа;

II – показатели оculoмоторной активности: количество, частота и

длительность фиксации; количество, частота, скорость и амплитуда саккад, «путь сканирования» («scanpath»), частота и длительность морганий;

III – интегративные показатели окуломоторной активности: время пребывания в выделенных областях интереса (AOI), количество переходов между областями интереса.

Все показатели фиксировались автоматически с помощью программы Experimentre Centre.

Статистическая обработка данных проводилась с помощью пакета IBM SPSS Statistics 21 и программного обеспечения BeGaze3.0. Использовался дисперсионный анализ данных (ANOVA). В программе BeGaze был установлен минимальный порог фиксации 50 мс, максимальная дисперсия – 50 пикселей (параметры детекции, описанные как оптимальные при разрешении экрана 1280×1024 точек) (согласно данным о параметрах минимального порога фиксации и максимальной дисперсии, используемым в современной литературе (Барабанчиков, Жегалло, 2013)).

3.4. Результаты сравнения эффективности когнитивных стратегий решений задач на идентификацию вещества специалистами-химиками с разным профессиональным опытом

Анализ эффективности выполнения заданий

Для анализа эффективности выполнения задач были проанализированы показатели времени и правильности выполнения задач, а также показатели операциональной напряженности.

Время выполнения. Опытные химики выполняли задания значительно быстрее, чем новички: новички в среднем решали задачи за 43,4 с (стандартное отклонение 10,8 с), эксперты за 27,7 с (стандартное отклонение 6,9 с) ($F(1,41)=152,08$; $p<0,01$). Были обнаружены значимые различия между группами опытных химиков и начинающих химиков во времени выполнения обоих типов заданий: при решении задач со словесным представлением формул и при решении задач с эмпирическими формулами. Химики с большим опытом выполняли задания значительно быстрее, чем начинающие химики. При этом для профессионалов разница между временем решений заданий с формульным и словесным обозначением вариантов ответов была

незначимой. Для начинающих химиков разница между временем решений заданий с формульным и словесным обозначением вариантов ответов оказалась статистически значимой: задания с формульным обозначением вариантов ответов новички решали быстрее (Рисунок 7) (Блинникова, Ишмуратова, 2019).

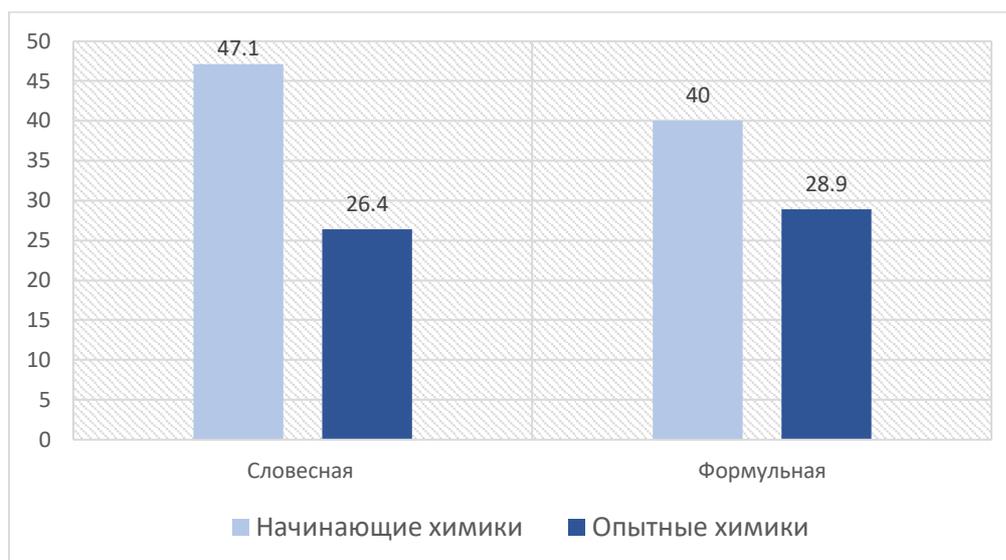


Рисунок 7 - Время выполнения задачи начинающими и опытными химиками в разных типах стимульного материала (с)

Количество правильных ответов. Был рассчитан процент правильных ответов, которые давали испытуемые. Обнаружено, что профессионалы в целом давали статистически значимо большее количество правильных ответов во всех типах заданий ($F(1,41)=29,85, p<0,01$): в среднем эксперты решали верно 31 задачу из 32, а новички – 28 из 32 задач. Также было рассчитано количество правильных ответов в задачах с формульной и словесной записью вариантов ответов (Рисунок 8).

Оказалось, что группы значимо не различались по количеству правильных ответов в задачах с формульным обозначением вариантов ответов (начинающие химики в среднем давали 15,3 правильных ответов, опытные химики – 14,8). Были обнаружены статистически значимые различия между группами по количеству правильных ответов в задачах со словесным обозначением вариантов ответов ($F(1,41)=29,85, p<0,01$): эксперты давали большее количество верных ответов (в среднем около 15,7, в то время как новички – 13).

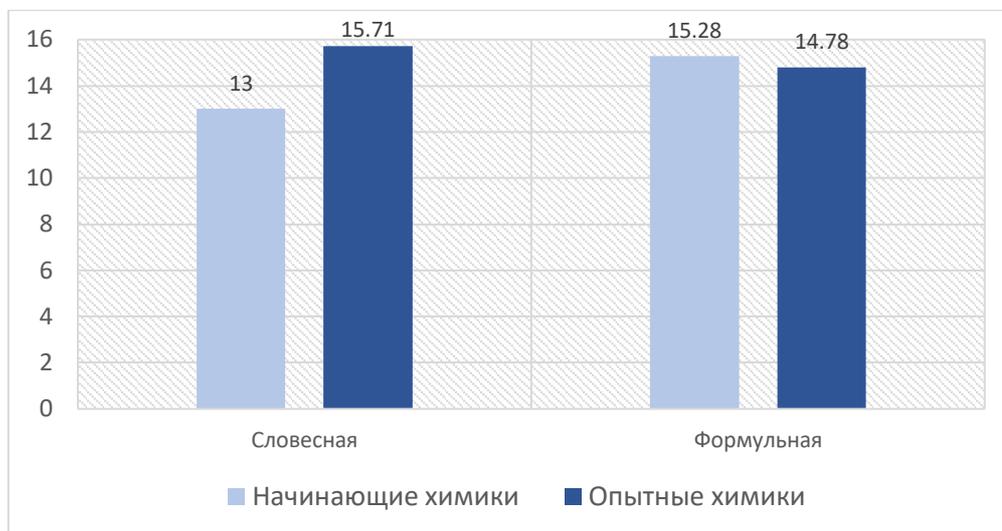


Рисунок 8 - Среднее количество правильных ответов начинающих и опытных химиков, баллы (максимальное количество баллов – 16)

Таким образом, можем сделать вывод о том, что профессионалы одинаково эффективно решали как задачи со словесной записью ответов, так и с формульной. Для начинающих химиков задачи со словесной записью ответов представляли большую сложность. Этот результат, на наш взгляд, является очень важным. Он свидетельствует о том, что у начинающих специалистов недостаточно сформированы когнитивные умения перехода между визуальными представлениями разного типа. Дело в том, что химические формулы в определенной степени повторяют структуру молекулы. Испытуемым, обладающим хорошими знаниями в области химии, не составляет труда соотнести трехмерное изображение молекулы с формулой. Гораздо труднее сопоставить изображение с названием вещества. По всей вероятности, именно это приобретается с накоплением профессионального опыта – более легкий переход между визуальными представлениями разного вида и ментальными репрезентациями. Похожие данные были получены в ряде работ (Cheng, Gilbert, 2009; Kozma, Russell, 1997), где также было продемонстрировано, что начинающие специалисты сталкиваются с трудностями при необходимости соотнесения разных типов представления знаний (Блинникова, Ишмуратова, 2019).

В целом полученные данные о времени решения и количестве правильных ответов демонстрировали то, что в литературе получает название «превосходство экспертов». Эксперты быстрее ориентировались, быстрее решали и делали меньше ошибок. Это подтверждало результаты, полученные в исследованиях экспертов и новичков в области химии (Tang, Pienta, 2012). Однако особенности предложенной

нами задачи позволили установить не только факт превосходства более опытных специалистов, но и раскрыть природу этого превосходства.

Сравнение показателей движений глаз экспертов и новичков по всей области задачи

С помощью применения дисперсионного анализа сравнивались показатели глазодвигательной активности обеих групп испытуемых: начинающих химиков и опытных химиков (Таблица 6).

Таблица 6 - Основные показатели движений глаз по всем слайдам

Показатель	Начинающие химики	Опытные химики	F (1,41)	p
Средняя длительность фиксации*, мс	248,54 (36,6)	236,33 (49,01)	24,29	<0,01
Средняя скорость саккад*, градусы	95,44 (29,61)	81,28 (23,07)	5,6	<0,01
Средняя амплитуда саккад*, градусы	5,22(1,5)	4,09 (1,14)	23,27	<0,01
Средняя длительность морганий	195,0 (40,77)	194,84 (48,24)	0,004	0,951
<i>Знаком * отмечены показатели, которые статистически значимо различаются</i>				

Ряд показателей – количество фиксаций, саккад, общая длительность фиксаций и саккад – был связан со временем выполнения заданий. Поскольку начинающие химики выполняли задание дольше, все перечисленные показатели имели у них более высокие значения. Интереснее было рассмотреть показатели, которые не были напрямую связаны с общим временем выполнения задания и могли свидетельствовать об особенностях когнитивной обработки. Мы обнаружили значимые различия ($p < 0,01$) между опытными и начинающими химиками по средней длительности фиксаций и саккад, а также по средней скорости и амплитуде саккад.

Этот результат представляет интерес для анализа. То, что эксперты решают задачи за счет менее длительных фиксаций, регистрируется в большинстве исследований. Считается, что более продолжительные фиксации свидетельствуют о более длительной информационной переработке, затрате больших усилий,

установлении большего количества связей (Holmqvist et al., 2015). С приобретением опыта, с развитием профессиональных навыков это время сокращается. Это получает название «информационная редукция» или «сокращение информационной обработки» (Haider, Frensch, 1999). По все вероятности, за этим стоит более экономное расходование ресурсов и игнорирование заведомо ненужных связей.

Были обнаружены значимые различия ($p < 0,01$) по следующим показателям: средняя длительность фиксаций, средняя длительность саккад, средняя скорость саккад, средняя амплитуда саккад (Блинникова, Ишмуратова, 2019).

Любопытным является то, что в данном типе задач у экспертов регистрируются более короткие и медленные саккады. Это говорит о том, что они применяют сознательно контролируруемую стратегию последовательно организованного анализа. Эти данные согласуются с рядом других результатов, полученных в некоторых исследованиях когнитивных особенностей химиков. В частности, в работе С. Хансен было показано, что решение задач на поэтапный анализ веществ улучшается при более точном и подробном проговаривании последовательности решения (Hansen, 2014). Однако они не согласуются со многими результатами, демонстрирующими, что опыт приводит к более холистическому обобщенному анализу, что экспертам нужно «бросить только один взгляд на задачу» (Charness et al., 2001; Rayner, Slattery, 2009). По всей вероятности, предложенное нами задание не позволяет использовать «гештальт-стратегию»: для правильной идентификации требуется поэлементно учитывать количество атомов и их связи (Блинникова, Ишмуратова, 2019). Стоит подумать о том, что «преимущество экспертов» связано с умением выбора оптимальной стратегии для конкретных ситуаций. Об этом свидетельствует и демонстрация более высокого уровня осознанности профессиональной деятельности, присущей высококвалифицированным специалистам (Матюшин, Сорокина, Блинникова, 2018) и более активное использование экспертами метакогнитивных стратегий (Кукушкина, Спиридонов, 2008).

Анализ показателей движений глаз экспертов и новичков в областях интереса

Для проведения развернутого анализа технология регистрации движений глаз предполагает выделение «областей интереса» (areas of interest, AOI) – области

стимульного материала, значимые в той или иной степени для выполнения задачи, которые исследователь выделяет в соответствии с условиями поставленной задачи (Блинникова, Ишмуратова, 2019). С целью выявления стратегий поиска правильных решений у специалистов с разным профессиональным опытом мы обозначили две «области интереса»: первая – трехмерное изображение молекулы химического вещества в левой части слайда, вторая – варианты ответов в правой части слайда (Рисунок 9).

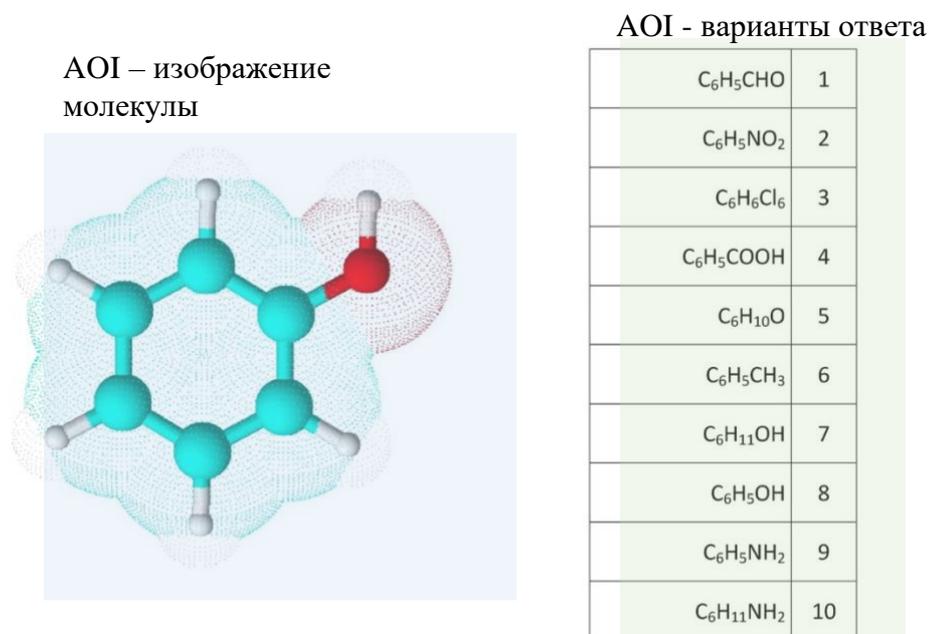


Рисунок 9 - Расположение зон интересов на стимульном материале

В нашем случае зоны не отличались по релевантности относительно решения поставленной задачи. Обе они содержали необходимую, но разную информацию. Нам было интересно проанализировать, как распределяются когнитивные усилия экспертов и новичков относительно разных областей решения задачи (Блинникова, Ишмуратова, 2019). Поэтому отдельные показатели глазодвигательной активности были подсчитаны относительно каждой области интереса, а затем по ним мы сравнили испытуемых с разным профессиональным опытом. Данные о значимо различающихся показателях представлены в Таблице 7.

Таблица 7 - Показатели глазодвигательной активности в зоне интереса «изображение молекулы» и «варианты ответов»

Показатель	Начинающие химики (ст.откл)	Опытные химики (ст.откл)	F (1,41)	p
Область интереса – «варианты ответов»				
Средняя продолжительность фиксаций*, мс	268,85 (55,49)	249,84 (43,63)	44,16	<0,01
Длительность первой фиксации, мс	225,25 (104,58)	205,67 (107,95)	10,34	<0,01
Область интереса – «изображение молекулы»				
Средняя продолжительность фиксаций*, мс	196,99 (38,19)	223,01 (68,86)	66,49	<0,01
Длительность первой фиксации, мс	183,99 (93,55)	194,17 (106,85)	3,13	0,08
<i>Знаком * отмечены показатели, которые статистически значимо различаются</i>				

Область интереса – «варианты ответов». Проведен дисперсионный анализ с выделением независимых переменных (группа испытуемых, области интереса – «варианты ответов» и «изображение») и зависимых переменных (показатели окулomotorной активности). Был выявлен ряд статистически значимых различий между группами начинающих и опытных химиков (Таблица 7). Обнаружены значимые различия между группами в области интереса «варианты ответов» по показателю средней длительности фиксаций ($F(1,41)=44,16$, $p<0,01$): начинающим химикам были присущи более длительные фиксации на вариантах ответов. Длительность фиксаций при чтении связывают, как правило, с частотой встречаемости слова. Реже встречающиеся слова требуют более длительной лексической обработки, поэтому фиксации будут более длительными (Rayner, 1998). Это согласуется с полученными в исследовании (Rayner et al., 2012) данными: при чтении сложных текстов по физике и биологии длительность фиксаций у испытуемых возрастала до 260 мс.

Длительность первой фиксации на области ответов также была значимо продолжительнее у начинающих химиков ($F(1,41)=10,34$, $p<0,01$). Длительность первой фиксации при чтении, как правило, связывают с лексической активацией. Считается, что длительность первой фиксации больше при рассматривании сложных, высоко информативных участков (Барabanщиков, Жегалло, 2013).

Соответственно, для новичков представленные варианты ответов представляли большую сложность для анализа, чем для экспертов. Значимые различия между экспертами и новичками были получены по показателю возвратов в каждую область интереса ($F(1,83)=246,91$, ($p<0.01$): новички совершали большее количество возвратов в каждую из областей.

Проанализировано время пребывания в области «вариантов ответов». Были найдены значимые различия между группами по данному показателю: взор новичков гораздо дольше находился в области с вариантами ответов. Взгляд новичков в общей сложности находился в области интереса «варианты ответов» в течение 31,5 секунд, а экспертов – 12,6 секунд. Таким образом, можем сделать вывод о том, что начинающие химики в целом рассматривают область вариантов ответов дольше и совершают более длительные фиксации в данной области.

Область интереса – «изображение молекулы». Проанализированы показатели глазодвигательной активности в области интереса «изображение молекулы» (Таблица 7). Были обнаружены статистически значимые различия между группами по средней длительности фиксаций ($F(1,41)=66,49$, $p<0,01$): группе профессионалов были присущи более продолжительные фиксации на области с трехмерным изображением молекулы вещества. Длительность первой фиксации на области интереса «изображение молекулы» значимо не различалась между группами (Рисунок 10).

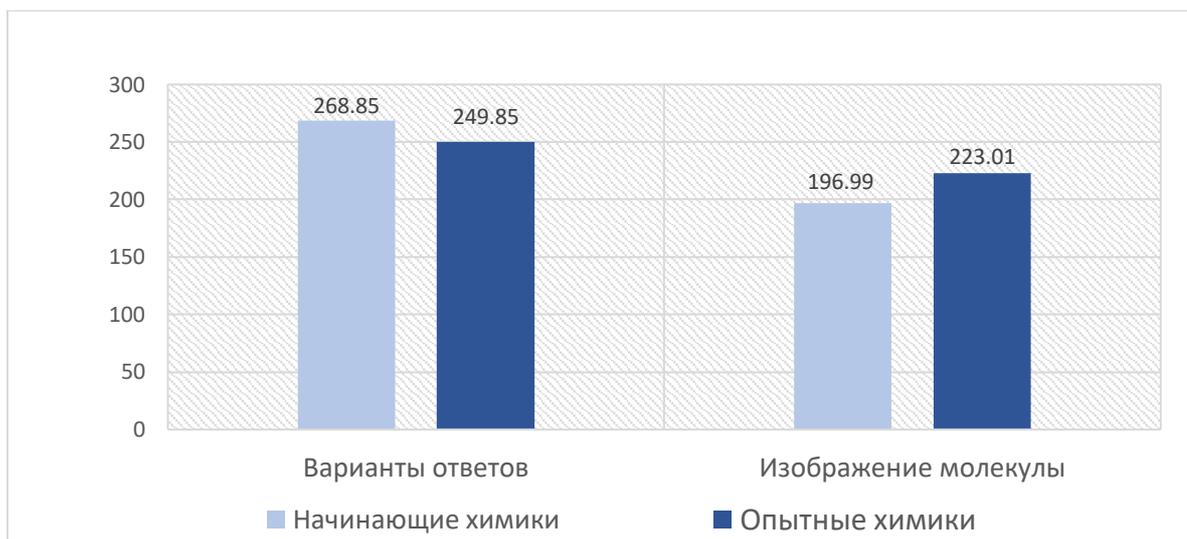


Рисунок 10 - Средняя длительность фиксаций начинающих и опытных химиков на разных областях интереса, мс

Также статистически значимо различалось общее время пребывания в области интереса «изображение молекулы»: взгляд опытных химиков дольше находился в данной области – в среднем около 14,2 секунд, у начинающих – в течение 9,6 секунд.

Статистически значимые различия между экспертами и новичками были получены по показателю возвратов в области интересов ($F(1,83)=246,91$, ($p<0.01$): новички совершали большее количество возвратов в каждую из областей.

Таким образом, проведя анализ глазодвигательной активности в области интереса «изображение молекулы» можем сделать вывод о том, что профессионалы оценивали данную область как релевантную, поэтому их взгляд большую часть времени решения задания находился в этой области. Более длительные фиксации экспертов в данной области также свидетельствуют о том, что они определяли ее как более информативную и требующую тщательного анализа (Рисунок 11, Рисунок 12).

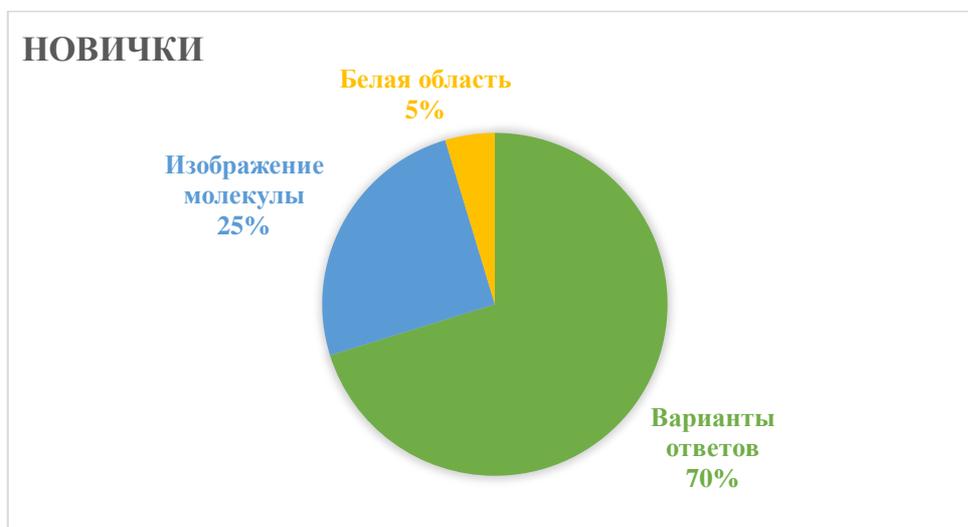


Рисунок 11 - Распределение времени пребывания взора начинающих химиков в выделенных областях интереса, проценты

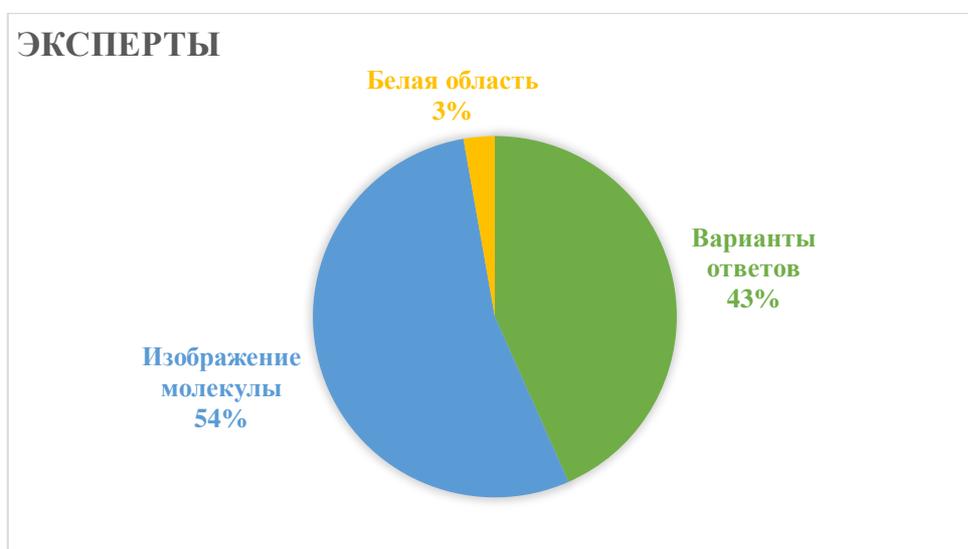


Рисунок 12 - Распределение времени пребывания взора опытных химиков в выделенных областях интереса, проценты

Анализ решения задач с разной записью вариантов ответа

Задачи с формульным обозначением. В нашем исследовании использовались два типа задач, в которых варьировался способ написания вариантов ответов. В первом типе задач использовалось формульное обозначение вариантов ответов – или эмпирическая формула вещества (например, $C_6H_{10}O$), во втором – словесное (например, фенилтрихлорсилан).

Для начала рассмотрены задачи с формульным обозначением вариантов ответов.

В Таблице 8 приведено сравнение показателей окулomotorной активности групп опытных и начинающих химиков в выделенных областях интереса: зоне «варианты ответов» и зоне «изображение молекулы» в задачах с формульным обозначением вариантов ответов. Анализ проводился по пробам, отбракованные пробы были исключены из анализа.

В области интереса «варианты ответов» были обнаружены статистически значимые различия между группами начинающих и опытных химиков по показателю «средняя длительность фиксации»: у начинающих химиков средняя длительность фиксации была больше, чем у опытных ($F(1,628)=18,39$, $p<0,01$). Длительность первой фиксации также была значимо больше у начинающих ($F(1,628)=11,98$, $p<0,05$). Группы значимо различались по времени пребывания в области интереса «варианты ответов». Взор начинающих химиков гораздо дольше

находился в данной области: они в среднем рассматривали данную зону в течение 28,9 секунд, в то время как взгляд профессионалов находился в данной области в среднем в течение 14,6 секунд. В исследовании Райнера (Rayner, 1998) было показано, что в экспериментах с чтением текстов, больший процент пребывания в зоне интереса свидетельствует о том, что текст может быть незнакомым, или в нем содержатся низкочастотные слова.

Таблица 8 - Результаты сравнения групп по областям интересов «варианты ответов» и «изображение молекулы» (формульное обозначение вариантов ответов)

Показатель	Начинающие химики (ст.откл)	Опытные химики (ст.откл)	F (1,628)	p
Область интереса – «варианты ответов»				
Средняя длительность фиксации*, мс	284,12 (59,28)	266,57 (41,94)	18,39	<0,01
Длительность первой фиксации*, мс	244,35 (106,51)	212,98 (120,50)	11,98	<0,05
Область интереса – «изображение молекулы»				
Средняя длительность фиксации*, мс	194,29 (39,55)	215,04 (69,16)	21,36	<0,01
Длительность первой фиксации*, мс	166,81 (84,57)	189,91(110,41)	8,69	<0,01
<i>Знаком * отмечены показатели, которые статистически значимо различаются</i>				

В области интереса «изображение молекулы» также были найдены значимые межгрупповые различия. Было обнаружено, что у экспертов средняя длительность фиксации была значимо больше, чем у новичков ($F(1,628)=21,36$, $p<0,01$). Длительность первой фиксации у экспертов также была значимо больше ($F(1,628)=8,69$, $p<0,05$). Время пребывания в области интереса «изображение молекулы» значимо различалось у групп: взгляд экспертов находился в данной области дольше, чем взгляд новичков. Взор экспертов в среднем находился в зоне изображения молекулы в течение 13,3 секунд, новичков – 9 секунд.

Задачи со словесным обозначением. Рассмотрены показатели глазодвигательной активности в задачах, где варианты ответов были записаны словесно (Таблица 9). Анализ проводился по пробам, отбракованные пробы были исключены из анализа.

Таблица 9 - Результаты сравнения групп по областям интересов «варианты ответов» и «изображение молекулы» (словесная запись вариантов ответов)

Показатель	Начинающие химики (ст.откл)	Опытные химики (ст.откл)	F (1,586)	p
Область интереса – «варианты ответов»				
Средняя длительность фиксации*, мс	252,49 (45,88)	231,92 (37,96)	35,10	<0,01
Длительность первой фиксации, мс	204,78 (98,62)	197,83 (92,21)	0,78	0,38
Область интереса – «изображение молекулы»				
Средняя длительность фиксации*, мс	199,89 (36,54)	231,56 (67,62)	49,92	<0,01
Длительность первой фиксации мс	202,39 (99,2)	198,73 (102,9)	0,193	0,66
<i>Знаком * отмечены показатели, которые статистически значимо различаются</i>				

Обнаружены значимые различия по средней длительности фиксации на области интереса «варианты ответов» ($F(1,586)=35,10$, $p<0,01$): начинающим химикам были присущи более длительные фиксации. Значимых различий в области интереса «варианты ответов» по показателю «длительность первой фиксации» не было выявлено. Были обнаружены значимые различия по общему времени пребывания в области интереса «варианты ответов»: взор новичков в среднем пребывал в области интереса «варианты ответов» в течение 34,4 секунд, в то время как взор экспертов – 10,4 секунд. Таким образом, начинающие химики в среднем пребывали 70 процентов всего времени решения задания на области с вариантами ответов, у профессионалов данный показатель был на уровне 38 процентов.

В области интереса «изображение молекулы» также были обнаружены значимые различия по некоторым показателям. Группы различались по показателю «средняя длительность фиксации» ($F(1,586)=49,92$, $p<0,01$): профессионалам были присущи более продолжительные фиксации на данной области. В другом типе заданий с формульным обозначением вариантов ответов были получены схожие данные: у профессионалов были более длительные фиксации на области интереса «изображение молекулы». Различий по длительности первой фиксации не обнаружено. Группы статистически значимо различались по времени пребывания в области интереса «изображение молекулы»: взгляд экспертов находился в данной области дольше, чем взгляд новичков (15,2 секунды против 10,3 секунды).

Анализ передвижений взора начинающих и опытных специалистов между разными областями задачи

Отдельно выделим показатель «количество возвратов в область интереса». Данный показатель, как правило, одинаков для выделенных областей интереса, но в силу того, что испытуемые начинали решение задач из разных областей зрительного поля, в данном эксперименте он незначительно различается для областей «варианты ответов» и «изображение молекулы». Для обеих областей интереса показатель значимо различается у групп новичков и экспертов: у новичков в среднем было около 14 возвратов в каждую из областей, у экспертов – около 5. Большое количество перемещений, как правило, говорит о слабой ориентировке в материале.

В аналогичном исследовании М. Рау, Д. Микаэлис, Н. Фэй (Rau, Michaelis, Fay, 2015) с использованием визуальных представлений микроуровня было продемонстрировано, что большее количество переходов между визуальными представлениями свидетельствует о том, что студент не может успешно интегрировать визуально представленную информацию. Большое количество переходов также является следствием поверхностной обработки информации и является индикатором того, что испытуемый не знает, на чем сосредоточить свое внимание.

На следующем этапе был проведен качественный покадровый анализ решения с целью идентификации когнитивных стратегий химиков с разным уровнем профессионального опыта при решении химических задач (Рисунок 13). Проанализированы пути сканирования (scanpath) новичков и экспертов. Scanpath – хронологическая карта движений глаз, включающая все фиксации и саккады. Анализ перемещений взора подтвердил существование двух различных по эффективности стратегий решения задач.

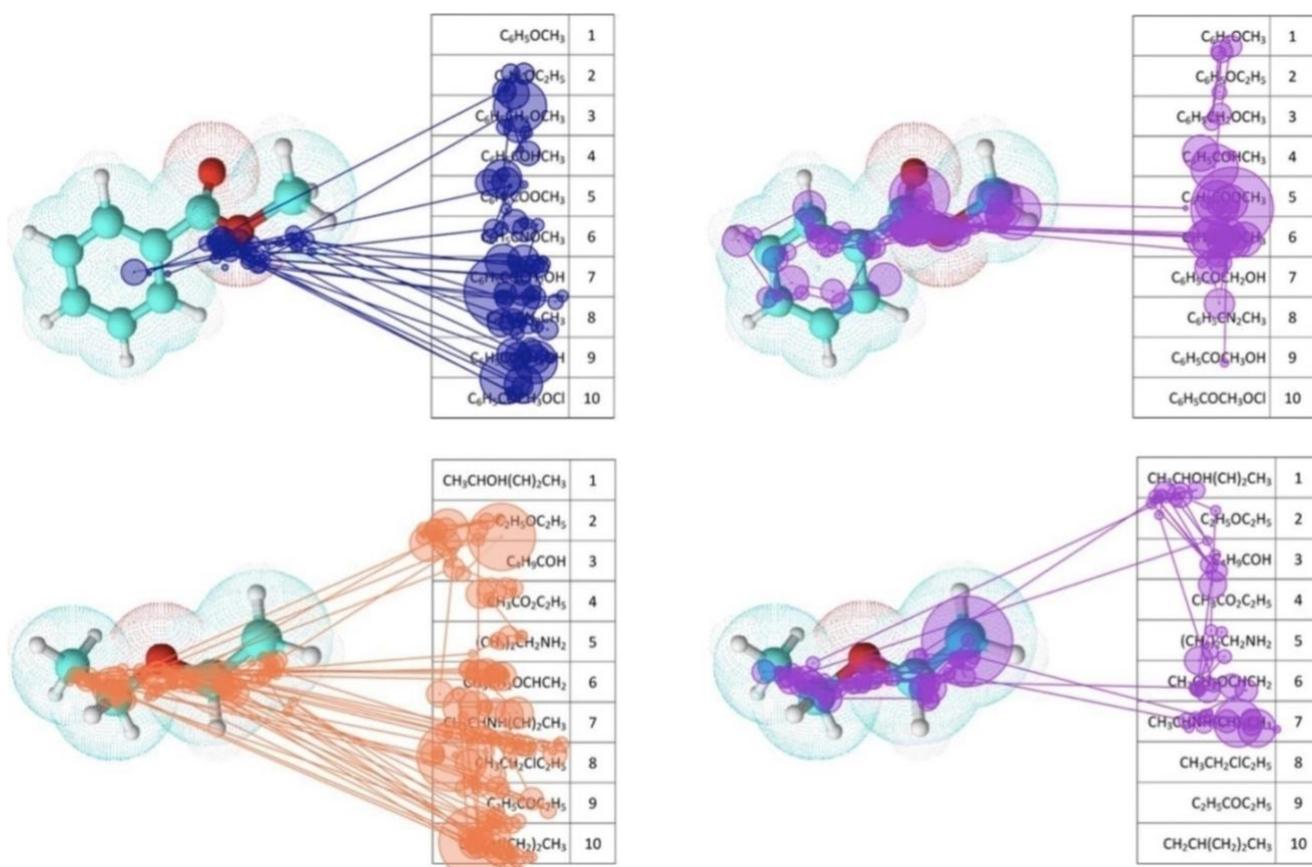


Рисунок 13 - Scanpath начинающих химиков (слева) и опытных химиков (справа) при решении задач

Начинающие химики проводили больше времени на области интереса с представленными вариантами ответа. Они останавливали взор на каждом варианте. Им было присуще также большее количество перемещений между областями интереса (около 12-13 перемещений), а именно, между пространством вариантов ответа и изображением вещества, многократное возвращение к рассмотренным вариантам ответа. Было очевидно, что они используют способ решения задачи, аналогичный тому, который известен под названием «метод проб и ошибок». Двигаясь вдоль списка ответов, они сличают, соответствует тот или иной вариант изображенной слева молекуле. В этом случае речь идет об исчерпывающем поиске. Более того, мы в данном случае наблюдаем «эффект перепроверки», сходный с тем, который был выявлен при сравнении стратегий чтения профессиональных текстов (Блинникова, Ишмуратова, 2021а).

Химики с высоким уровнем профессионального опыта проводили больше времени на области с изображением молекулы. Их характерной стратегией было последовательное сканирование изображения молекулы вещества с фиксацией на

каждом атоме. Затем, после тщательного анализа структуры молекулы, эксперты приступали к поиску правильного варианта ответа. После его нахождения в списке профессионалы выбирали этот вариант и переходили к следующему заданию. Другими словами, речь идет о самооканчивающемся поиске. Полученные данные подтверждают ответы испытуемых, данные в ходе устного интервью («я даже не всегда смотрел все варианты ответов, находил правильный и переходил к следующему заданию») (протокол ответов в Приложении Г). Они совершали небольшое количество перемещений между областями интересов (около 5-6 перемещений). Подробно, поatomно изучив изображение молекулы, эксперты определяют вещество и строят её ментальную репрезентацию, и затем, уже не возвращаясь к изображению молекулы, выбирают правильный ответ (Блинникова, Ишмуратова, 2019).

Выявленные стратегии, в целом, соответствуют идеям, предложенным Р. Глэйзером и его коллегами – эксперты в большей степени опираются на уже имеющиеся знания и ментальные репрезентации, в то время как новички используют более поверхностную обработку информации (Chi, Glaser, Rees, 1981).

Анализ post-hoc интервью испытуемых

После прохождения всех экспериментальных серий испытуемые должны были ответить на вопрос, каким образом они решали предъявляемые задачи. Протокол ответов испытуемых представлен в Приложении Г. Нами были проанализированы ответы испытуемых и произведена кодировка ответов (Таблица 10). Были выделены три категории ответов: когнитивные действия, первичная ориентировка, сложность задания. В категорию «когнитивные действия» были внесены следующие операции: подсчет количества атомов в молекуле вещества, соотнесение молекулы с предъявленными ответами, построение ментальной репрезентации молекулы вещества и исключение нерелевантной информации из ответов. Категория «первичная ориентировка» включала два типа ответов: первичная фиксация на молекуле вещества или на вариантах ответов. Категория «сложность задания» подразумевает субъективную сложность заданий со словесной или с формульной записью ответов.

Таблица 10 - Кодировка ответов испытуемых

Показатель	Кодировка	Начинающие химики (% испытуемых, который упомянул данное действие)	Опытные химики (% испытуемых, который упомянул данное действие)
Когнитивные действия	Подсчет количества атомов в молекуле	40 %	0%
	Соотнесение молекулы с предъявленными ответами	60 %	0%
	Исключение нерелевантной информации из ответов	40%	0%
	Построение ментальной репрезентации молекулы (ментальная репрезентация – словесная запись названия вещества)	10 %	95,4%
	Построение ментальной репрезентации молекулы (ментальная репрезентация – формульная запись названия вещества)	15 %	86,4%
Первичная ориентировка	На молекуле вещества	5%	90,9%
	На вариантах ответов	71 %	9%
Сложность	Словесная запись ответов	80%	0 %
	Формульная запись ответов	20 %	9%

Нам удалось вывить важную особенность: новички чаще, чем профессионалы обращались к подсчету количества атомов в молекуле (примеры высказываний начинающих химиков: «иногда проверял себя, считая количество атомов в молекуле»; «с формулами было просто, потому что можно было подстраховаться и сосчитать атомы»). Опытные химики в своих ответах ни разу не упоминали подсчет атомов в молекуле. Схожие результаты были получены в исследовании Д. Мулфорда и В. Робинсона (Mulford, Robinson, 2002), в котором студентам необходимо было выбрать верное графическое представление молекулярного уровня. Оказалось, что большая часть правильно решивших задачу студентов решали ее с помощью подсчета частиц в молекуле. В аналогичном эксперименте Б. Давидовича и Г. Читлборо (Davidowitz, Chittleborough, 2009) были получены немного иные результаты: 27 процентов студентов смогли изобразить верную

графическую репрезентацию микроуровня, и только 19 процентов из них дали ответ на основе количества частиц в молекуле вещества (Ишмуратова, Блинникова, 2021).

Также было обнаружено, что опытные химики в своих ответах не говорили о соотношении молекулы вещества с вариантами ответов, в то время как начинающие химики упоминали данную операцию (примеры высказываний новичков: «в ответах сначала исключал те варианты, которые точно не подойдут и не похожи на молекулу совсем, оставшиеся варианты ответов соотносил с веществом на картинке»; «когда ответ был в виде формулы, то просто можно было соотнести с количеством атомов на картинке»). Полученные данные соотносятся с анализом глазодвигательной активности испытуемых: начинающие химики совершали большее количество перемещений между областями интереса, сравнивая трехмерное изображение молекулы вещества со списком ответов.

Важным различием в стратегиях новичков и экспертов стало построение последними ментальных репрезентаций молекулы вещества (примеры высказываний экспертов: «после просмотра трехмерной молекулы название молекулы всегда держала в голове, чтобы не запутаться и не возвращаться к ней», «сначала смотрела на молекулу, в голове переводила ее в запись вещества, а затем искала название в вариантах ответов»; «анализировала молекулу и сразу понимала, что за вещество надо найти, говорила для себя, как оно записывается»). 95,4 % экспертов упоминали построение ментальной репрезентации в процессе решения задачи. Эксперты совершали данное действие во много раз чаще, чем новички, что позволяло им удерживать образ молекулы в рабочей памяти, не обращаясь каждый раз к визуальному представлению молекулы вещества.

В ходе *posthoc* интервью удалось выяснить важную информацию о субъективной сложности задания с разной формой записи ответов. Было обнаружено, что для новичков большую сложность представляли задания, в которых ответы были представлены в словесной форме (примеры их ответов: «не всегда мог вспомнить, как называется вещество, поэтому было сложнее, когда ответ был записан как слово. Когда ответ был в виде формулы, то просто можно было соотнести с количеством атомов на картинке»; «мне сложнее было решать задачи со словесным вариантом ответов. С формулами было просто, потому что можно было подстраховаться и сосчитать атомы».) Это согласуется с объективными данными,

полученными в эксперименте: начинающие химики решали данный тип заданий значительно дольше, чем задачи с формульной записью ответов, а также давали меньшее количество правильных ответов, чем в заданиях с формульной записью. Задачи с формульной записью ответов имели меньшую сложность для начинающих студентов в силу того, что они позволяли сосчитать количество атомов в молекуле (примеры их ответов: «с формулами было просто, потому что можно было подстраховаться и сосчитать атомы») (Ишмуратова, Блинникова, 2021).

3.5. Обсуждение результатов сравнения эффективности когнитивных стратегий решений задач на идентификацию вещества специалистами-химиками с разным профессиональным опытом

В данном эксперименте мы проанализировали, как опытные и начинающие специалисты в области химии решают задачу идентификации вещества по трехмерным изображениям молекул. Дифференцированный анализ движений глаз и анализ устных ответов испытуемых позволил выявить разные по эффективности стратегии решения задачи на идентификацию молекул вещества (Таблица 11). Кроме того, стратегии отличались по последовательности действий, по структурированию информации, сознательному контролю за решением задачи, по использованию ментальных репрезентаций. Эксперты быстро ориентировались в задаче и сосредотачивали свое внимание на изображении молекулы в первые секунды решения задачи; проанализировав атомный состав, они идентифицировали вещество и далее уже с готовым ответом в виде ментальной репрезентации приступали к его обнаружению в списке. Такую стратегию можно обозначить как эндогенную, поскольку здесь активно используются ментальные средства. Новички начинали решение от списка ответов, стараясь соотнести каждый вариант с молекулой и установить соответствие. Здесь речь может идти об экзогенной стратегии, поскольку в ее основе преимущественно опора на визуальную информацию. Стратегия химиков с большим уровнем профессионального опыта оказалась более эффективной (с меньшим временем решения задачи и большим количеством верных ответов).

Таблица 11 – Показатели стратегий решения задач начинающих и опытных химиков

Показатели стратегий	Опытные химики	Начинающие химики
Длительность фиксации	Более длительные фиксации на области «трехмерное изображение молекулы»	Более длительные фиксации на области «вариантов ответов»
Длительность саккад	Более короткие	Более длительные
Скорость саккад	Меньше	Выше
Амплитуда саккад	Меньше	Больше
Первая фиксация	На области «трехмерное изображение молекулы»	На области «варианты ответов»
Время, затраченное на области задачи	Более длительное пребывание в области трехмерного изображения молекулы	Более длительное пребывание в области вариантов ответов
Выделение релевантных областей	Трехмерное изображение молекулы	Варианты ответов в задаче
Этапы решения задачи	От трехмерного изображения молекулы к вариантам ответов – первичная ориентировка на условия задачи, затем переход к вариантам ответов	От вариантов ответов к трехмерному изображению молекулы – первичная ориентировка на вариантах ответа в задаче, затем переход к трехмерному изображению молекулы
Переходы между областями задачи	Малое количество перемещений между областями задачи	Большое количество перемещений между областями задачи
Поиск правильного ответа из списка предложенных	Самооканчивающийся поиск правильного ответа – переход к следующему заданию после нахождения верного ответа	Соотнесение каждого варианта ответов с условием задачи
Использование ментальных репрезентаций	Формирование и применение ментальных репрезентаций в виде формульной и словесной записи молекулы вещества в процессе решения задач	Редуцировано использование ментальных репрезентаций в процессе решения задачи

Установлено, что эксперты больше времени проводят на области условия задачи (изображения молекулы), а не на области вариантов ответов. При этом для них в этой части задачи характерны более длительные фиксации, чем у начинающих химиков. Здесь не наблюдается редукиции информационной обработки. Напротив, профессионалы в той области задачи, которую они определяют как релевантную получению адекватного результата, осуществляют более длительную и более глубокую переработку информации. Они проводят поатомное рассмотрение молекулы вещества, строят ментальную репрезентацию молекулы (ментальная

репрезентация экспертов – это словесное название вещества и формульная запись вещества), идентифицируют ее, а затем переходят к поиску правильного варианта ответа их списка предложенных. После нахождения правильного варианта ответа эксперты завершают выполнение задания, не просматривая остальные варианты ответов. Другими словами, речь идет о самооканчивающемся поиске. Построение экспертами ментальных репрезентаций позволило быстрее и эффективнее решать задачи.

С другой стороны, было показано, что начинающие химики при решении тестовых задач на идентификацию молекул вещества проводят больше времени на области вариантов ответа, а не на изображении молекулы. Им присущи более продолжительные фиксации в этой области, они затрачивают больше времени и усилий на обработку представленной там информации. Анализ выполнения заданий показал, что новички просматривают все варианты, иногда по нескольку раз. При этом каждый из вариантов соотносится с изображением молекулы, что значительно увеличивает количество переходов между двумя областями решения задачи. В этом случае речь идет об исчерпывающем поиске. Более того, мы наблюдаем «эффект перепроверки», сходный с тем, который был выявлен при сравнении стратегий чтения профессиональных текстов (Блинникова, Ишмуратова, 2021). Это может быть интерпретировано и описано как существование «перцептивной» или «экзогенной» стратегии решения задачи новичками. Они просматривают варианты ответов, переходя от одного к другому и, всякий раз оценивая, подходит ли обозначение под предъявленное изображение.

Большой интерес вызывает результат, показывающий, что глагодвигательная активность опытных химиков при решении задачи на идентификацию молекул характеризовалась менее длительными, более короткими и медленными саккадами. В то время как начинающие химики решали задачи за счет более длительных, высокоамплитудных и высокоскоростных саккад. Это говорит о том, что опытные специалисты решали задачи намного быстрее, они использовали сознательно контролируруемую стратегию последовательных операций. Это противоречит результатам многих других исследований, в которых показано, что эксперты решают задачи за счет более холистической обработки информации, связанных с укрупнением информационных фрагментов (chunks), обрабатываемых в единицу времени. Однако они находят подтверждение в некоторых исследованиях на выборке химиков. В частности, в работе С. Хансен (Hansen, 2014) было показано,

что решение задач на поатомный анализ веществ улучшается при более точном и подробном проговаривании последовательности решения. По всей вероятности, для правильной идентификации молекулы химикам требуется учитывать количество атомов и их связи.

3.6. Выводы по результатам эксперимента № 1

1. Показано, что химики с большим уровнем профессионального опыта решают задачи быстрее и с меньшим количеством ошибок.

2. В данном исследовании удалось выявить глазодвигательные паттерны, которые связаны с успешностью решения химических задач на идентификацию трехмерных молекул вещества. Анализ глазодвигательных показателей позволил выявить обобщенные стратегии решения задач, которые в целом соответствуют идеям, предложенным Р. Глэйзером – профессионалы в большей степени опираются на уже имеющиеся знания и ментальные репрезентации, в то время как решения начинающих специалистов опираются на более поверхностную обработку визуально представленной информации.

3. Было установлено, что эксперты (опытные химики) при решении задач на идентификацию молекул вещества и выбор правильного варианта из списка предложенных:

- a) больше времени проводят на области условия задачи (изображении молекулы), а не на области вариантов ответов, при этом для них характерны длительные фиксации на области интереса «изображение молекулы»;
- b) после нахождения правильного варианта ответа завершают выполнение задания, не просматривая остальные варианты ответов; совершают самооканчивающийся поиск;
- c) осуществляют малое количество перемещений между областями интереса, что свидетельствует о построении ментальных репрезентаций, которые позволяют быстрее и эффективнее решать поставленные задачи;
- d) используют эндогенную стратегию решения задач; они в первую очередь производят поатомное рассмотрение молекулы вещества, распознают вещество, строят ментальную репрезентацию названия молекулы (в виде формулы вещества и названия вещества), а затем переходят к поиску правильного варианта ответа из списка предложенных.

4. Новички (начинающие химики) при решении задач на идентификацию молекул вещества и выбор правильного варианта из списка предложенных:

- a) больше времени проводят на области «список ответов», а не на изображении молекулы, им присущи более продолжительные фиксации в области интереса «варианты ответов»;
- b) просматривают все варианты ответа, иногда по несколько раз;
- c) совершают большое количество перемещений между областями интереса;
- d) применяют экзогенную стратегию решения задач: просматривают варианты ответов, переходя от одного к другому, и всякий раз оценивая, подходит ли обозначение под предъявленное изображение.

5. При анализе решения задач с разным типом записи ответов было выявлено:

- a) для экспертов не существует принципиальных различий в поиске правильного ответа среди эмпирических формул или среди словесных обозначений; более того, они несколько лучше решали задачи, когда ответы были представлены в словесной форме;
- b) напротив, новички значимо лучше и быстрее решали задачи, если ответы были представлены в виде эмпирических формул; поиск правильного ответа среди словесных обозначений увеличивал время и снижал правильность решения;
- c) по всей вероятности, эти данные также связаны с выявленными характерными стратегиями решения задач. Эксперты разглядывают молекулу, понимают, какое вещество изображено, и затем ищут его обозначение в списке ответов. Небольшой выигрыш в случае словесных обозначений может свидетельствовать о том, что, определяя вещество, эксперты мысленно называют его словом. Новички предпочитают последовательно сравнивать молекулу с предъявленными обозначениями. В этом случае понятно преимущество, которое дают формулы, ведь последние, собственно, являются символическими изображениями молекулярного состава;
- d) те преимущества, которые дает экспертам словесное обозначение вещества, может также свидетельствовать о том, что они с большей легкостью могут перемещаться между разными уровнями химического знания.

ГЛАВА 4. СРАВНЕНИЕ СТРАТЕГИЙ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ НА МОДЕЛИРОВАНИЕ СХЕМ ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ СПЕЦИАЛИСТАМИ-ХИМИКАМИ С РАЗНЫМ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫМ ОПЫТОМ (ЭКСПЕРИМЕНТ № 2)

4.1. Цель, задачи и гипотезы эксперимента

В последнее время внимание исследователей все больше привлекает решение задач, с помощью которых можно оценить научную и профессиональную компетентность (Tang, Pienta, 2012). Важным является вопрос о выборе ситуаций для проведения подобных исследований: кроме решения учебных и профессиональных задач, часто анализируют чтение и ответы на тестовые вопросы. Что касается чтения, то здесь собрано большое количество данных, которые часто имеют противоречивый характер получаемых результатов (Blinnikova, Izmailkova, 2016). Также в этой области используются модели задач множественного выбора, в которых испытуемых просят после прочтения вопроса выбрать правильный ответ из нескольких вариантов. При этом в большинстве случаев исследователи реализуют простые схемы экспериментального дизайна и анализа данных. Чтобы раскрыть сложную архитектуру процессов нахождения ответа, требуется усложнить сами задачи, способ их предъявления и методы их анализа (Tang et al., 2012). Для этого можно обратиться к задачам анализа визуальной информации.

Данный эксперимент был проведен для достижений двух **целей**:

- 1) методической – разработать методический материал для определения эффективности стратегий решения профессиональных задач, связанных с технологическим процессом производства;
- 2) исследовательской – определить различия в движениях глаз и связанных с ними стратегиях решения профессиональных задач между специалистами с разным уровнем профессионального опыта в процессе чтения химических текстов и решения схематически представленных технологических задач в области химии.

Задачи исследования

1. Разработка стимульного материала, состоящего из текстов, описывающих химические процессы производства веществ, задач в виде схем технологического процесса (символьный уровень химического знания).

2. Проведение эмпирического исследования, позволяющего сравнить особенности чтения профессиональных текстов и решения профессионально-специфичных задач химиками с разным уровнем профессионального опыта (начинающими химиками и опытными химиками).

3. Сравнение временных и оculoмоторных показателей при чтении профессиональных текстов и решении профессионально-специфичных задач химиками с разным уровнем профессионального опыта.

4. Идентификация стратегий решения задач на моделирование схем технологических процессов химиками с разным уровнем профессионального опыта.

Гипотезы исследования

1. Когнитивные стратегии, используемые экспертами и новичками в области химии при решении задач на моделирование схем технологического процесса, будут различаться по последовательности действий и ряду существенных характеристик, связанных с особенностями когнитивной обработки.

2. Чтение профессиональных текстов займет больше времени у начинающих химиков, и будет связано с большим операциональным напряжением по сравнению с опытными химиками.

3. Характер оculoмоторной активности при решении профессионально-специфичных задач на моделирование схем технологических процессов будет отличаться у химиков с разным уровнем профессионального опыта.

4. Эксперты в области химии быстрее и точнее выделяют релевантные области в профессионально-специфичных задачах на моделирование схемы технологического процесса.

5. Эксперты в области химии в процессе решения задач на моделирование схем технологических процессов способны эффективнее формировать и использовать различные формы ментальных репрезентаций компонентов задачи.

4.2. Методика эксперимента по сравнению когнитивных стратегий решения задач на моделирование схем технологических процессов специалистами-химиками с разным профессиональным опытом

Испытуемые

В исследовании приняли участие 35 химиков в возрасте от 20 до 45 лет. Испытуемые были разделены на две группы по критерию стажа работы (Таблица 12). Уровень владения компьютером у всех испытуемых - продвинутый.

Первая группа (17 человек) – начинающие химики (выпускники химического факультета Московского государственного университета имени М. В. Ломоносов и РХТУ имени Д. И. Менделеева), работающие на химических предприятиях. Все испытуемые имели высокие средние баллы по всем учебным предметам в ВУЗе. Стаж работы начинающих химиков варьировался от девяти до восемнадцати месяцев, средний стаж работы – 1 год. Средний возраст – 21 год.

Вторая группа (18 человек) – опытные химики (эксперты), работающие по специальности на химическом производстве более 10 лет. Испытуемыми выступили сотрудники, которые зарекомендовали себя как успешные в своей деятельности – информация об этом была получена от руководителей испытуемых. Средний стаж работы химиков-профессионалов – 15 лет. Минимальный стаж работы составил 10 лет, максимальный – 17 лет. Средний возраст испытуемых данной группы – 38 лет.

Испытуемые первой и второй группы - сотрудники химических предприятий Группы «Оргсинтез» (ПАО «Химпром», АО «Перкарбонат», АО «Волжская перекись»).

Таблица 12 - Описание выборки испытуемых Эксперимента № 2

Группа испытуемых	Количество человек	Средний возраст	Средний стаж работы	Занимаемые должности
Начинающие химики	17	21 год	1 год	Инженер-технолог, инженер-химик, специалист
Опытные химики	18	38 лет	15 лет	Ведущий инженер-технолог, ведущий специалист, химик-эксперт

Схема исследования

Эксперимент состоял из четырех серий, в каждой из которых испытуемому предъявлялась определенная последовательность слайдов. Сначала испытуемые должны были читать предложенные им тексты, а затем решать задачи. Испытуемым была предоставлена инструкция о том, что после прочтения текстов, им предстоит решать задачи с использованием полученной информации.

Схема предъявления стимульного материала

1. Текст с описанием химического процесса на основе технологического регламента.
2. Задача, основанная на тексте технологического регламента, на моделирование схемы технологического процесса.
3. Схематическая задача, основанная на тексте технологического регламента, направленная на поиск ошибок в схемах.

Стимульный материал

Для разработки стимульного материала были привлечены высококвалифицированные специалисты в области химии. В роли экспертов выступили три специалиста - сотрудники химического предприятия АО «Группа Оргсинтез» - у всех экспертов стаж работы превышал 20 лет. Эксперты работали на позициях химик-исследователь, старший научный сотрудник и руководитель лаборатории, они имели ученые степени кандидата химических наук. Стимульный материал был разработан на основе научно-технической литературы в области химии (Арутюнов, 2020; Столярова, 2005; Соболевский, 1985; ИТС 34-2017; Зонненшайн, 2018), а также технологических регламентов производства химической продукции. Технологический регламент – это документ, описывающий все параметры производства химического продукта: химизм, реакции, свойства веществ, процесс производства по стадиям. Для создания используемых в эксперименте текстов и схем был произведен анализ технологического регламента, выделены ключевые моменты и соединены в единый текст. Были выбраны следующие технологические регламенты: производство винилхлорида, кремнийорганических лаков, пероксида водорода, пенополиуретана. Все тексты были уравнены по сложности и по количеству знаков (около 1200 знаков с

пробелами или 140 слов). Все тексты приведены в Приложении Б. После прочтения каждого из текстов испытуемым предъявлялись три задачи, представленные в виде схем. Задачи были также разработаны совместно с химиками-экспертами на основе анализа аналогичных исследований. С помощью экспертного анализа было выяснено, что химикам, работающим как на производстве, так и в научной лаборатории, необходимо уметь декодировать химические схемы или, иными словами, анализировать визуальные представления символического уровня.

Каждая из четырех серий эксперимента начиналась с предъявления текста, содержащего технологический регламент продукции.

Пример используемого текста представлен на Рисунке 14.

Пероксид водорода - простейший представитель пероксидов. Пероксид водорода весьма слабая кислота. В зависимости от условий пероксид водорода может принимать участие в химических реакциях как окислитель и как восстановитель. Концентрированные водные растворы взрывоопасны.

В европейских странах основное количество пероксида водорода получают антрахиноновым способом, разработанным компанией BASF в 1930-х годах. Антрахиноновый процесс основан на автоокислении алкилантрагидрохинонов (обычно 2-этил-, 2-трет-бутил- и 2-пентилантрагидрохинонов) кислородом воздуха с образованием антрахинонов и пероксида водорода. Реакция проводится в растворе алкилантрагидрохинонов в бензоле с добавлением вторичных спиртов, по завершении процесса пероксид водорода экстрагируют из органической фазы водой.

В РФ используют изопропиловый способ получения пероксида водорода, который заключается в каталитическом окислении кислородом воздуха изопропилового спирта.

Полученный реакционный раствор разделяется методом ректификации. При этом образуется пероксид водорода и ценный побочный продукт - ацетон.

Оба метода для обеспечения цикличности процесса используют восстановление окисленных продуктов водородом с получением гидроантрахинона и изопропилового спирта, которые вновь вводят в реакцию с кислородом.

Рисунок 14 - Пример используемого в эксперименте текста «Производство пероксида водорода»

Первое задание представляло из себя схему технологического процесса, которую необходимо было дополнить (Рисунок 15).

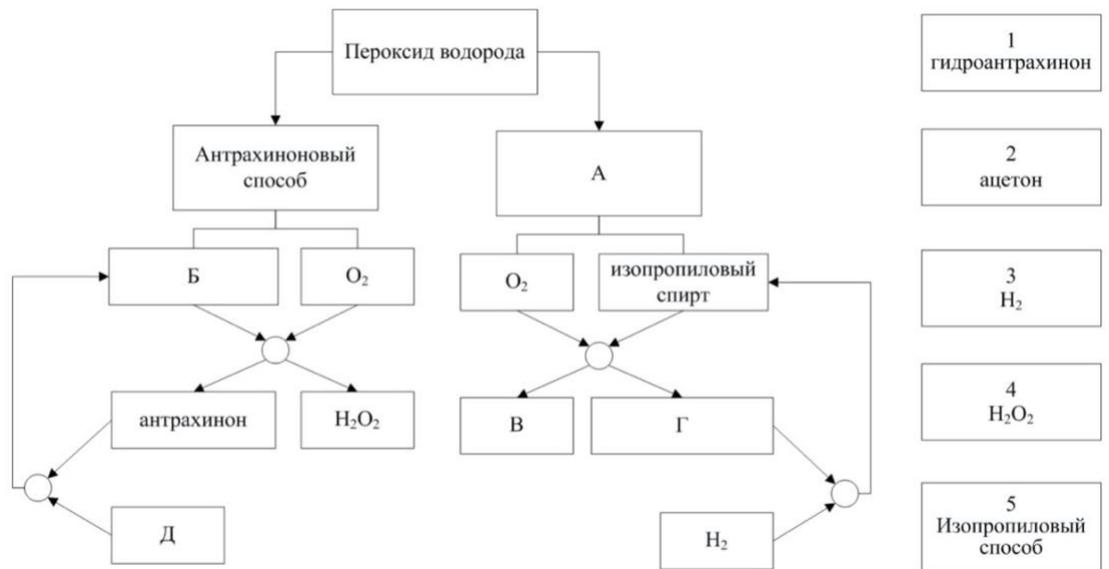


Рисунок 15 - Пример предъявляемого задания на заполнение пропущенных блоков

Схема была сконструирована на основе текстов, предъявляемых испытуемым. На данной схеме были пустые ячейки, которые необходимо было заполнить. Справа от схемы расположена отдельная область – «пространство вариантов ответов», то есть те ответы, которые необходимо было вставить в схему.

Второе задание представляло из себя схему технологического процесса, описанного в прочитанном испытуемым тексте. Схемы представляли из себя совокупность блоков, в которых записаны названия химических веществ. Каждая предложенная испытуемым схема содержала от двух до трех ошибок, то есть блоков, которые имели неправильные названия веществ (Рисунок 16). Все задания приведены в Приложении В.

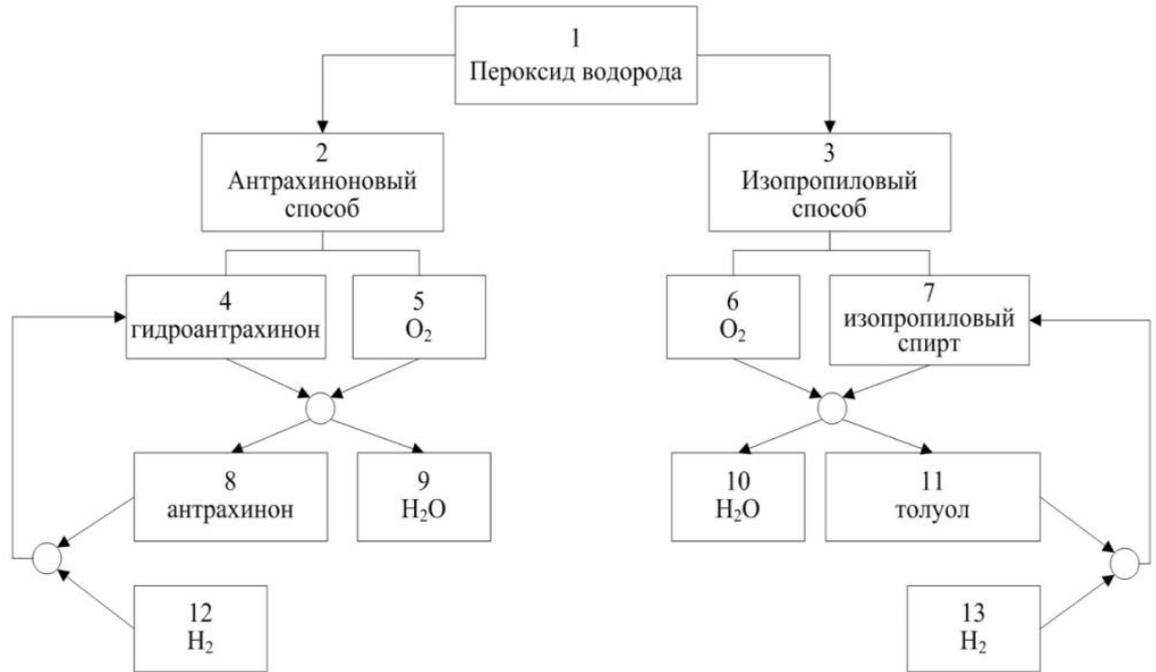


Рисунок 16 - Пример предъявляемого задания на поиск ошибок (поиск блоков с неверно указанными веществами)

Третье задание представляло из себя схему технологического процесса на основе описанных выше текстов. Данные схемы содержали ошибки: на каждой схеме было по две пары блоков с записью химических веществ, переставленных между собой местами. В дальнейшем при обработке данных второе и третье задания были объединены. (Рисунок 17). Все задания приведены в Приложении В.

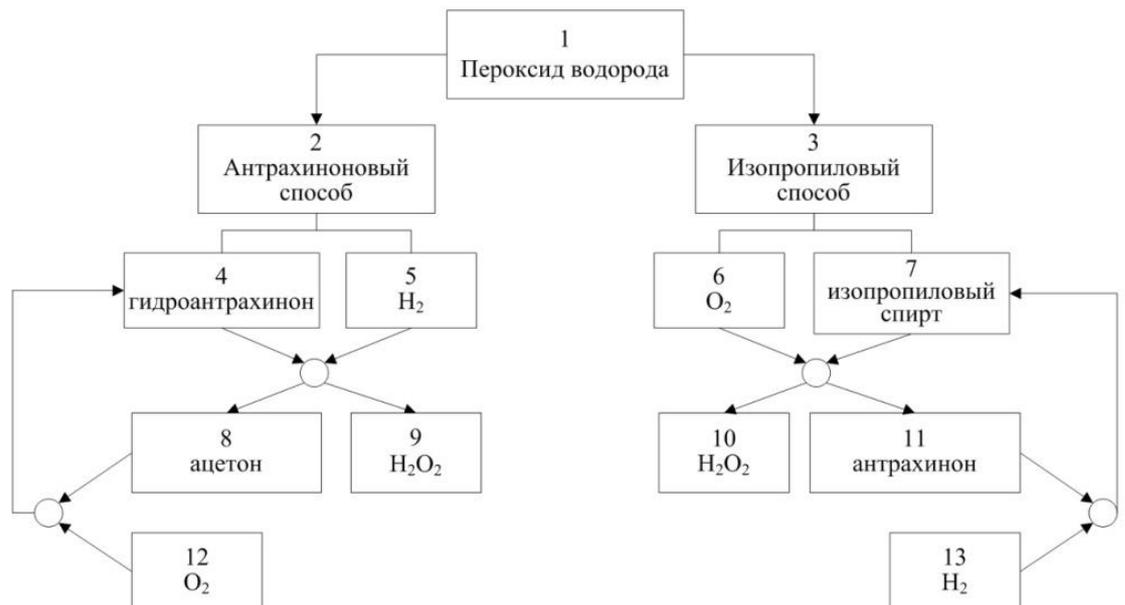


Рисунок 17 - Пример предъявляемого задания на поиск ошибок (перестановку местами блоков)

Процедура проведения эксперимента

Сначала испытуемым предлагалось внимательно прочитать текст, описывающий химический процесс производства вещества (производство винилхлорида, лаков, пероксида водорода, пенополиуретана). Время предъявления текста было неограниченно. Затем испытуемым предлагалось выполнить три задания, относящиеся к тексту. Время на выполнение заданий было неограниченно. Инструкция испытуемым приведена в Приложении А. Время выполнения всей серии заданий одним испытуемым варьировалось в промежутке от 40 минут до 1 часа.

Регистрируемые показатели

В эксперименте регистрировались: I - показатели успешности решения задач, такие как время выполнения задачи (в мин/сек), время первого ответа и количество правильных ответов; II – простые индикаторы окуломоторной активности, в частности, количество, частота и длительность фиксаций; количество, частота, скорость и амплитуда саккад, а также «путь сканирования» («scanpath»), частота и длительность морганий. Все временные и окуломоторные показатели фиксировались автоматически с помощью программы Experimentre Centre. Ответы испытуемых заносились экспериментатором в протокол и затем определялись как правильные или неправильные.

Для сравнения эффективности стратегий поиска правильных решений были выделены зоны интереса (АОИ). На слайдах с чтением текста было выделено от двух до трех зон интересов, которые включали самую важную информацию об описанном в тексте химическом процессе на основании решения экспертов в химической области.

Оборудование и программное обеспечение

Предъявление стимулов осуществлялось с помощью 19” ЖК-монитора, расположенного на расстоянии 60–65 см от испытуемого. Создание эксперимента проводилось в программной среде SMI ExperimentCenter. Регистрация движений глаз осуществлялась с помощью системы бесконтактной видеорегистрации движений глаз SMI iView XTM Hi-Speed с частотой 1250 Гц с использованием опоры

для подбородка. Система iView XTM Hi-Speed 1250 обеспечивает ультрабыстрые и точные измерения: частота дискретизации выше 1250Гц/500Гц (монокулярная/бинокулярная регистрация); разрешение с точностью 0,01°; точность направления взгляда 0,2°. Кроме того, данная система обладает ультракороткой задержкой: время обработки менее 0,5 мс (другие системы имеют задержку меньше, чем 2 мс). (Рисунок 18).



Рисунок 18 - Установка бесконтактной регистрации движений глаз SMI Hi-Speed

Обработка данных

Для обработки времени выполнения заданий и глазодвигательной активности было использовано программное обеспечение, предназначенное для анализа движений глаз ВеGaze 3.6, разработанное компанией SensoMotoricInstruments. Данная программа производит подсчет и анализ фиксации, саккад, морганий, расчет времени пребывания в зоне интереса и количество переходов в зону интереса. Программа ВеGaze также позволяет визуализировать полученные данные с помощью «тепловых карт». Дальнейшая обработка проводилась с помощью SPSS Statistics 21.

Мы проанализировали и сравнили результаты выполнения всех заданий (чтение текстов, заполнение пропусков, обнаружение ошибок) химиками с разным уровнем профессионального опыта с учетом показателей эффективности и параметров движений глаз.

4.3. Результаты сравнения когнитивных стратегий решения задач на моделирование схем технологических процессов специалистами-химиками с разным профессиональным опытом

Время, затрачиваемое на чтение текстов

Было проанализировано время, в течение которого испытуемые читали предложенные тексты. Были обнаружены статистически значимые различия между группами начинающих и опытных химиков по данному показателю ($F(1,138)=69,88$, $p<0,01$): профессионалы читали тексты быстрее. Они затрачивали на чтение 79,9 с, в то время как новички – 125,9 с. Данные представлены на Рисунке 19.



Рисунок 19 - Средняя скорость чтения текстов, секунды

Все показатели, связанные со временем, такие как – количество фиксаций и саккад, общая продолжительность сканирования, – были также значимо больше у начинающих, чем у опытных химиков. В целом, эти данные свидетельствуют о том, что новички затрачивают на чтение текстов больше временных и энергетических ресурсов. Данные представлены в Таблице 13.

Таблица 13 - Показатели протяженности сканирования и общего количества окуломоторных событий у начинающих и опытных химиков в процессе чтения текстов

Группа	Scanpath	Кол-во фиксаций	Кол-во саккад	Общая длит-сть фиксаций (мс)	Общая длит-сть саккад (мс)	Общая амплитуда саккад (град)
Начинающие химики	123217,6 2	507,49	454,08	205,62	20247,76	2514,69
Опытные химики	74291,65	316,13	281,68	211,31	12816,32	1695,64
F(1,138)	103,24	85,32	102,07	55,65	78,43	23,63
p	p<0,01	p<0,01	p<0,01	p<0,01	p<0,01	p<0,01

Показатели операциональной напряженности

Как отмечалось выше, одним из показателей операциональной напряженности выступает количество фиксаций и средняя длительность морганий. В данном случае мы не можем рассматривать количество фиксаций, поскольку начинающие химики затрачивали на чтение больше времени и за это время они, естественно, делали больше фиксаций. Однако, значимые различия были получены по средней длительности морганий при чтении текстов профессионалам и новичками ($F(1,138)=15,79$, $p<0,1$). При этом средняя продолжительность моргания у начинающих химиков составляет 184,9 мс, а у опытных – 150,9 мс. Такие данные могут косвенно свидетельствовать о том, что чтение и понимание описаний химических процессов вызывает у начинающих химиков затруднения.

Анализ движений глаз при чтении описаний химических процессов

В описаниях химических процессов были выделены несколько «областей интереса»: область с контекстной информацией и три области с ключевым для понимания содержанием, включающим вводную, основную и дополнительную информацию о химических реакциях. Было установлено, что, эксперты быстрее достигали областей с ключевой информацией, что определялось показателем «время входа в зону интереса» (у экспертов 25,10 с, а у новичков – 30,57 с).

Наиболее выразительные данные были получены относительно части текста с описанием последовательности химических реакций. Именно здесь были установлены значимые различия между опытными и начинающими специалистами в средней длительности фиксаций ($F(1,138)=6,61$, $p=0,01$); более длительные

фиксации наблюдались у экспертов (213,6 мс у экспертов и 199,56 мс у новичков) (Таблица 14). Увеличение средней длительности фиксаций в процессе чтения свидетельствует о повышении сложности и глубины переработки (Rayner, 1998). В данном случае вряд ли стоит говорить о том, что для экспертов текст оказывался более сложным, чем для новичков; они знакомились с текстом быстрее, и результаты этого ознакомления были более впечатляющими, поскольку в дальнейшем они допускали значимо меньше ошибок (Блинникова, Ишмуратова, 2021).

Таблица 14 - Сравнение окуломоторных показателей экспертов и новичков относительно «областей интереса» с основной информацией о химических реакциях

Показатели	Опытные химики	Начинающие химики	F (1,138)	Значимость различий
Средняя длительность фиксаций (мс)	213,60	199,56	6,61	p < 0,01
Количество фиксаций	59,10	93,40	17,35	p < 0,01
«Dwell time» или время, проведенное в зоне интереса (мс)	14611,70	21762,91	11,91	p < 0,01
Количество возвратов	9,88	15,44	21,98	p < 0,01

Данные Таблицы 14 показывают, что эксперты совершали меньшее количество более длительных фиксаций, проводили меньше времени в «области интереса» с ключевой информацией и реже к ней возвращались. Получалось, что они следовали известному выражению «лучше меньше, да лучше», их когнитивная обработка была более эффективна. Можно предположить, что в ходе каждой фиксации они не просто уделяли внимание отдельным терминам, но связывали их друг с другом, формируя ментальную репрезентацию описываемого процесса (Блинникова, Ишмуратова, 2021). Это подтверждает и проведенное post-hoc интервью с участниками эксперимента: профессионалы говорили о том, что «при чтении текста схематически представляли, как устроен процесс», «в голове всплывала схема процесса» и т. д. Создаваемая репрезентация позволяла им более прочно удерживать обрабатываемую информацию. Именно поэтому профессионалы гораздо реже возвращались к ключевому описанию и продуктивнее использовали полученные знания в дальнейшем. При этом на всем тексте различий по средней длительности фиксаций, средней длительности, амплитуде, скорости саккад и частоте окуломоторных событий получено не было. Данные представлены в Таблице 15.

Таблица 15 - Показатели средней длительности, амплитуды и частоты окуломоторных событий у начинающих и опытных химиков в процессе чтения текстов

Группа	Средняя длительность фиксации (мс)	Средняя длительность саккад (мс)	Средняя амплитуда саккад(град)	Средняя скорость саккад (град/с)	Частота событий (ед/с)
Начинающие химики	205,624	44,660	6,753	130,321	3,317
Опытные химики	211,312	45,147	6,241	115,504	3,157
F(1,138)	1,40	0,31	0,64	1,54	2,13
p	p=0,24	p=0,58	p=0,43	p=0,22	p=0,15

Различия, полученные по времени чтения, связаны с тем, что начинающие химики перечитывали текст, возвращаясь к наиболее значимым моментам. Об этом свидетельствует время, проведенное в области интереса, и самое главное, количество возвратов в область интереса в процессе изучения текста. Различия по этим показателям высокозначимы: для времени, проведенном в зоне интереса, – ($F(1,138)=51,9$, $p<0,01$); для возвратов в зону интереса – ($F(1,138)=48,1$, $p<0,01$). Данные представлены на Рисунке 20.

Полученные данные свидетельствуют о неуверенности новичков, о желании перечитать текст еще раз.

Результаты, полученные при сравнении показателей профессионалов и новичков при чтении текстов, описывающих химические процессы, позволяют сделать ряд важных выводов. Подтвердилась одна из выдвигаемых нами гипотез: профессионалы затрачивали меньше времени и когнитивных усилий на чтение предметно специфичных текстов. Окуломоторный паттерн профессионалов характеризовался меньшим количеством окуломоторных событий и меньшей протяженностью сканирования в процессе чтения текстов. Они проводили меньше времени в ключевых для понимания областях текстов и меньше к ним возвращались. Не было установлено значимых различий в средней длительности фиксаций, средней амплитуде, длительности, скорости саккад, частоте окуломоторных событий у групп испытуемых.



Рисунок 20 - Слева представлено общее время, проведенное начинающими и опытными химиками в ключевых областях изучаемых текстов (сек), справа представлено общее количество возвратов в области интереса

Результаты сравнения эффективности и когнитивных стратегий новичков и экспертов в процессе моделирования схем химических процессов

Анализ эффективности решения задач

Эффективность решения задачи определяется временем выполнения задачи и количеством правильных ответов, которые дал испытуемый.

Время выполнения заданий

Были обнаружены значимые различия между группами начинающих химиков и опытных химиков во времени выполнения всех типов заданий (Рисунок 21): заполнении пропусков в схемах ($F(1,138)=59,2$, $p<0,01$) и нахождении ошибок в схемах ($F(1,138)=19,1$, $p<0,01$). Опытные химики значимо быстрее справлялись со всеми типами заданий.

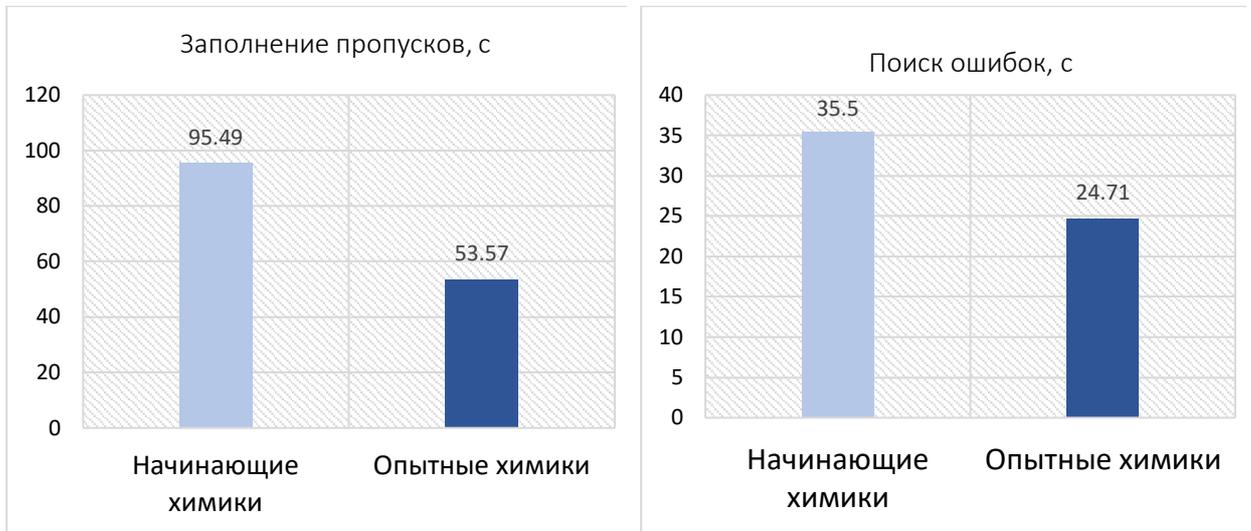


Рисунок 21 - Результаты сравнения групп по времени решения заданий (слева представлено время выполнения задания на заполнение пропусков, справа – на поиск ошибок)

Количество правильных ответов

Показатель количества правильных ответов был рассчитан в процентах по каждому типу заданий (Рисунок 22). Обнаружены значимые различия в проценте правильных ответов в задачах на заполнение схем ($F(1,138)=10,8$, $p<0,01$) и в задачах на обнаружение ошибок ($F(1,138)=22,8$, $p<0,01$). Профессионалы давали большее количество правильных ответов в обоих типах заданий по сравнению с начинающими химиками.

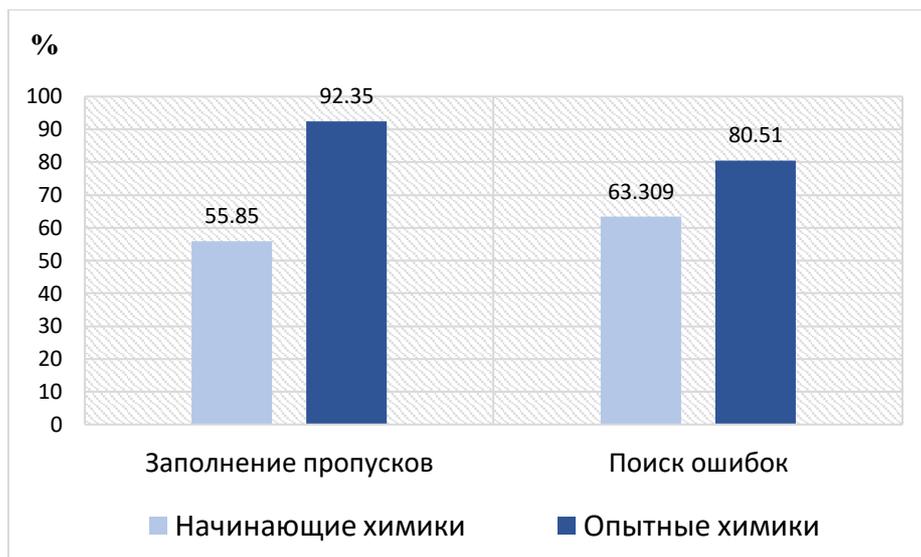


Рисунок 22 - Результаты сравнения групп по количеству правильных ответов в процентах

Время первого нажатия на мышь

Оказалось, что при решении задач на заполнение пробелов и нахождение ошибок в схемах опытные химики кликали на мышь значительно быстрее, чем начинающие химики ($F(1,270)=75,3$, $p<0,01$). Это свидетельствовало о том, что профессионалы быстрее принимали решение, новичкам же требовалось больше времени на то, чтобы определить правильный ответ.

Анализ показателей психической напряженности

Моргания и различные измерения с ними связанные рассматриваются как показатели психической напряженности (см. Главу 1). Показатели, связанные с морганием, легко фиксировать даже видеокамерой, установленной на компьютере, поэтому считаем целесообразным их подробное рассмотрение.

Не было выявлено значимых различий по частоте морганий между группами (Таблица 16).

Таблица 16 - Показатели средней длительности морганий у двух групп испытуемых

Показатель	Начинающие химики	Опытные химики	F(1, 138)	p
Средняя длительность морганий, мс	186,79	159,94	28,86	<0,01

Также нами рассмотрен такой показатель оculoмоторной активности, как длительность морганий. Было показано, что начинающим химикам присущи более продолжительные моргания. Значимые различия были получены при обнаружении ошибок ($F(1,138)=7,4$, $p<0,01$). Это свидетельствует об избыточном операциональном напряжении (Holmqvist et al., 2015). В одном из исследований было показано, что длительность морганий значимо коррелирует с количеством ошибок в задачах, связанных со слежением за объектами (Orden Van, Jung, Makeig, 2000). В другом исследовании было установлено, что длительность морганий является функцией от времени выполнения задания (Morris, Miller, 1996) (Рисунок 23).

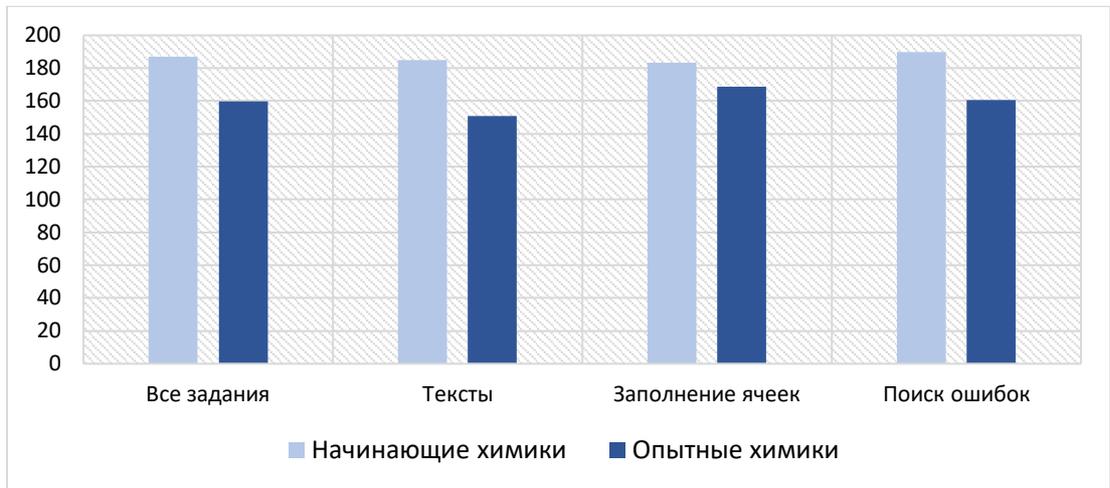


Рисунок 23 - Результаты сравнения групп по средней длительности морганий, мс

Общие показатели движений глаз на слайде

В целом, все показатели, связанные с продолжительностью нахождения на слайде (протяженность пути сканирования, количество фиксаций и саккад, общая продолжительность фиксаций и саккад, общая амплитуда саккад), были значимо меньше у профессионалов.

Однако ни по средней длительности фиксаций, ни по средней протяженности, а также продолжительности и скорости саккад значимых различий установлено не было (Таблица 17).

Таблица 17 - Основные показатели движений глаз по всему слайду (в скобках приведено стандартное отклонение)

Показатель	Начинающие химики	Опытные химики	F(1,138)	p
Средняя длительность фиксаций, мс	209,73 (1,86)	214,17 (1,87)	2,81	0,094
Средняя длительность саккад мс	46,22(0,31)	46,23 (0,23)	0	0,988
Средняя скорость саккад, градусы	132,44 (5,84)	118,05 (5,69)	3,10	0,079

Показатели движений глаз в областях интереса для задачи заполнения пропусков

Для сравнения эффективности стратегий поиска правильных решений были выделены зоны интереса (АОИ) на всех типах стимульного материала: задаче на моделирование схемы технологического процесса, задачах на поиск ошибок на схемах, задачах на переставление блоков на схемах.

Задача «моделирование схемы технологического процесса»

В задачах, где необходимо было заполнить пустые элементы в химических схемах, были выделены две зоны интереса: «пространство схемы», расположенное слева и «пространство ответов», расположенное в правой части слайда (Рисунок 24).

В области интереса «пространства схемы» было обнаружено одно значимое различие между экспертами и новичками – длительность первой фиксации. Этот показатель, свидетельствующий о скорости общей ориентировки в задании, был значимо меньше у экспертов. Считается, что длительность первой фиксации может отражать процессы узнавания и идентификации предъявляемого материала. Также длительность первой фиксации при чтении текста или решении задач может отражать активизацию лексических процессов (Holmqvist et al., 2015). В одном из исследований (Graef De, Christiaens, d'Ydewalle, 1990) было показано, что длительность первой фиксации выше на незнакомых и мало понятных объектах.

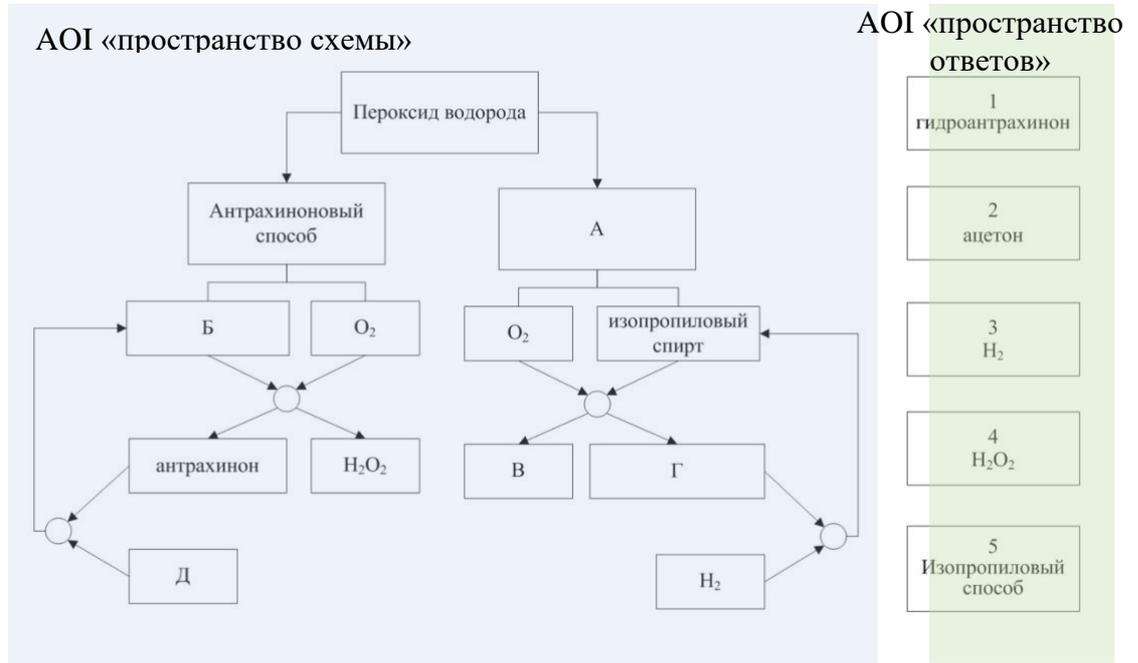


Рисунок 24 - Расположения зон интересов в заданиях на заполнение пропусков

Таким образом, разница в данном показателе может свидетельствовать о том, что для начинающих химиков предложенная схема химического процесса представляла большую сложность (Таблица 18).

Эксперты при решении данного типа задач больше сосредоточены на ответах и меньше обращаются к схеме, которую они хорошо представляют после прочтения предшествующего текста. Кроме того, важно отметить, что профессионалам были присущи более длительные фиксации как на пространстве ответов, так и на пространстве схемы. Считается, что короткие фиксации предназначаются для того, чтобы перекодировать элементы задачи и перевести их в рабочую память, длительные же фиксации свидетельствуют о более глубокой обработке визуальной информации (Holmqvist et al., 2015).

Таблица 18 - Результаты сравнения групп по задаче № 1 по областям интереса

Показатель	Начинающие химики	Опытные химики	F(1,138)	p
Область интереса «варианты ответов»				
Средняя длительность фиксаций*, мс	223,63(38,99)	243,11(40,12)	8,77	<0,01
Время первого нажатия на мышшь*, с	42,53 (32,16)	20,21 (11,48)	28,83	<0,01

Количество возвратов в зону интереса*	38,65 (17,07)	17,90 (6,26)	88,01	<0,01
Область интереса «пространство схемы»				
Средняя длительность фиксаций, мс	210,15 (33,45)	215,11 (23,32)	2,71	0,09
Время первого нажатия на мышь*, с	41,34 (12,32)	19,98 (8,21)	25,12	<0,01
Количество возвратов в зону интереса*	34,23 (13,12)	17,12 (4,34)	87,10	<0,01
<i>Знаком * отмечены показатели, которые статистически значимо различаются</i>				

Обнаружились значимые различия по средней длительности фиксации на области возможных вариантов ответа ($F(1,138)=8,77$, $p<0,01$). Оказалось, что у профессионалов длительность фиксаций на области выбора ответов значимо больше. Также было обнаружено, что они значимо быстрее принимают решение и быстрее совершают первое нажатие на мышь как в области вариантов ответов ($F(1,138)=28,83$, $p<0,01$), так и в области пространства схемы ($F(1,138)=25,12$, $p<0,01$). Этот показатель может быть связан со скоростью решения данного типа задач в целом: профессионалы решали данные задачи значимо быстрее. Установлено, что эксперты совершали меньшее количество переходов между областями интересов ($F(1,138)=87,10$, ($p<0,01$).

В «пространстве схемы» обнаружены значимые различия между экспертами и новичками по длительности первой фиксации: этот показатель значимо больше у новичков ($F(1,138)=4,05$; $p<0,05$). Это может рассматриваться как демонстрация недостаточной готовности новичков к работе со схемой технологического процесса; для них она была менее понятной.

Таким образом, на основе полученных данных о глазодвигательной активности, можно выделить различия в особенностях решения профессионально-специфичных задач химиками с разным уровнем профессионального опыта. Была принята одна из выдвигаемых гипотез: характер окуломоторной активности при решении профессионально-специфичных задач на моделирование схем технологических процессов отличается у химиков с разным уровнем профессионального опыта. Химики с высоким уровнем профессионального опыта тратят меньше времени на принятие решения и быстрее совершают первое нажатие на мышь, при этом они совершают меньшее количество возвратов в область

интересов и имеют большую продолжительность фиксации в областях интереса. Химикам с небольшим профессиональным опытом присуще более длительное время решения задачи, более короткие фиксации на области «вариантов ответов» и большое количество перемещений между областями интересов.

Качественный анализ решения задач

Следующим этапом обработки данных стал качественный анализ тепловых карт испытуемых с целью выявления паттернов решения задач. Тепловая карта (heatmap) является пространственной характеристикой взора испытуемого, отражающая частоту длительности просмотра или количество фиксаций. Цвет тепловой карты варьируется от синего к красному: красные области обозначают зоны, на которых внимание испытуемого было сфокусировано дольше всего, синие – в которых количество и частота фиксаций были минимальными. Ромбами на схемах обозначены блоки, на которые испытуемый кликал мышью.

На Рисунках 25 и 26 представлены «тепловые карты» распределения среднего времени нахождения взгляда в областях зрительного поля. Выделенные «тепловые карты» демонстрируют, что начинающие химики большую часть времени проводили на области выбора вариантов ответов, в то время как взор профессионалов был равномерно распределен по всему пространству схемы (как по области пространства ответов, так и по области пространства схемы).



Рисунок 25 - Пример тепловой карты начинающего химика при решении задачи на заполнение пропусков (ромбами отмечены блоки, на которые испытуемый нажимал мышью)

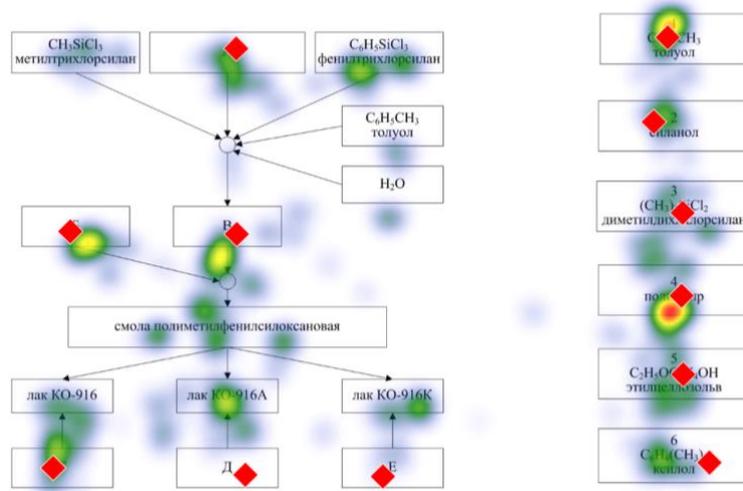


Рисунок 26 - Пример тепловой карты опытного химика при решении задачи на заполнение пропусков (ромбами отмечены блоки, на которые испытуемый нажимал мышью)

Кроме того, был проанализирован scanpath (путь сканирования) при решении задачи профессионалом и начинающим химиком (Рисунок 27 и Рисунок 28). Путь сканирования позволяет проследить, по какой траектории двигался глаз испытуемого.

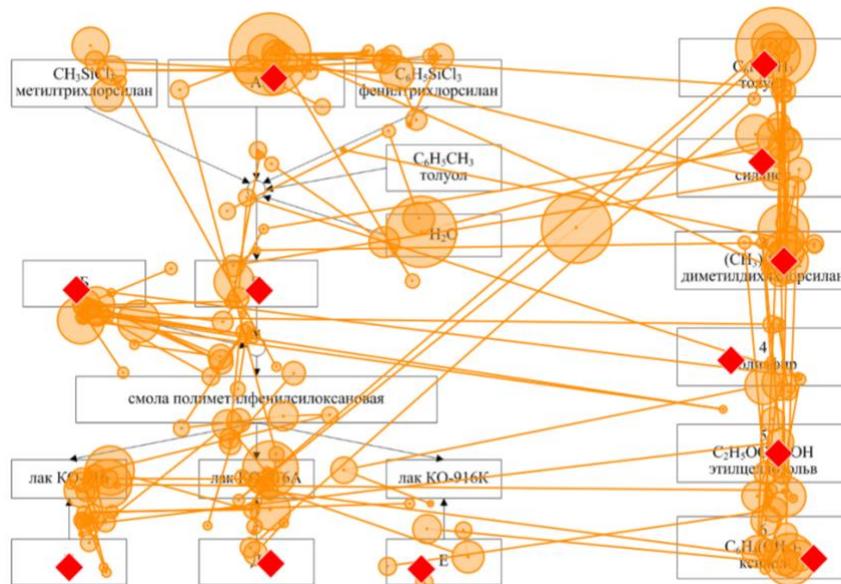


Рисунок 27 - Пример scanpath (пути сканирования) опытного химика при решении задачи на заполнение пропусков (ромбами отмечены блоки, на которые испытуемый нажимал мышью)

Анализируя пути сканирования опытных химиков, можно заметить, что они совершали небольшое количество перемещений между областями интереса (а именно между областью пространства ответов и областью пространства схемы) – в среднем около трех перемещений между вариантом ответа и его возможным расположением на схеме. Пути сканирования начинающих химиков, в свою очередь, характеризуются гораздо большим количеством перемещений взора между вариантом ответа и пустыми ячейками на схеме. Важным отличием от стратегии решения профессионалов является то, что начинающие химики пытались соотносить вариант ответа со многими ячейками, профессионалы же гораздо лучше представляли схему и могли найти правильное расположение ячейки гораздо быстрее. Это может свидетельствовать о том, что профессионалы, при решении подобных задач, строят ментальные репрезентации химического процесса для того, чтобы сократить время решения задачи, не обращаясь каждый раз к схеме.

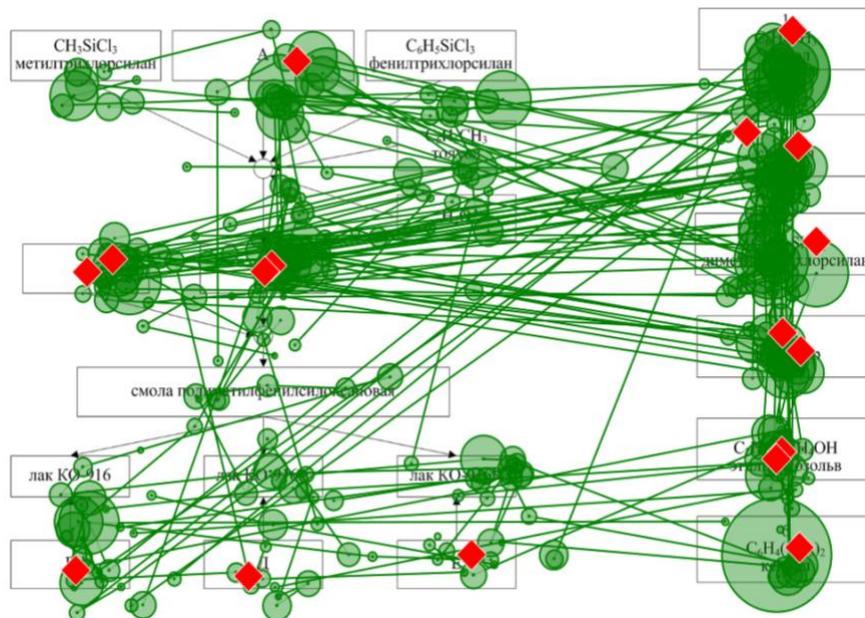


Рисунок 28 - Пример scanpath (пути сканирования) начинающего химика при решении задачи на заполнение пропусков (ромбами отмечены блоки, на которые испытуемый нажимал мышью)

Результаты сравнения эффективности и когнитивных стратегий новичков и экспертов в процессе поиска ошибок в схемах химических процессов

Показатели движений глаз в областях интереса для задач обнаружения ошибок

В задачах, где необходимо было найти и указать ошибки в представленных схемах, были выделены две области интересов. Первая область интереса включала блоки с ошибками, которые необходимо было найти (на каждой схеме было от двух до трех блоков с ошибками). Вторая область интереса включала все блоки без ошибок. В задачах, где необходимо было найти неверно расставленные блоки и переставить их местами, были выделены две зоны интереса. Первая область интереса – целевые блоки, которые нужно было поменять местами друг с другом (на каждой схеме блоков с ошибками было в количестве от одной до трех пар). Вторая область интереса – блоки без ошибок (Рисунок 29).

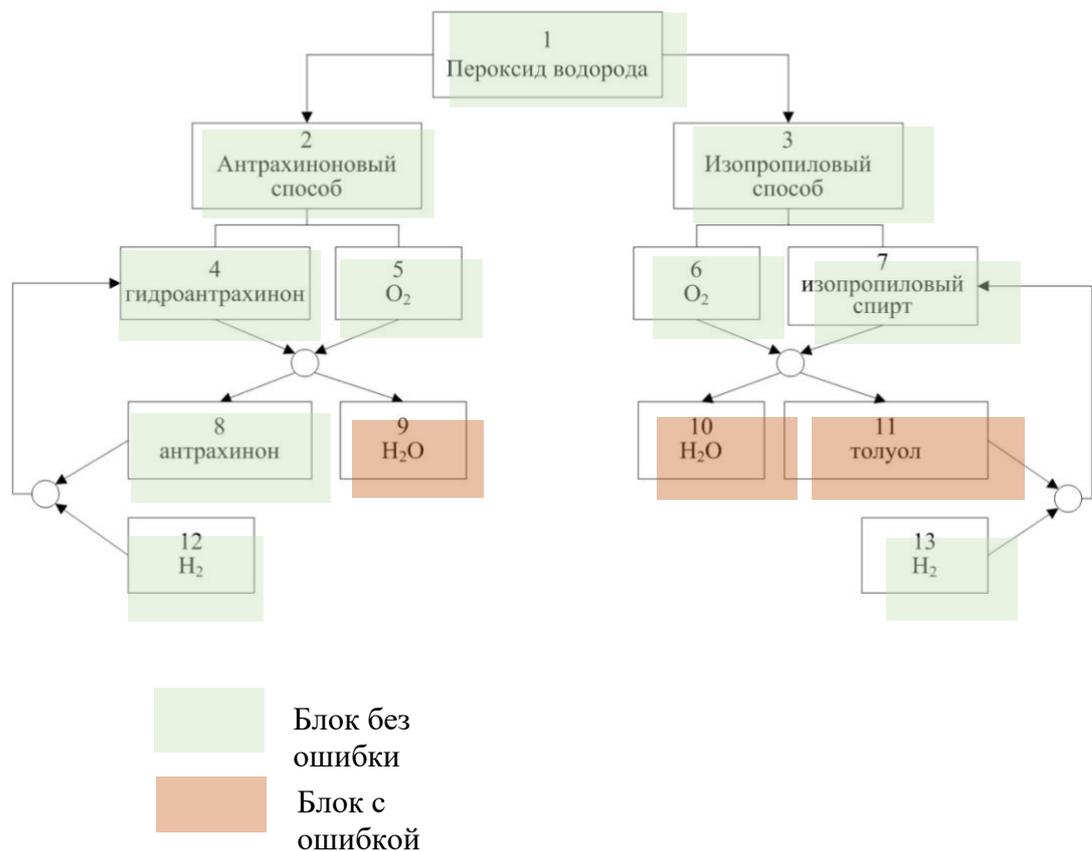


Рисунок 29 - Расположение областей интереса в задании на поиск ошибок на схеме

Было установлено, что группа профессионалов имела значимо более продолжительные фиксации на области интереса «блоки с ошибками» ($F(1,659)= 8$, ($p<0,01$)), при этом не было обнаружено статистически значимых различий по данному показателю в области интереса «блоки без ошибок» (Рисунок 30), поэтому можем сделать вывод о том, что профессионалы идентифицировали возможные блоки с ошибками и производили более глубокую когнитивную обработку выделенных областей.

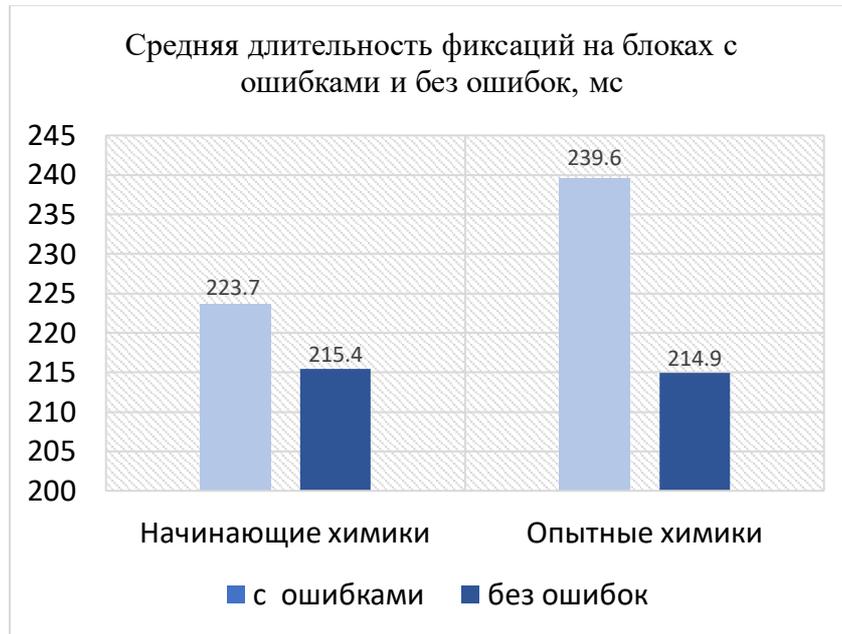


Рисунок 30 - Результаты сравнения групп по задаче на поиск ошибок по области интереса «блоки с ошибками» и «блоки без ошибок»

Полученные данные подтверждают результаты исследований (Nodine, Locher, Krupinski, 1993; Reingold, Charness, 2005) о том, что профессионалам присущи более длительные фиксации на значимой информации. Начинающие химики, в свою очередь, не могли разделить представленную на графической репрезентации информацию на релевантную и нерелевантную. Результаты сравнения групп по задаче № 2 «поиск ошибок на схеме» представлены в Таблице 19.

Нами обнаружено, что общее время пребывания во всех областях интереса (в блоках без ошибок и в блоках с ошибками) было значимо больше у начинающих химиков: это связано с тем, что общее время решения задач новичками было значимо выше. Интерес представляет такой показатель, как «количество возвратов в область интереса». Были обнаружены статистически значимые различия по

данному показателю в области интереса «блоки с ошибками» ($F(1,659)=43,2$, $p<0,01$) и «блоки без ошибок» ($F(1,1985)=110,5$, $p<0,01$): начинающие совершали большее количество возвратов в каждую из областей интереса.

Таблица 19 - Результаты сравнения групп по задаче № 2 «поиск ошибок на схеме»

Показатель	Начинающие химики	Опытные химики	F	p
Область интереса – «блоки с ошибками»			F (1,659)	
Dwell time, мс	3050,2(2089,7)	2617,8 (1549,8)	9,1	<0,01
Количество возвратов	7,1 (5,3)	4,9(3,3)	43,2	<0,01
Средняя длительность фиксации, мс	223,7 (66,3)	239,6 (78,2)	8,0	<0,01
Длительность первой фиксации, мс	208,1 (123,4)	215,5 (130,2)	0,6	0,45
Область интереса – «блоки без ошибок»			F (1,1985)	
Dwell time, мс	1895,1(2108,6)	1167,9 (1078,0)	91,2	<0,01
Количество возвратов	4,3 (4,8)	2,4 (2,6)	110,5	<0,01
Средняя длительность фиксации, мс	215,4 (77,3)	214,9 (82,9)	0,02	0,9
Длительность первой фиксации, мс	202,9(107,6)	211,14 (122,3)	2,5	0,1

Анализ передвижений взора начинающих химиков и опытных химиков в процессе анализа схем химических процессов

Следующим этапом обработки данных стал качественный анализ тепловых карт и путей сканирования пространства задачи.

Анализ тепловых карт показал, что взор профессионала был равномерно распределен по всей схеме задачи, при этом блок с ошибкой рассматривался профессионалом дольше всего. Взгляд начинающих химиков же преимущественно был сосредоточен в центральной части задачи. На тепловой карте наглядно видно, что у начинающих химиков возникали трудности в анализе пространства схемы: блок с ошибкой, на который необходимо было кликнуть мышью, практически не был рассмотрен испытуемым (Рисунок 31, Рисунок 32).

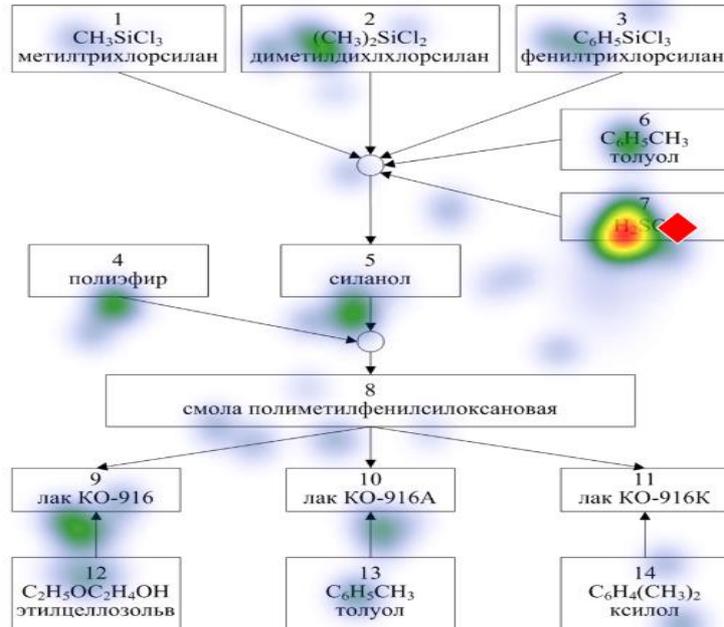


Рисунок 31 - Пример тепловой карты опытного химика при решении задачи на поиск ошибок на схемах (ромбами отмечены блоки, на которые испытуемый нажимал мышью)

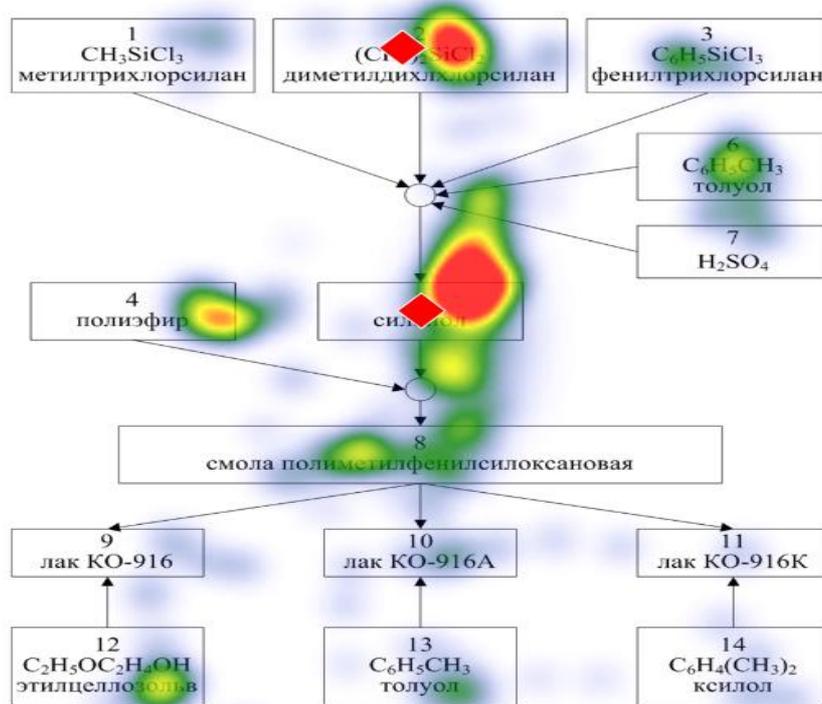


Рисунок 32 - Пример тепловой карты начинающего химика при решении задачи на поиск ошибок на схемах (ромбами отмечены блоки, на которые испытуемый нажимал мышью)

Было выявлено, что профессионалы при решении задачи на поиск ошибок в схемах совершают малое количество возвратов в нерелевантные блоки с названиями веществ, при этом, профессионалы гораздо чаще возвращаются в блоки с релевантной информацией (блоки с ошибками) (Рисунок 33). Это свидетельствует о способности профессионалов разделять пространство задачи на релевантные и нерелевантные области. Таким образом, подтвердилась одна из гипотез исследования: эксперты в области химии быстрее и точнее выделяют релевантные области в профессионально-специфичных задачах на моделирование схемы технологического процесса.

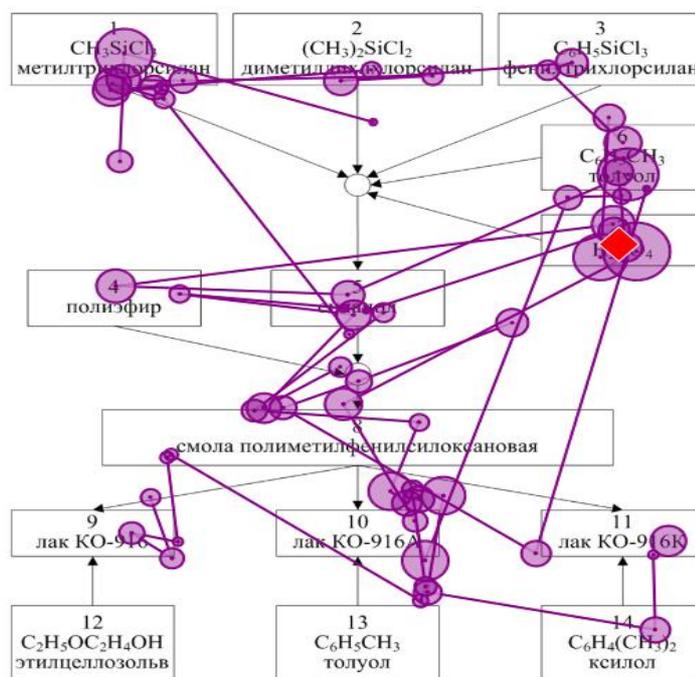


Рисунок 33 - Пример scanpath (пути сканирования) опытного химика при решении задачи на поиск ошибок (ромбами отмечены блоки, на которые испытуемый нажимал мышью)

Начинающие химики при решении задачи на поиск ошибок в схеме совершали большое количество возвратов в каждый из блоков (Рисунок 34). При этом количество возвратов в релевантные и нерелевантные области идентично, что свидетельствует о слабой способности выделять значимые элементы схемы.

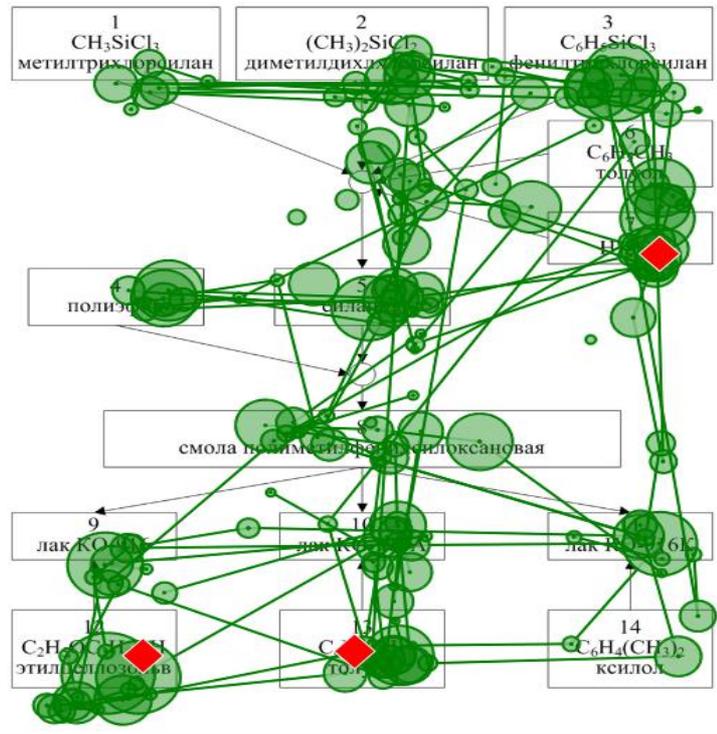


Рисунок 34 - Пример scanpath (пути сканирования) начинающего химика при решении задачи на поиск ошибок (ромбами отмечены блоки, на которые испытуемый нажимал мышью)

Качественный анализ данных позволяет сделать вывод о различиях в когнитивных стратегиях начинающих и опытных химиков при решении задач на поиск ошибок в репрезентациях.

Анализ post-hoc интервью испытуемых

После прохождения всех экспериментальных серий испытуемые должны были ответить на вопрос, каким образом они решали предъявляемые задачи.

Протокол ответов испытуемых представлен в Приложении Г. Нами были проанализированы ответы испытуемых и произведена кодировка ответов (Таблица 20). Были выделены категории ответов: когнитивные действия, первичная ориентировка.

Таблица 20 - Кодировка ответов испытуемых

		Начинающие химики (% испытуемых, который упомянул данное действие)	Опытные химики (% испытуемых, который упомянул данное действие)
Когнитивные действия	Соотнесения вариантов ответов с пустыми блоками на схемах технологических процессов	47,06 %	0%
	Построение ментальной репрезентации схемы технологического процесса на этапе чтения текста (символьный уровень химического знания)	11,8%	94,4%
	Построение ментальной репрезентации в виде технологического процесса на производстве в цехе (макроуровень химического знания)	6%	94,4%

Анализ ответов испытуемых показал, что 94,4% опытных химиков при решении задач на моделирование схемы технологического процесса использовали ментальную репрезентацию технологического процесса, построенную на этапе чтения текста. 17 из 18 экспертов сказали, что при чтении текста они старались «представить визуально технологический процесс». Некоторые ответы испытуемых звучали так: «сразу при чтении текста представлял, как этот процесс будет реализован на производстве»; «старался понять, как процесс будет протекать на нашем производстве, какие вещества будут задействованы». Эксперты в своих ответах говорили: «при чтении текста старался понять, какие этапы в процессе, какие вещества взаимодействуют на каждом этапе»; «строил процесс в хронологическом порядке, понимал, что происходит на каждом этапе, поэтому при решении задач было легче анализировать схему, потому что она уже была в голове»; «когда читал текст, сразу же представлял процесс, схемы в задачах были сходны с теми, что я представлял». Важным является то, что ментальная репрезентация схемы технологического процесса, которую строили эксперты, была очень близка к схеме процесса, представленного в задачах. Эксперты были способны построить адекватную задаче ментальную репрезентацию, что ускоряло процесс решения задач и помогало решать задачи с меньшим количеством ошибок. Эксперты в своих ответах говорили о том, что при решении задач схема технологического процесса у

них всегда была «в голове», нужно было только расставить варианты ответов в нужные блоки.

В свою очередь, в группе новичков только 11,8 процентов заявили о том, что им удалось построить ментальную репрезентацию на этапе чтения текста, при этом построенная ментальная репрезентация не была идентична той, что представлена в задачах, что, по мнению новичков только усложняло работу со схемой технологического процесса («я представлял процесс немного по-другому», «кажется, что я пропустил некоторые этапы»). Новички в своих ответах высказывали свое желание вернуться к тексту, чтобы «перечитать еще раз». При этом новички заявляли, что им было проще решить задачу, опираясь на варианты ответов. 47 процентов новичков утверждали, что при решении задач на моделирование схемы технологического процесса они соотносили варианты ответов со схемой технологического процесса, мысленно «подставляя каждый вариант ответа в пустой блок на схеме».

4.4. Обсуждение результатов сравнения когнитивных стратегий решения задач на моделирование схем технологических процессов специалистами-химиками с разным профессиональным опытом

В данном эксперименте мы проанализировали, как опытные и начинающие специалисты в области химии решают задачу моделирования схемы технологического процесса и поиска ошибок на схеме технологического процесса. Более дифференцированный анализ движений глаз и анализ устных ответов испытуемых позволил выявить разные по эффективности стратегии решения задачи на идентификацию молекул вещества (Таблица 21). Стратегия химиков с большим уровнем профессионального опыта оказалась более эффективной (с меньшим временем решения задачи и большим количеством верных ответов).

Все установленные различия между экспертами и новичками получили интерпретацию в рамках существования двух разных когнитивных стратегий решения задач. Были выделены и описаны характеристики когнитивных стратегий: длительность фиксации, время первого нажатия на мышшь, выделение релевантных областей в задаче, переходы между областями задачи, использование ментальных репрезентаций.

Таблица 21 – Показатели стратегий решения задач начинающих и опытных химиков

Показатели стратегий	Опытные химики	Начинающие химики
Длительность фиксации	Более длительные фиксации на области «вариантов ответов» в задачах на моделирование схем технологических процессов; более длительные фиксации в области «блоков с ошибками» в задачах на поиск ошибок в схемах	Более короткие фиксации на области «варианты ответов» в задачах на моделирование схем технологических процессов
Время первого нажатия на мышшь	В два раза быстрее, чем новички совершают первое нажатие на мышшь	В два раза дольше, чем эксперты совершают первое нажатие на мышшь
Выделение релевантных областей	Варианты ответов в задачах на моделирование схем технологических процессов	Область схемы технологического процесса
Переходы между областями задачи	Малое количество перемещений между областями задачи	Большое количество перемещений между областями задачи
Использование ментальных репрезентаций	Формирование и применение ментальных репрезентаций в виде схемы технологического процесса на этапе чтения текста.	Слабо выраженная способность формирования ментальных репрезентаций в процессе чтения текста.

Новички, читая описание химического процесса, не могли составить его адекватную ментальную репрезентацию, поэтому при решении задач со схемой технологического процесса они постоянно перемещали свой взор от одной области задачи к другой, сличая схему с вариантами ответа. Они не могли выделить релевантные области в задаче. Эта стратегия может быть отнесена к экзогенному типу, поскольку она в основном опирается на представленную на слайде информацию.

Эксперты были способны формировать и применять ментальные репрезентации, сконструированные на этапе чтения: в процессе чтения они формировали мысленный образ химического процесса, который позволял им не обращаться постоянно к схеме технологического процесса, представленной на экране, при решении задач. Такая стратегия может быть отнесена к эндогенному типу, поскольку в процессе решения задействуются преимущественно ментальные репрезентации.

4.5. Выводы по результатам сравнения когнитивных стратегий решения задач на моделирование схем технологических процессов специалистами-химиками с разным профессиональным опытом

1. Эксперты по сравнению с новичками быстрее, точнее и с меньшим психическим напряжением решали задачи на моделирование схем технологических процессов.

3. Было установлено, что эксперты дифференцируют отдельные части задачи, по отношению к которым они используют разные типы обработки информации. В ключевых областях текста и отдельных задач у экспертов регистрировался своеобразный паттерн глазодвигательной активности. Он характеризовался меньшим количеством более длительных фиксаций, которые в сумме приводили к более короткому времени пребывания в ключевых «зонах интереса» и меньшему количеству возвратов к ним. Все это свидетельствовало о том, что в значимых областях эксперты использовали более глубокую и сложную когнитивную обработку, при этом относительно других частей задачи этого не наблюдалось. В периоды более продолжительных остановок глаза профессионалы формируют ментальные репрезентации и/или обращаются к ним. Такая интерпретация более длительных фиксаций была обоснована Б. М. Величковским (Величковский, 2006). Мы полагаем, что опора на ментальные структуры позволяет сократить общее время решения задач и снизить процент ошибок. Похожие результаты обсуждались нами в более ранних исследованиях (Блинникова, Капица, Барлас, 2000; Ишмуратова, Блинникова, 2021). В данном случае был получен новый пакет доказательств существования таких возможностей опытных химиков. Начинающие химики, в свою очередь, распределяют внимание более равномерно по всем областям задачи.

4. Вся совокупность полученных данных может быть рассмотрена как доказательство существования двух разных стратегий в выполнении профессионально-специфичных задач. Химикам с небольшим профессиональным опытом свойственна стратегия поверхностного уровня когнитивной обработки, которая направлена на то, чтобы изъять как можно больше информации из предъявленного описания или схематического изображения. Такая стратегия может быть названа перцептивной или экзогенной. Она предполагает опору на информацию, считываемую со слайда, и приводит к существенным временным

затратам и возрастанию количества ошибок. Профессионалы используют более эффективную стратегию с обращением к более глубоким уровням когнитивной обработки, предполагающую использование ментальных репрезентаций. Такая стратегия решения задачи может быть названа эндогенной. Она ведет к существенному выигрышу во времени, поскольку затраты на дополнительную обработку в ходе одной фиксации во много раз меньше, чем потери от постоянных перемещений от одного информационного блока к другому. Это отсылает нас к исследованиям, демонстрирующим, что эксперты в большей степени опираются на ранее полученные знания (Atkins et al., 2013; Chi, Feltovich, Glaser, 1981; Kozma, Russell, 1997). В нашем исследовании удалось выявить механизм, который обеспечивает реализацию данных преимуществ.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

Попытки выявить структурные компоненты профессионального опыта наталкиваются на сложности анализа профессиональной деятельности. Для решения этой проблемы исследователи все чаще прибегают к анализу движений глаз, выявляя более эффективные когнитивные стратегии при решении как профессиональных, так и значимых задач в разных областях. Значительный интерес представляют когнитивные стратегии решения задач специалистами химической отрасли, поскольку особенности их профессиональной деятельности требуют интенсивной работы как с ментальными репрезентациями, так и с визуальными представлениями и осуществления постоянных переходов между репрезентациями разного уровня.

Предложенный Д. МакКлеландом подход сравнения полярных групп специалистов, обладающих разным опытом (McClelland, 1973), позволил выявить феномен «превосходства экспертов». Суть этого феномена сводится к тому, что более опытные специалисты решают задачи в рамках их профессионального опыта более успешно и с меньшими ресурсными затратами. Это касается множества разных аспектов их профессиональной деятельности в целом, и обработки информации, в частности. В нашем исследовании феномен «превосходства экспертов» был подтвержден. Было показано, что опытные профессионалы-химики решают задачи быстрее и с меньшим количеством ошибок, применяют более эффективную стратегию решения задач. Однако сегодня подтверждения подобных фактов уже недостаточно, требуется выяснить, что стоит за «превосходством экспертов», какие способы когнитивной обработки приводят их к успеху (Блинникова, Ишмуратова, 2019).

Несмотря на многолетнее изучение проблемы профессионального опыта в психологии, на данный момент еще не разработаны специализированные объективные методы оценки его уровня у специалистов естественнонаучных областей знания, в том числе специалистов в области химии. Многие авторы объясняют более высокие результаты профессионалов большим объемом прочных и хорошо организованных профессиональных знаний (Feldon, 2007; Gobet, 2017). В нашем исследовании мы максимально снизили влияние этого фактора: все участники, независимо от опыта, могли познакомиться с описанием химического процесса и составить полное представление о нем, изучить трехмерное изображение молекулы вещества. Хотя нельзя исключить того факта, что испытуемые

обращались к полученным вне экспериментальной ситуации знаниям, но они могли обойтись и без этого; сами условия задачи предоставляли всю необходимую информацию. Именно поэтому мы можем заключить, что «превосходство экспертов» заключается не в превосходстве в знаниях, а в когнитивных стратегиях решения задач (Блинникова, Ишмуратова, 2021).

Обобщение всех полученных данных привело к выявлению двух типов стратегий в решении задач, которые заключались в определенной последовательности действий, привлечении когнитивных ресурсов и основном способе решения. Первый тип стратегий, присущий экспертам, может быть обозначен как «эндогенные стратегии». Второй тип стратегий, который характерен для новичков, может быть назван как «экзогенные стратегии». Когнитивные стратегии зависят как от уровня профессионального опыта, так и от специфики решаемой задачи. Эксперты лучше понимают, какую стратегию эффективнее применять к тому или иному типу задач.

В задаче идентификации трехмерной молекулы использовались известные способы репрезентации химического знания, и вся необходимая для решения задачи информация была представлена на одном слайде. Это позволило экспертам использовать прямой доступ к долговременным системам хранения информации, и снизить время на когнитивную обработку и принятие решений. В задаче моделирования схемы технологического процесса вводная информация предшествовала появлению проблемного поля задачи, и эксперты формировали ментальную репрезентацию процесса на этапе чтения текста и использовали ее в процессе решения. Это потребовало более глубокой когнитивной обработки и увеличило нагрузку в процессе выбора ответа.

Были выделены общие характеристики и компоненты стратегий решения задач. Они представлены в Таблице 22.

Стратегии новичков и экспертов отличаются по **первичному анализу задачи**. Было показано, что эксперты способны быстрее ориентироваться в пространстве задачи. Эксперты способны быстро и эффективно определять ключевые аспекты задачи и выделять наиболее важные шаги для ее решения. Это соотносится с результатами проведенного ранее исследования (Ишмуратова, Моросанова, 2021): нами было показано, что с приобретением профессионального опыта развивается способность к планированию профессиональных целей. В отличие от экспертов,

новички часто сталкиваются с трудностями в ориентировке в задаче из-за их ограниченного опыта и знаний. Они испытывают затруднения в выделении главных аспектов задачи. Новички часто тратят больше времени на изучение задачи и принятие решения, что приводит к менее эффективным результатам.

Таблица 22 – Характеристики стратегий решения задач

Анализируемые показатели	Эндогенные стратегии («эксперты») (опытные химики)	Экзогенные стратегии («новички») (начинающие химики)
Первичный анализ задачи		
Распределение времени пребывания в различных областях задачи, post-hoc интервью.	Глубокое понимание проблемы, быстрая ориентировка в задаче, анализ ее аспектов, точное выделение цели задачи.	Поверхностный анализ задачи, неспособность быстрой ориентировки в пространстве задачи.
Построение ментальных репрезентаций		
Количество перемещений между областями интереса в задаче; анализ post-hoc интервью	Построение ментальных репрезентаций после знакомства с условиями задачи. Ментальные репрезентации разных уровней химического знания (макро-, микро-, символического уровня).	Менее выраженная способность построения ментальных репрезентаций в процессе решения задачи.
Выделение релевантных областей в задаче		
Средняя длительность фиксации на ключевых областях задачи; время пребывания в релевантных областях задачи; post-hoc интервью	Более точное выделение релевантных областей в задачах разного типа, а также при чтении профессионального текста.	Менее точное выделение релевантных областей в задачах разного типа.
Контроль за выполнением задачи		
Длительность и скорость саккад; post-hoc интервью	Большой контроль за выполнением задачи	Меньший контроль за выполнением задачи
Способность перехода между разными уровнями химического знания		
Количество переходов между областями интереса задачи	Более выраженная способность совершать переход между разными уровнями химического знания.	Менее выраженная способность совершать переход между разными уровнями химического знания.
Процесс принятия решения		
Количество возвратов к каждому из вариантов ответов, Scanpath, post-hoc интервью	Поиск ответа завершается после нахождения верного ответа	Большое количество возвратов к уже просмотренным ответам; многократное сравнение условия задачи с каждым из ответов.

Важнейшей характеристикой стратегий является «использование ментальных репрезентаций». Было обнаружено, что химики с большим опытом работы при решении всех типов задач моделируют ментальную репрезентацию. Это удалось выявить с помощью такого показателя как количество перемещений между

областями интереса задачи (областью условия задачи и областью вариантов ответов) и с помощью данных post-hoc интервью. С накоплением профессионального опыта химики приобретают важный когнитивный навык – построение ментальных репрезентаций, помогающий быстрее и точнее решать профессиональные задачи. В задачах на поиск правильного ответа с трехмерной молекулой вещества профессионалы конструировали ментальную репрезентацию названия вещества, что позволяло им быстрее находить верный ответ из списка. В задачах на моделирование схемы они создавали ментальную репрезентацию после прочтения текста на этапе решения задач они могли не обращаться к пространству схемы.

Еще одной характеристикой, по которой были выявлены различия между группами начинающих и опытных химиков, является **принцип выделения релевантных областей**. Для профессионалов релевантными областями задачи являлись те, которые не могли быть воспроизведены из прошлого опыта, например, трехмерное изображение молекулы, которое отличалось в каждой задаче. Для новичков же релевантными областями были те, которые не являются критически важными для решения задачи.

Было показано, что начинающие химики и химики-профессионалы отличаются степенью **контроля за выполнением задачи**. Опытным химикам присущи более короткие и медленные саккады, которые позволяют им лучше контролировать процесс решения задачи. Начинающие же химики совершали более длинные и быстрые саккады, что препятствовало контролю за ходом решения задачи.

В нашем исследовании было выявлено, что одной из характеристик стратегий решения задач является **степень овладения всеми уровнями химического знания**. В процессе профессиональной деятельности химики сталкиваются как с явлениями макроуровня (превращение веществ, наблюдаемые химические реакции), так и с явлениями микроуровня (записью химических соединений в виде формул, уравнений реакций (Высоцкая, Рехтман, 2001)). Нами экспериментально показано, что с накоплением профессионального опыта химики приобретают способность совершать более быстрые переходы между уровнями химического знания, и совершать переходы с меньшим количеством ошибок.

Когнитивные стратегии решения задач отличаются такой характеристикой, как **поиск правильного ответа**. Эксперты при нахождении правильного ответа

сразу же переходят к выполнению следующего задания, в то время как начинающие химики перепроверяют себя, просматривают все варианты ответов по нескольку раз. Это удалось обнаружить при качественном анализе пути сканирования (scanpath) решения задачи, а также при подсчете количества переходов между областью задачи и областью вариантов ответов. Еще одна важная особенность: эксперты при анализе условия задачи представляют в виде ментальной репрезентации правильный ответ, а уже затем переходят к просмотру вариантов ответов, то есть двигаются от условий задачи к вариантам ответов. В то время как начинающие действуют иначе: от вариантов ответов к условиям задачи. Полученные данные схожи с результатами эксперимента Дж. Ларкина и коллег (Larkin et al., 1980a).

Еще одна характеристика когнитивных стратегий, по которой были выявлены различия между группами опытных и начинающих химиков – **операциональная напряженность**. Было установлено, что решение задач специалистами, обладающими более высоким профессиональным опытом, связано с меньшей операциональной напряженностью, что проявлялось в меньшей частоте и длительности морганий. Большинство исследователей связывают моргания с общим уровнем напряжения (Holmqvist et al., 2015).

Следующей важной характеристикой стратегий является **использование визуальных представлений** при решении задач. Опытные и начинающие химики по-разному работают с визуально представленной информацией. Начинающие химики при решении задач опираются на визуальное представление, каждый раз возвращаясь к нему. Об этом свидетельствуют как данные интервью, так и большое количество перемещений между областями интереса в задаче. Они решали все задачи медленнее во многом в связи с использованием визуальной информации, представленной на слайде. В то время как опытные химики не обращались каждый раз к информации на слайде, так как они смогли построить адекватную ментальную репрезентацию задачи.

Кроме того, стоит отметить, что метод видеорегистрации движений глаз является одним из самых перспективных методов исследования и позволяет выявить когнитивные стратегии при решении профессионально-специфичных задач. Данный метод открывает возможности объективной диагностики уровня профессионального опыта и оценки перспектив развития сотрудников химической сферы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Несмотря на многолетнее изучение проблемы профессионального опыта в психологии, на данный момент еще не разработаны специализированные объективные методы оценки его уровня у специалистов естественнонаучных областей знания, в том числе специалистов в области химии.

Многие авторы объясняют более высокие результаты профессионалов большим объемом прочных и хорошо организованных профессиональных знаний (Feldon, 2007; Gobet, 2016). В нашем исследовании мы постарались снизить влияние этого фактора: все участники, независимо от опыта, могли познакомиться с описанием химического процесса и составить полное представление о нем, изучить трехмерное изображение молекулы вещества. Хотя нельзя исключить того факта, что испытуемые обращались к полученным вне экспериментальной ситуации знаниям, но они могли обойтись и без этого; сами условия задачи предоставляли всю необходимую информацию. Именно поэтому мы можем заключить, что «превосходство экспертов» заключается не в превосходстве в знаниях, а в когнитивных стратегиях решения задач.

Проведенный анализ позволяет утверждать, что превосходство профессионалов происходит за счет применения более эффективных стратегий поиска правильного ответа и большей уверенности в достижении желаемого результата. В частности, в задаче анализа схем химических процессов и идентификации молекул были получены данные о разных стратегиях распределения внимания между областями задачи и применении различных способов когнитивной обработки у профессионалов и студентов в области химии. В то же время, в задаче чтения текстов, описывающих химический процесс, скорость чтения и характер когнитивной обработки не различались и участников с разным профессиональным опытом, однако «новички» раз за разом перечитывали текст, возвращаясь к ключевым областям интереса.

Было обнаружено, что стратегии решения профессиональных задач зависят как от уровня профессионального опыта, так и от специфики решаемой задачи. У профессионалов высокая вариативность методов решения задач: в сложных схематических задачах им присущи более длительные фиксации на области с

вариантами ответов, которые необходимо вставить в пустые блоки схемы, а также более длительные фиксации на релевантных областях с ошибками на схеме; в тестовых задачах им присущи более длительные фиксации на области с изображением молекулы вещества, а также больший процент времени нахождения в области изображения молекулы вещества. Можем сделать вывод о том, что с увеличением уровня профессионального опыта специалисты приобретают понимание того, какие способы решения задач использовать в заданных условиях для эффективного достижения цели.

Изучение особенностей решения профессиональных задач химиками является важным и перспективным направлением исследований. Внедрение полученных в диссертационном исследовании данных в практику на химическом предприятии может существенно повысить эффективность производственных процессов.

Во-первых, полученные данные упростят обучение и адаптацию начинающих химиков. На химическом предприятии можно использовать данные для создания программ адаптации и обучения новичков, направленных на развитие у них эндогенных стратегий. Это позволит быстрее сократить разрыв в производительности между новичками и экспертами. Для новичков могут быть разработаны интерфейсы и инструменты поддержки принятия решений, которые будут помогать структурировать информацию и фокусироваться на релевантных областях задач. Это может включать более понятные схемы технологических процессов, подсказки по последовательности выполнения шагов или визуализацию молекулярных структур.

Во-вторых, полученные данные помогут разработать программы обучения и повышения квалификации. Могут быть разработаны обучающие программы для химиков, направленные на улучшение навыков быстрого анализа технологических процессов и принятия решений. Такие программы могут включать тренировки по визуализации молекул, преобразованию информации между различными формами представления (словесная запись, химическая формула, схема процесса).

В-третьих, полученные данные могут быть использованы для оценки компетентности сотрудника. Это поможет при подборе персонала на ключевые позиции, а также для распределения задач в зависимости от уровня профессионального опыта сотрудников. Например, более сложные задачи,

требующие быстрого принятия решений и глубокого анализа, можно назначать более опытным специалистам, в то время как задачи с меньшими требованиями к скорости и точности можно поручить новичкам. Особенно актуальна оценка специалистов-химиков при принятии руководством решения о переводе сотрудника в другой производственный цех или в другое подразделение. Разработанная в исследовании схема анализа когнитивных стратегий решения профессиональных задач позволит руководителям химических подразделений эффективнее принимать кадровые решения, особенно когда они связаны с новым производством.

И, наконец, данные диссертационного исследования могут быть использованы для минимизации ошибок и повышения внимательности. Полученные данные можно использовать для разработки тренингов и систем, которые помогают сотрудникам сосредотачиваться на критических зонах и минимизировать количество ошибок. Для этого можно создавать рабочие процедуры, которые используют успешные стратегии экспертов, например, более структурированный процесс анализа схем технологических процессов.

Поставленный в исследовании вопрос о различиях в когнитивных стратегиях начинающих и опытных специалистов в области химии показал свою перспективность для дальнейшей разработки.

ВЫВОДЫ

1. Сравнение эффективности решения профессионально-специфичных задач опытными и начинающими специалистами в области химии показало, что опытные специалисты быстрее решают профессионально-специфичные задачи и дают больше правильных ответов за счет использования эффективных когнитивных стратегий.

2. Выделены и описаны компоненты когнитивных стратегий решения профессиональных задач: построение ментальных репрезентаций, выделение релевантной информации в задаче, перемещения между областями задачи, контроль за выполнением задачи, скорость принятия решения.

3. Выделено два типа стратегий решения профессионально-специфичных задач в области химии, одни из которых используют опытные специалисты (эксперты) в области химии, а другие – начинающие специалисты (новички). Новичкам присущ **экзогенный тип стратегий**, заключающийся в постоянном обращении к предъявленному стимульному материалу; многократному перемещению между условием задачи и вариантами ответов; менее глубоким анализом по отношению к ключевым областям задачи; менее выраженной способностью строить адекватную задаче ментальную репрезентацию; слабо выраженной способностью выделять релевантные области в задачах разного типа.

4. Экспертам присущ **эндогенный тип стратегий**: они характеризуются преимущественной опорой на имеющиеся знания; построением адекватных задаче ментальных репрезентаций разного типа и обращением к ним в процессе решения задачи; незначительным количеством перемещений между условием задачи и вариантами ответов; точным выделением релевантных областей в задачах разного типа и более точным анализом релевантных областей.

5. Эксперты в области химии способны легче трансформировать различные формы представления профессиональной информации: легко совершать переход между текстовыми и схематическими представлениями химического процесса и между трехмерным изображением молекул веществ и словесной записью названия веществ.

6. Регистрация движений глаз в процессе решения задач опытными и начинающими специалистами позволила выявить различия в ряде глазодвигательных показателей (средней длительности фиксаций, амплитуде и скорости саккад, длительности первой фиксации), которые можно использовать для решения диагностических задач.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абдуллаева, М.М. Возможности психосемантического подхода к изучению содержания профессионального опыта специалистов / М. М. Абдуллаева // Мир психологии. 2017. – № 3. – С. 209–217.
2. Александров, И.О. Формирование структуры индивидуального знания / И.О. Александров // М.: Институт психологии РАН, 2006. — 560 с.
3. Андерсон, Д. Когнитивная психология / Д. Андерсон; пер. с англ. С. Комарова. – СПб.: Питер, 2002. - 496 с.
4. Анисимов, В.Н. Экспериментальный комплекс для одновременной регистрации движений глаз и электроэнцефалограммы / В.Н. Анисимов, Н.С. Ермаченко, А.А. Ермаченко и др. // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2012. – № 11. – С. 116-120.
5. Артемьева, Е.Ю. Профессиональная составляющая образа мира / Е.Ю. Артемьева, Ю.К. Стрелков // Мышление и общение активное взаимодействие с миром. Ярославль, 1988. – С. 52–66.
6. Барабанщиков, В.А. Регистрация и анализ направленности взора человека / В.А. Барабанщиков, А.В. Жегалло. – М.: Ин-т психологии РАН, 2013. – 314 с.
7. Барабанщиков, В.А. Айтрекинг: методы регистрации движений глаз в психологических исследованиях и практике / В.А. Барабанщиков, А.В. Жегалло; Московский гор. психолого-пед. ун-т м др. – М.: Когито-Центр, 2014. – 126 с.
8. Белопольский, В.И. Взор человека. Механизмы, модели, функции. – М.: Институт психологии РАН, 2013. – 417 с.
9. Бессонова, Ю.В. Использование айтрекинга для диагностики мотивации личности / Ю.В. Бессонова А.А. Обознов, Л.А. Лобанова // Айтрекинг в психологической науке и практике / под ред. В.А. Барабанщикова. – М.: Когито-Центр, 2015. - С. 147.
10. Блинникова, И.В. Анализ когнитивной компетентности специалистов химической отрасли на основе сравнения движений глаз у начинающих и опытных профессионалов / И.В. Блинникова, Ю.А. Ишмуратова // Организационная психология. — 2019. — Т. 9, № 1. — С. 13–33.
11. Блинникова, И.В. Решение задач экспертами и новичками в области химии: анализ ошибок, времени выполнения и параметров движений глаз / И.В. Блинникова, Ю.А. Ишмуратова // Вестник Московского университета. Серия 14: Психология. — 2021. — № 2. — С. 281–313.
12. Блинникова, И.В. Оценка компетентности профессионалов с использованием объективных поведенческих показателей (технологии регистрации движений глаз) / И.В. Блинникова, Ю.А. Ишмуратова, А.Б. Леонова // Мир психологии. — 2018. — № 4. — С. 131–141.
13. Блинникова, И.В. Функциональные и эмоциональные искажения в

- пространственных представлениях / И.В. Блинникова, М.С. Капица, Т.В. Барлас // Вестник МГУ. - 2000. – № 3. – С. 17–31.
14. Брунер, Дж. Психология познания. За пределами непосредственной информации / Дж. Брунер; пер. с англ. К. И. Бабицкого. - М.: Прогресс, 1977. - 413 с.
 15. Бокий, Г.Б. Введение в номенклатуру ИЮПАК: Как назвать химическое соединение / Г.Б. Бокий, Н.А. Голубкова. – М.: Наука, 1989. – 182 с.
 16. Борецка, К. Теория и практика изучения общей химии на основе профессиональной направленности в педвузах Польши: автореф. дис. ... доктора пед. наук: 13.00.02 / К. Борецка. - Санкт-Петербург, 1993. – 44 с.
 17. Брушлинский, А.В. Субъект: мышление, учение, воображение: избранные психологические труды / А.В. Брушлинский. – Воронеж: НПО Модэк, 1996. – 392 с.
 18. Величковский, Б.М. Когнитивная наука. Основы психологии познания / Б.М. Величковский. – М.: Смысл: Издательский центр Академия, 2006. – 432 с.
 19. Волкова, Е.В. Формирование когнитивных репрезентативных структур в процессе изучения школьного курса химии: дис. ... канд. психол. наук: 19.00.01 / Е.В. Волкова. – М., 2002. – 188 с.
 20. Волкова, Е.В. Формирование когнитивных репрезентативных структур в процессе изучения химии в школе / Е.В. Волкова // Вопросы психологии. – 2006. – № 2. – С. 37-49.
 21. Волкова, Е.В. Развитие ментальных структур как основы специальных способностей: дис. ... доктора психол. наук: 19.00.13 / Е.В. Волкова. – М., 2011. – 333 с.
 22. Высоцкая, Е.В. Слово о фундаментальном понятии / Е.В. Высоцкая, И.В. Рехтман // Химия: Методика преподавания в школе. – 2001. – № 1. – С. 51–57.
 23. Габриелян, О.С. Химия. 10 класс. Базовый уровень: Методическое пособие / О.С. Габриелян, А.В. Яшукова. – М.: Дрофа, 2008. – 222 с.
 24. Геллерштейн, С.Г. Методология психотехники. Предвосхищение. Эволюция. Труд. Избранные психологические труды: В 2 т. Том 1 / Ред.-сост. А.Г.Асмолов, О.Г.Носкова, О.Н.Черышева. – М.: Когито-Центр, 2017. – 442 с.
 25. Гиппенрейтер, Ю.Б. Движения человеческого глаза / Ю.Б. Гиппенрейтер. – М.: МГУ, 1978. – 256 с.
 26. Грушко, А.И. Применение систем регистрации движений глаз в психологической подготовке футболистов / А.И. Грушко, С.В. Леонов // Национальный психологический журнал. – 2015. – №. 2 (18). – С. 13-24.
 27. Гурова, Л.Л. Психологический анализ решения задач / Л.Л. Гурова. – Воронеж: ВГАУ, 1976. – 328 с.
 28. Демарева, В.А. Вегетативное обеспечение чтения обычных текстов и текстов с искажениями и перемешанными структурами на французском языке при элементарном уровне владения / В.А. Демарева, А.В. Полевая, Н.В. Кушина и

- др. // Психологические исследования. - Выпуск 9. – 2022. – С. 42.
29. Дернер, Д. Логика неудачи: стратегическое мышление в сложных ситуациях / Д. Дернер; пер. с нем. И.А. Васильева, А.Н. Корницкого. – М.: Смысл, 1997. – 240 с.
 30. Доманова, Е.Е. Специальные способности в структуре интегральной индивидуальности учителей биологии и химии: дисс. ... канд. психол. наук: 19.00.01 / Е.Е. Доманова. – Пермь, 1999. – 198 с.
 31. Дружинин, В.Н. Метафорические модели интеллекта / В.Н. Дружинин // Психологический журнал. – 1999. – № 6. – С. 44–52.
 32. Дьяков, И.Н., Психология шахматной игры / И.Н. Дьяков, Н.В. Петровский, П.А. Рудик. – М.: Издание авторов, 1926. – 159 с.
 33. Елина, И.Е. Компетентность как интегральная характеристика профессиональной деятельности государственных служащих: дис. ... канд. психол. наук: 19.00.13 / И.Е. Елина. – Москва, 1999. – 201 с.
 34. Зинченко, В.П. Основы эргономики. Учебное пособие / В.П. Зинченко, В.М. Мунипов. – М.: МГУ, 1979. – 344 с.
 35. Зонненшайн, М.Ф. Полиуретаны. Состав, свойства, производство, применение / М.Ф. Зонненшайн; пер. с англ. – СПб.: Профессия, 2018. – 516 с.
 36. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. Производство прочих основных неорганических химических веществ. ИТС 34-2017. – М.: Бюро НДТ. - 2017. – С. 57-68
 37. Ишмуратова, Ю.А. Особенности решения задач разного уровня студентами и профессионалами в области химии / Ю.А. Ишмуратова, И.В. Блинникова // Человеческий капитал. — 2021а. — Т. 4, № 148. — С. 173–180.
 38. Ишмуратова, Ю.А. Осознанная саморегуляция как ресурс решения профессиональных задач у студентов и профессионалов / Ю.А. Ишмуратова, В.И. Моросанова // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Психологические науки. — 2021. — № 3. — С. 129–141.
 39. Карпов, А.В. Психология метакогнитивных процессов личности / А.В. Карпов, И.М. Скитяева; РАН и др. – М.: Ин-т психологии РАН, 2005. – 344 с.
 40. Климов, Е.А. Введение в психологию труда: учеб. для вузов / Е.А. Климов. – М.: Культура и спорт : ЮНИТИ, 1998. – 349 с.
 41. Климов, Е.А. Психология труда, инженерная психология и эргономика + CD: учебник для академического бакалавриата / под ред. Е. А. Климова, О. Г. Носковой, Г. Н. Солнцевой. – М.: Юрайт, 2015. — 618 с.
 42. Корнилов, Ю.К. Мышление руководителя и методы его изучения: учеб. пособие / Ю.К. Корнилов. – Ярославль: ЯрГУ, 1982. – С. 37–42.
 43. Костин, А.Н. Организационно-процессуальный анализ психической регуляции сложной деятельности / А. Н. Костин, Ю. Я. Голиков. – М.: Ин-т психологии РАН, 2014. – 447 с.

44. Кузьменко, Н.Е. Химия для школьников старших классов и поступающих в вузы / Н.Е. Кузьменко, В.В. Еремин, В.А. Попков. – М.: Дрофа, 2001. – 544 с.
45. Кузьмина, Н.В. Профессионализм личности преподавателя и мастера производственного обучения / Н. В. Кузьмина. – М.: Высшая школа, 1990. – 119 с.
46. Кукушкина, Ю.А. Критическое мышление как фактор профессиональной компетентности программистов / Ю.А. Кукушкина, В.Ф. Спиридонов // Психология. Журнал Высшей школы экономики. – 2008. – Т. 5. – № 1. – С. 165-174
47. Лактионов А.Н. Координаты индивидуального опыта / А.Н. Лактионов. – Харьков: Бизнес Информ, 1998. – 492 с.
48. Леонтьев, А.Н. Проблемы развития психики. / А.Н. Леонтьев. – М.: Издательство Московского ун-ва, 1972. – 576 с.
49. Мамыкин, И.П. Аналогия в техническом творчестве / И.П. Мамыкин. – Минск: Наука и техника, 1972. – 168 с.
50. Маркова, А.К. Психология профессионализма / А.К. Маркова. – М.: Знание, 1996. – 312 с.
51. Матюшин, В.В. Анализ взаимосвязи осознанности (mindfulness) и эмоционального интеллекта среди представителей различных профессий / В.В. Матюшин, А.С. Сорокина, И.В. Блишкова // Субъект и личность в психологии саморегуляции. – Иваново: Научный мир, 2018. - С. 142-148.
52. Меньшикова, Г.Я. Холистические процессы восприятия лица: метод айтрекинга / Г.Я. Меньшикова, А.О. Пичугина // Экспериментальная психология. – 2020. – Т. 13, № 4. – С. 72-87.
53. Мусаев, Ю.И. О названиях органических соединений по правилам ИЮПАК / Ю.И. Мусаев, Э.Б. Мусаева, Л.Г. Гринева // Химия в школе. – 2009. – № 5. С. 49–55.
54. Новый справочник химика и технолога. Сырье и продукты промышленности органических и неорганических веществ. Ч. II / под ред. В.А. Столяровой. – СПб.: Профессионал, 2005. – С.153-154
55. Обознов, А. А. Концептуальные модели атомной станции у операторов с разным профессиональным стажем / А.А. Обознов, Е.Д. Чернецкая, Ю.В. Бессонова // Психологический журнал. – 2013. – Т. 34, № 4. – С. 47-57.
56. Петухов, В.В. Психология мышления: учеб.-метод. пособие для студентов фак. психологии гос. ун-тов / В.В. Петухов. – М.: Изд-во МГУ, 1987. – 87 с.
57. Пиаже, Ж. Психология интеллекта / Ж. Пиаже // Избранные психологические труды. – М.: Международная педагогическая академия, 1994. – С. 51-236
58. Платонов, К.К. О системе психологии / К.К. Платонов. – М.: Мысль, 1972. – 216 с.
59. Пономарев, Я.А. Психология творчества / Я.А. Пономарев. - М.: Наука, 1976. – 302 с.
60. Равен, Д. Компетентность в современном обществе: Выявление, развитие и

- реализация / Д. Равен; пер. с англ. – М.: Когито-Центр, 2002. – 396 с.
61. Реутов, О. А. Органическая химия : учебник : в 4 частях / О. А. Реутов, А. Л. Курц, К. П. Бутин. – 9-е изд. (эл.). – Москва : Лаборатория знаний, 2021. – Часть 1. – 570 с.
 62. Ришар, Ж.Ф. Ментальная активность: понимание, рассуждение, нахождение решений / Ж. Ришар. – М.: Ин-т психологии РАН, 1998. - 232 с.
 63. Серкин, В.П. Структура и функции образа мира в практической деятельности: автореф. дисс. ... докт. психол. наук: 19.00.03 / В.П. Серкин. - М.: МГУ им. М.В. Ломоносова. – 2005. – 50 с.
 64. Соболевский, М.В. Олигоорганосилоксаны: Свойства, получение, применение / М.В. Соболевский, И.И. Скороходов, К.П. Гриневиц. – М.: Химия, 1985. - 264 с.
 65. Спиридонов, В.Ф. Психология мышления. Решение задач и проблем: учеб. пособие / В.Ф. Спиридонов – М.: Генезис, 2006. – 319 с.
 66. Спиридонов, В.Ф. Исследования процесса решения задач и проблем в когнитивной психологии / В.Ф. Спиридонов // Методология и история психологии. - 2012. - Т. 6. – № 4. – С. 35
 67. Спиридонов, В.Ф. Новые методы изучения мыслительных процессов / В.Ф. Спиридонов // Психология: журнал Высшей школы экономики. - 2013. – Т. 10, № 4. – С. 5-38
 68. Стрелков, Ю.К. Комплексная методика изучения взаимодействия в летном экипаже / Ю.К. Стрелков // Методы исследования мышления и общения в производственной деятельности. – Ярославль: ЯрГУ, 1989. - С. 89–98.
 69. Стрелков, Ю.К. Инженерная и профессиональная психология: учеб. пособие / Ю.К. Стрелков. – М.: Высш. шк.: Academia, 2001. – 358 с.
 70. Стрелков, Ю.К. Операционально-смысловые структуры профессионального опыта / Ю.К. Стрелков // Психологические основы профессиональной деятельности: хрестоматия; сост. В.А. Бодров. – М.: Логос, 2007. - С. 261–268.
 71. Технология переработки углеводородных газов: учебник для вузов / В.С. Арутюнов, И.А. Голубева, О. Л. Елисеев, Ф.Г. Жагфаров. — М.: Юрайт, 2020. – 723 с.
 72. Технологии сохранения и воспроизведения когнитивного опыта / Отв. ред. В.Н. Носуленко. – М.: Институт психологии РАН, 2016. – 457 с.
 73. Тикунова, И.В. Справочник молодого лаборанта-химика / И.В. Тикунова, А.И. Артеменко, В.А. Малеванный. - М.: Высшая школа, 1985. – 247 с.
 74. Холодная, М. Психология интеллекта. Парадоксы исследования: учеб. пособие / М. Холодная. – М.: Юрайт, 2020. – 334 с.
 75. Чуприкова, Н.И. Психология умственного развития: Принцип дифференциации / Н.И. Чуприкова. - М.: АО Столетие, 1997. – 478 с.
 76. Шадриков, В.Д. Способности и деятельность / В.Д. Шадриков. – М.: Логос, 1994. – 315 с.

77. Юдин, Б.Г. Экспертиза / Б.Г. Юдин // Энциклопедия эпистемологии и философия науки. М.: Канон: Реабилитация, 2009. – С. 1166–1167.
78. Ярбус, А.Л. Роль движений глаз в процессе зрения / А.Л. Ярбус; отв. ред. Н. Д. Ньюберг. – М.: Наука, 1966. – 166 с.
79. Aarts, H. The automatic activation of goal-directed behaviour: The case of travel habit / H. Aarts, A.P. Dijksterhuis // *J. Environ. Psychol.* - 2000. - Vol. 20, № 1. - P. 75–82.
80. Abernethy, V. Training methodology: general versus specific visual training / V. Abernethy, D. Farrow // *Expert. Elit. Sport. INSEP.* - 2002. - P. 63–65.
81. Abernethy, V. Pickup of essential kinematics underpins expert perception of movement patterns / V. Abernethy, K. Zawit // *Journal of Motor Behavior.* – 2007. – Vol. 39, № 5. – P. 353-368
82. Adelson, B. Problem solving and the development of abstract categories in programming languages / B. Adelson // *Mem. Cognit.* - 1981. Vol. 9, № 4. - P. 422–433.
83. Afonso, J. The perceptual cognitive processes underpinning skilled performance in volleyball: Evidence from eye-movements and verbal reports of thinking involving an in situ representative task / J. Afonso, J. Garganta, A. McRobert et al. // *J. Sports Sci. Med.* - 2012. - Vol. 11, № 2. - P. 339-345.
84. Albanese, A. Why do we believe that an atom is colourless? Reflections about the teaching of the particle model / A. Albanese, M. Vicentini // *Sci. Educ.* - 1997. - Vol. 6, № 3. - P. 251–261.
85. Alberdi, E. Accommodating surprise in taxonomic tasks: The role of expertise / E. Alberdi, D.H. Sleeman, M. Korpi // *Cognitive Science.* – 2000. – Vol. 24, № 1. – P. 53-91.
86. Alexander, P.A., Graham S., Harris K. R. A perspective on strategy research: Progress and prospects / P.A. Alexander, S. Graham, K.R. Harris // *Educational psychology review.* – 1998. – Vol. 10. – P. 129-154.
87. Amadiou, F. Effects of prior knowledge and concept-map structure on disorientation, cognitive load, and learning / F. Amadiou, T. Van Gog, F. Paas et al. // *Learning and Instruction.* – 2009. – Vol. 19, № 5. – P. 376-386.
88. Anderson, J.R. Acquisition of cognitive skill // *Psychol. Rev.* - 1982. - Vol. 89, № 4. - P. 369.
89. Atkins, M.S. What do surgeons see: capturing and synchronizing eye gaze for surgery applications / M. S. Atkins, G. Tien, R.S.A. Khan et al. // *Surg. Innov.* - 2013. - Vol. 20, № 3. - P. 241–248.
90. Atwood, M.E. A process model for water jug problems / M.E. Atwood, P.G. Polson // *Cogn. Psychol.* - 1976. - Vol. 8, № 2. - P. 191–216.
91. Bargh, J.A. The unbearable automaticity of being / J.A. Bargh, T.L. Chartrand // *Am. Psychol.* -1999. - Vol. 54, № 7. - P. 462.
92. Bard, C. Analysis of gymnastics judges' visual search / C. Bard, M. Fleury, L. Carriere et al. // *Research Quarterly for Exercise and Sport.* – 1980. – Vol. 51, №

2. – P. 267-273.
93. Beilock, S.L. Expertise, attention, and memory in sensorimotor skill execution: Impact of novel task constraints on dual-task performance and episodic memory / S.L. Beilock, S.A. Wierenga, T.H. Carr // *The Quarterly Journal of Experimental Psychology: Section A*. – 2002. – Vol. 55, № 4. – P. 1211-1240.
 94. Bellenkes, A.H. Visual scanning and pilot expertise: the role of attentional flexibility and mental model development / A.H. Bellenkes, C.D. Wickens, A.F. Kramer // *Aviation, space, and environmental medicine*. – 1997. – Vol. 68, № 7. – P. 569-579.
 95. Bertrand, C. Effects of player position task complexity in visual exploration behavior in soccer / C. Bertrand, F. Thullier // *Int. J. Sport Psychol.* - 2009. - Vol. 40, № 2. - P. 306–323.
 96. Besnard, D. Troubleshooting in Mechanics: A Heuristic Matching Process / D. Besnard, L. Cacitti // *Cogn. Technol. Work.* - 2001. - Vol. 3, № 3. - P. 150–160.
 97. Blessing, S.B. How people learn to skip steps / S.B. Blessing, J.R. Anderson // *J. Exp. Psychol. Learn. Mem. Cogn.* - 1996. - Vol. 22, № 3. - P. 576.
 98. Blinnikova, I. Eye Movement Evidence of Cognitive Strategies in SL Vocabulary Learning / I. Blinnikova, A. Izmalkova // *Intelligent Decision Technologies 2016* / ed. by I. Czarnowski et al. - Cham: Springer International Publishing, 2016. - P. 311–322.
 99. Bond, R.R. Assessing computerized eye tracking technology for gaining insight into expert interpretation of the 12-lead electrocardiogram: an objective quantitative approach / R.R. Bond, T. Zhu, D. Finlay et al. // *J. Electrocardiol.* - 2014. - Vol. 47, № 6. - P. 895–906.
 100. Brookings, J.B. Psychophysiological responses to changes in workload during simulated air traffic control / J.B. Brookings, G.F. Wilson, C.R. Swain // *Biol. Psychol.* – 1996. - Vol. 42, № 3. - P. 361–377.
 101. Bruner, J.S. The course of cognitive growth // *Am. Psychol.* – 1964. - Vol. 19, № 1. - P. 1-15.
 102. Bucat, B. Learning at the Sub-micro Level: Structural Representations / B. Bucat, M. Mocerino // *Multiple Representations in Chemical Education* / ed. by J.K. Gilbert, D. Treagust. - Dordrecht: Springer Netherlands, 2009. - P. 11–29.
 103. Charness, N. The perceptual aspect of skilled performance in chess: Evidence from eye movements / N. Charness, E.M. Reingold, M. Pomplun et al. // *Mem. Cognit.* - 2001. - Vol. 29, № 8. - P. 1146–1152.
 104. Chase, W.G. Perception in chess / W.G. Chase, H.A. Simon // *Cogn. Psychol.* - 1973a. - Vol. 4, № 1. - P. 55–81.
 105. Chase, W.G. The mind's eye in chess / W.G. Chase, H.A. Simon // *Visual information processing*. : Elsevier. - 1973b. - P. 215–281.
 106. Cheng, M. Towards a Better Utilization of Diagrams in Research into the Use of Representative Levels in Chemical Education / M. Cheng, J.K. Gilbert // *Multiple Representations in Chemical Education* / ed. by J.K. Gilbert, D. Treagust. -

- Dordrecht: Springer Netherlands, 2009. - P. 55–73.
107. Chi, M.T.H. Categorization and representation of physics problems by experts and novices / M.T.H. Chi, P.J. Feltovich, R. Glaser // *Cogn. Sci.* - 1981. - Vol. 5, № 2. - P. 121–152.
 108. Chi, M.T.H. Expertise in problem solving / M.T.H. Chi, R. Glaser, E. Rees // *Advances in the psychology of human intelligence.* - Pittsburgh: Learning Research and Development Center, Univ. of Pittsburgh, 1981. - 120 p.
 109. Chittleborough, G. Correct interpretation of chemical diagrams requires transforming from one level of representation to another / G. Chittleborough, D. Treagust // *Res. Sci. Educ.* - 2008. - Vol. 38, № 4. - P. 463–482.
 110. Clark, R.C. E-learning and the science of instruction: Proven guidelines for consumers and designers of multimedia learning / R.C. Clark, R.E. Mayer, W. Thalheimer // *Perform. Improv.* - 2003. - Vol. 42, № 5. - P. 41–43.
 111. Clough, M.P. Teaching and assessing the nature of science: An introduction / M.P. Clough, J.K. Olson // *Sci. Educ.* - 2008. - Vol. 17, № 2–3. - P. 143–145.
 112. Coetzer, R.C. Eye detection for a real-time vehicle driver fatigue monitoring system / R.C. Coetzer, G.P. Hancke // *Intelligent Vehicles Symposium (IV) 2011 IEEE.* - IEEE, 2011. - P. 66–71.
 113. Cooke, N.J. Role of high-level knowledge in memory for chess positions / N.J. Cooke, R. Atlas, D. Lane et al. // *Am. J. Psychol.* - 1993. - P. 321–351.
 114. Cooper, L. Radiology image perception and observer performance: How does expertise and clinical information alter interpretation? Stroke detection explored through eye-tracking / L. Cooper, A. Gale, I. Darker et al. // *Medical Imaging 2009: Image perception, observer performance, and technology assessment.* – SPIE, 2009. – Vol. 7263. – P. 177-188.
 115. Crundall, D. Driving experience and the functional field of view / D. Crundall, G. Underwood, P. Chapman // *Perception.* - 1999. - Vol. 28, № 9. - P. 1075–1087.
 116. Davidowitz, B. Linking the macroscopic and sub-microscopic levels: Diagrams / B. Davidowitz, G. Chittleborough // *Multiple Representations in Chemical Education* / ed. by J.K. Gilbert, D. Treagust. - Dordrecht: Springer Netherlands, 2009. - P. 169–191.
 117. Devi, M.S. Driver fatigue detection based on eye tracking / M.S. Devi, P.R. Bajaj // *Emerging Trends in Engineering and Technology, 2008. ICETET'08. First International Conference : IEEE, 2008.* - P. 649–652.
 118. Dhillon, A.S. Individual differences within problem-solving strategies used in physics // *Sci. Educ.* - 1998. - Vol. 82, № 3. - P. 379–405.
 119. Dodd, D.H. *Cognition: mental structures and processes* / D.H. Dodd, R.M. White. - Boston: Allyn and Bacon, 1980. – 500 p.
 120. Dreyfus, S. Why expert systems do not exhibit expertise / S. Dreyfus, H. Dreyfus // *IEEE Intelligent Systems.* – 1986. – Vol. 1, № 2. – P. 86-90.
 121. Ericsson, K.A. The scientific study of expert levels of performance: General implications for optimal learning and creativity // *High Abil. Stud.* - 1998. - Vol. 9,

- № 1. - P. 75–100.
122. Ericsson, K.A. Long-term working memory / K.A. Ericsson, W. Kintsch // *Psychol. Rev.* - 1995. - Vol. 102, № 2. - P. 211-245.
 123. Ericsson, K.A. The role of deliberate practice in the acquisition of expert performance / K.A. Ericsson, R.T. Krampe, C. Tesch-Römer // *Psychol. Rev.* - 1993. - Vol. 100, № 3. – P. 363.
 124. Ericsson, K.A. Toward a general theory of expertise: Prospects and limits / K.A. Ericsson, J. Smith. - Cambridge University Press, 1991. – 344 p.
 125. Ericsson, K.A. The differential influence of experience, practice, and deliberate practice on the development of superior individual performance of experts / ed. by K.A. Ericsson et al. / *The Cambridge handbook of expertise and expert performance: 2nd ed.* // Cambridge University Press. - 2018. – P.745-769
 126. Esselman, B.J. Authenticity-Driven Design of a High-Enrollment Organic Laboratory Course / B.J. Esselman, N.J Hill, K.S. DeGlopper // *Journal of Chemical Education.* – 2023. – Vol. 100, № 12. – P. 4674-4685.
 127. Feldon, D.F. The implications of research on expertise for curriculum and pedagogy / D.F. Feldon // *Educ. Psychol. Rev.* - 2007. - Vol. 19, № 2. - P. 91–110.
 128. Feltovich, P.J. Issues of generality in medical problem solving / P.J. Feltovich, H.S. Barrows // *Tutorials Probl. Learn.* - 1984. - P. 128–142.
 129. Fitts, P.M. Learning and skilled performance in human performance / P.M. Fitts, M.I. Posner. - Belmont: CA Brock-Cole. - 1967. – 162 p.
 130. Fogarty, C. Eye movements and blinks: their relationship to higher cognitive processes / C. Fogarty, J.A. Stern // *Int. J. Psychophysiol.* - 1989. - Vol. 8, № 1. - P. 35–42.
 131. Frensch, P.A. Expertise and intelligent thinking: When is it worse to know better / P.A. Frensch, R.J. Sternberg // *Adv. Psychol. Hum. Intell.* - 1989. - V. 5, - P. 157–188.
 132. Gabel, D. Improving teaching and learning through chemistry education research: A look to the future // *J. Chem. Educ.* - 1999. - Vol. 76, № 4. - P. 548.
 133. Gegenfurtner, A. Expertise differences in the comprehension of visualizations: A meta-analysis of eye-tracking research in professional domains / A. Gegenfurtner, E. Lehtinen, R. Säljö // *Educ. Psychol. Rev.* - 2011. - Vol. 23, № 4. - P. 523–552.
 134. Gick, M.L. Analogical problem solving / M.L. Gick, K.J. Holyoak // *Cognitive psychology.* – 1980. – Vol. 12, № 3. – P. 306-355.
 135. Gilbert, J.K. Visualization: A metacognitive skill in science and science education // *Visualization in science education.* - Springer, 2005. - P. 9–27.
 136. Glaser, R. The future of testing: A research agenda for cognitive psychology and psychometrics // *Am. Psychol.* - 1981. - Vol. 36, № 9. - P. 923.
 137. Gobet, F. Understanding expertise: A multi-disciplinary approach / F. Gobet // Bloomsbury Publishing, 2017. – 328 p.;
 138. Godfrey-Smith, P. The strategy of model-based science // *Biol. Philos.* - 2006. - Vol. 21, № 5. - P. 725–740.

139. Gobet, F. The roles of recognition processes and look-ahead search in time-constrained expert problem solving: Evidence from grand-master-level chess / F. Gobet, H.A. Simon // *Psychological science*. – 1996. – Vol. 7, № 1. – P. 52-55.
140. Gould, J.D. Eye movements during visual search and memory search // *J. Exp. Psychol.* - 1973. - Vol. 98, № 1. - P. 184.
141. De Graef, P. Perceptual effects of scene context on object identification / P. de Graef, D. Christiaens, G. d'Ydewalle // *Psychol. Res.* - 1990. - Vol. 52, № 4. - P. 317–329.
142. De Groot, A.D. Perception and memory in chess: Studies in the heuristics of the professional eye / A.D. de Groot, F. Gobet, R.W. Jongman. - Van Gorcum and Co, 1996. – 315 p.
143. Di Stasi, L.L. Towards a driver fatigue test based on the saccadic main sequence: A partial validation by subjective report data / L.L. Di Stasi, R. Renner, A. Catena et al. // *Transp. Res. part C Emerg. Technol.* - 2012. - Vol. 21, № 1. - P. 122–133.
144. Haider, H. Eye movement during skill acquisition: More evidence for the information-reduction hypothesis / H. Haider, P.A. Frensch // *J. Exp. Psychol. Learn. Mem. Cogn.* - 1999. - Vol. 25, № 1. - P. 172.
145. Hansen, S.J.R. Multimodal study of visual problem solving in chemistry with multiple representations : PhD thesis. - Columbia University. - 2014.
146. Harrison, A.G. How do teachers and textbook writers model scientific ideas for students? // *Res. Sci. Educ.* - 2001. - Vol. 31, № 3. - P. 401–435.
147. Harrison, A.G. Secondary students' mental models of atoms and molecules: Implications for teaching chemistry / A.G. Harrison, D.F., Treagust // *Sci. Educ.* - 1996. - Vol. 80, № 5. - P. 509–534.
148. Harrison, A.G. The particulate nature of matter: Challenges in understanding the submicroscopic world / A.G. Harrison, D.F., Treagust // *Chemical education: Towards research-based practice.* - Springer, 2002. - P. 189–212.
149. Harsh, J.A. “Seeing” data like an expert: An eye-tracking study using graphical data representations / J.A. Harsh, M. Campillo, C. Murray et al. // *CBE—Life Sciences Education.* – 2019. – Vol. 18, № 3. – P. 32.
150. Harvey, S., Strategies that work: Teaching comprehension for understanding and engagement / S. Harvey, A. Goudvis. – Stenhouse publishers, 2007. – 399 p.
151. Hatano, G. Cognitive consequences of practice in culture specific procedural skills / G. Hatano // *Q. Newsl. Lab. Comp. Hum. Cogn.* - 1982. - Vol. 4, № 1. - P. 15–18.
152. Hinton, M.E. Students' microscopic, macroscopic, and symbolic representations of chemical reactions / M.E. Hinton, M.B. Nakhleh // *Chem. Educ.* - 1999. - Vol. 4, № 5. - P. 158–167.
153. Holding, D.H. The evaluation of chess positions // *Simul. Games.* - 1979. - Vol. 10, № 2. - P. 207–221.
154. Holmqvist, K. Eye tracking: A comprehensive guide to methods and measures / K. Holmqvist, M. Nystrom, R. Andersson et al. – Oxford: OUP, 2015. – 560 p.
155. Holsanova, J. Reading information graphics: The role of spatial contiguity and dual attentional guidance / J. Holsanova, N. Holmberg, K. Holmqvist // *Appl. Cogn.*

- Psychol. Off. J. Soc. Appl. Res. Mem. Cogn. - 2009. - Vol. 23, № 9. - P. 1215–1226.
156. Huestegge L. The development of hazard perception: Dissociation of visual orientation and hazard processing / L. Huestegge, E.M. Skottke, S. Anders et al. // *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*. – 2010. – Vol. 13, № 1. – P. 1-8.
157. Hyönä, J. Individual differences in reading to summarize expository text: Evidence from eye fixation patterns / J. Hyönä, Jr R.F. Lorch, J.K. Kaakinen // *J. Educ. Psychol.* - 2002. - Vol. 94, № 1. - P. 44.
158. Hyönä, J. Eye movement measures to study global text processing / J. Hyönä, Jr R.F. Lorch, M. Rinck // *The Mind's Eye*. - Elsevier, 2003. - P. 313–334.
159. Hyönä, J. Do adult readers know how they read? Evidence from eye movement patterns and verbal reports / J. Hyönä, A. Nurminen // *Br. J. Psychol.* - 2006. - Vol. 97, № 1. - P. 31–50.
160. Ingham, A.M. The use of analogue models by students of chemistry at higher education level / A.M. Ingham, J.K. Gilbert // *Int. J. Sci. Educ.* - 1991. - Vol. 13, № 2. - P. 193–202.
161. Jarodzka, H. In the eyes of the beholder: How experts and novices interpret dynamic stimuli / H. Jarodzka, K. Scheiter, P. Gerjets et al. // *Learning and instruction*. – 2010. – Vol. 20, № 2. – P. 146-154.
162. Jeffries, R. A process model for missionaries-cannibals and other river-crossing problems / R. Jeffries, P.G. Polson, L. Razran et al. // *Cogn. Psychol.* - 1977. - Vol. 9, № 4. - P. 412–440.
163. Johnson, C.I. An eye movement analysis of the spatial contiguity effect in multimedia learning / C.I. Johnson, R.E. Mayer // *J. Exp. Psychol. Appl.* - 2012. - Vol. 18, № 2. - P. 178.
164. Johnstone, A.H. Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem // *J. Comput. Assist. Learn.* - 1991. - Vol. 7, № 2. - P. 75–83.
165. Johnstone, A.H. Teaching of chemistry-logical or psychological? // *Chem. Educ. Res. Pract.* - 2000. - Vol. 1, № 1. - P. 9–15.
166. Kaakinen, J.K. Perspective effects on expository text comprehension: Evidence from think-aloud protocols, eyetracking, and recall / J.K. Kaakinen, J. Hyona // *Discourse Process*. - 2005. - Vol. 40, № 3. - P. 239–257.
167. Kalyuga, S. The expertise reversal effect // *Managing Cognitive Load in Adaptive Multimedia Learning*. - IGI Global, 2009. - P. 58–80.
168. Kasarskis, P. Comparison of expert and novice scan behaviors during VFR flight / P. Kasarskis, J. Stehwen, J. Hickox et al. // *Proceedings of the 11th international symposium on aviation psychology*. – 2001. – Vol. 6. – P. 1-6.
169. Kellman, P.J. Perceptual learning and human expertise / P.J. Kellman, P. Garrigan // *Phys. Life Rev.* - 2009. - Vol. 6, № 2. - P. 53–84.
170. Khan, R.S.A. Analysis of eye gaze: Do novice surgeons look at the same location as expert surgeons during a laparoscopic operation? / R.S.A. Khan, G. Tien, M.S. Atkins et al. // *Surg. Endosc.* - 2012. - Vol. 26, № 12. - P. 3536–3540.

171. Klahr, D. Studies of scientific discovery: Complementary approaches and convergent findings. / D. Klahr, H.A. Simon // *Psychol. Bull.* - 1999. - Vol. 125, № 5. - P. 524.
172. Klix, F. Parameters of cognitive efficiency: A new approach to measuring human intelligence. - Wien, Munchen, 1985. – 95 p.
173. Klostermann, A. Fewer fixations of longer duration? Expert gaze behavior revisited / A. Klostermann, S. Moeinirad // *German journal of exercise and sport research.* – 2020. – Vol. 50. – № 1. – P. 146-161.
174. Konstantopoulos, P. Investigating drivers' visual search strategies: Towards an efficient training intervention: PhD thesis / P. Konstantopoulos. - University of Nottingham. - 2009.
175. Kotz, J.C. Chemistry and chemical reactivity / J.C. Kotz, P.M. Treichel, J. Townsend. – Boston: Cengage Learning, 2012. – 1398 p.
176. Kozma, R. Multimedia and understanding: Expert and novice responses to different representations of chemical phenomena / R. Kozma, J. Russell // *J. Res. Sci. Teach.* - 1997. - Vol. 34, № 9. - P. 949–968.
177. Kozma, R. Students Becoming Chemists: Developing Representational Competence / R. Kozma, J. Russell // *Visualization in Science Education* / ed. by J.K. Gilbert. - Dordrecht: Springer Netherlands, 2005. - P. 121–145.
178. Kozma, R. The material features of multiple representations and their cognitive and social affordances for science understanding // *Learn. Instr.* - 2003. - Vol. 13, № 2. - P. 205–226.
179. Kozma, R. The roles of representations and tools in the chemistry laboratory and their implications for chemistry learning / R. Kozma, E. Chin, J. Russell et al. // *J. Learn. Sci.* - 2000. - Vol. 9, № 2. - P. 105–143.
180. Kraiger, K. Application of cognitive, skill-based, and affective theories of learning outcomes to new methods of training evaluation / K. Kraiger, J.K. Ford, E. Salas // *J. Appl. Psychol.* - 1993. - Vol. 78, № 2. - P. 311.
181. Krnel, D. Survey of research related to the development of the concept of 'matter' / D. Krnel, R. Watson, S.A. Glazar // *Int. J. Sci. Educ.* - 1998. - Vol. 20, № 3. - P. 257–289.
182. Krupinski, E.A. Eye-movement study and human performance using telepathology virtual slides. Implications for medical education and differences with experience / E.A. Krupinski, A.A. Tillack, L. Richter et al. // *Hum. Pathol.* - 2006. - Vol. 37, № 12. - P. 1543–1556.
183. Krupinski, E.A. Perception research in medical imaging / E.A. Krupinski, D. J. Manning, A. Gale // *British Journal of Radiology.* – 2005. - Vol. 78, № 932. – P. 683–685
184. Kundel, H.L. Holistic component of image perception in mammogram interpretation: gaze-tracking study / H.L. Kundel, C.F. Nodine, E.F. Conant et al. // *Radiology.* - 2007. - Vol. 242, № 2. - P. 396–402.
185. Lamberti, D.M. Presenting abstract versus concrete information in expert systems: what is the impact on user performance? / D.M. Lamberti, S.L. Newsome // *Int. J.*

- Man. Mach. Stud. - 1989. - Vol. 31, № 1. - P. 27–45.
186. Larkin, J. Models of competence in solving physics problems / J. Larkin, J. McDermott, D.P. Simon et al. // *Cogn. Sci.* – 1980a. - Vol. 4, № 4. - P. 317–345.
 187. Larkin, J. Expert and novice performance in solving physics problems / J. Larkin, J. McDermott, D.P. Simon et al. // *Science.* – 1980b. - Vol. 208, № 4450. - P. 1335–1342.
 188. Larkin, J. Understanding, problem representations, and skill in physics // *Think. Learn. Ski.* - Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates. - 1985. - Vol. 2. - P. 141–159.
 189. Laurent, E. Expertise in basketball modifies perceptual discrimination abilities, underlying cognitive processes, and visual behaviours / E.W. Laurent, P. Ward, A. Mark Williams et al. // *Vis. cogn.* - 2006. - Vol. 13, № 2. - P. 247–271.
 190. Lesgold, A. Complex problem solving in electronics / A. Lesgold, S. Lajoie // *Complex Probl. solving Princ. Mech.* - 1991. - P. 287–316.
 191. Litchfield, D. Learning from others: Effects of viewing another person's eye movements while searching for chest nodules / D. Litchfield, L.J. Ball, T. Donovan et al. // *Medical Imaging 2008: Image Perception, Observer Performance, and Technology Assessment.* - 2008. – Vol. 6917. – P. 343-351.
 192. Liversedge, S.P. Eye movements and measures of reading time / S.P. Liversedge, K.B. Paterson, M.J. Pickering // *Eye guidance in reading and scene perception.* - Elsevier, 1998. – P. 55–75.
 193. Logan, G.D. On the ability to inhibit thought and action: A theory of an act of control / G.D. Logan, W.B. Cowan // *Psychol. Rev.* - 1984. - Vol. 91, № 3. - P. 295.
 194. Logan, G.D. Toward an instance theory of automatization // *Psychol. Rev.* - 1988. - Vol. 95, № 4. - P. 492.
 195. Lovett, M.C. History of success and current context in problem solving: Combined influences on operator selection / M.C. Lovett, J.R. Anderson // *Cogn. Psychol.* - 1996. - Vol. 31, № 2. - P. 168–217.
 196. Maeyer, J. The role of intuitive heuristics in students' thinking: Ranking chemical substances / J. Maeyer, V. Talanquer // *Sci. Educ.* - 2010. - Vol. 94, № 6. - P. 963–984.
 197. Mann, D.T.Y. Perceptual-cognitive expertise in sport: A meta-analysis / D.T.Y. Mann, A.M. Williams, W. Paul et al. // *J. Sport Exerc. Psychol.* - 2007. - Vol. 29, № 4. - P. 457–478.
 198. Mason, L. An eye-tracking study of learning from science text with concrete and abstract illustrations / L. Mason, P. Pluchino, M.C. Tornatora et al. // *J. Exp. Educ.* 2013. - Vol. 81, № 3. - P. 356–384.
 199. McClelland, D.C. Testing for competence rather than for «intelligence» // *Am. Psychol.* - 1973. - Vol. 28, № 1. - P. 1–14.
 200. McRobert, A.P. Tracing the process of expertise in a simulated anticipation task / A.P. McRobert, A.M. Williams, P. Ward et al. // *Ergonomics.* – 2009. – Vol. 52, № 4. – P. 474-483.

201. Moreno, F. J. Visual search strategies of experienced and nonexperienced swimming coaches / F.J. Moreno, J.M. Saavedra, R. Sabido et al. // *Perceptual and Motor skills*. – 2006. – Vol. 103, № 3. – P. 861-872.
202. Morris, T.L., Miller J. C. Electrooculographic and performance indices of fatigue during simulated flight / T.L. Morris, J.C. Miller // *Biological psychology*. – 1996. – Vol. 42, № 3. – P. 343-360.
203. Mulford, D.R. An inventory for alternate conceptions among first-semester general chemistry students / D.R. Mulford, W.R. Robinson // *J. Chem. Educ.* - 2002. - Vol. 79, № 6. - P. 739.
204. Nicoll, G. A qualitative investigation of undergraduate chemistry students' macroscopic interpretations of the submicroscopic structures of molecules // *J. Chem. Educ.* - 2003. - Vol. 80, № 2. - P. 205.
205. Nieuwenhuys, A. The influence of anxiety on visual attention in climbing / A. Nieuwenhuys, J.R. Pijpers, R. Oudejans et al. // *J. Sport Exerc. Psychol.* - 2008. - Vol. 30, № 2. - P. 171–185.
206. Nodine, C.F. The role of formal art training on perception and aesthetic judgment of art compositions / C.F. Nodine, P.J. Locher, E.A. Krupinski // *Leonardo*. - 1993. - Vol. 26, № 3. - P. 219–227.
207. Noh, T. Instructional influence of a molecular-level pictorial presentation of matter on students' conceptions and problem-solving ability / T. Noh, L.C. Scharmann // *J. Res. Sci. Teach. Off. J. Natl. Assoc. Res. Sci. Teach.* - 1997. - Vol. 34, № 2. – P. 199–217.
208. Orden, K.F.V. Combined eye activity measures accurately estimate changes in sustained visual task performance / K.F. Van Orden, T.-P. Jung, S. Makeig // *Biol. Psychol.* - 2000. - Vol. 52, № 3. - P. 221–240.
209. Panchuk, D. Effect of narrowing the base of support on the gait, gaze and quiet eye of elite ballet dancers and controls / D. Panchuk, J.N. Vickers // *Cogn. Process.* - 2011. - Vol. 12, № 3. - P. 267–276.
210. Phillips, L.H. Mental planning and the Tower of London task / L.H. Phillips, V.E. Wynn, S. McPherson et al. // *Q. J. Exp. Psychol. Sect. A.* - 2001. - Vol. 54, № 2. - P. 579–597.
211. Piras, A. The effect of fixation transitions on quiet eye duration and performance in the soccer penalty kick: Instep versus inside kicks / A. Piras, J.N. Vickers // *Cogn. Process.* - 2011. - Vol. 12, № 3. - P. 245–255.
212. *Psychology of reading : 2nd ed.* / ed. by K. Rayner et al. - New York: Psychology Press, 2012. – 496 p.
213. Rau, M.A. Connection making between multiple graphical representations: A multi-methods approach for domain-specific grounding of an intelligent tutoring system for chemistry / M.A. Rau, J.E. Michaelis, N. Fay // *Comput. Educ.* - 2015. - Vol. 82. - P. 460–485.
214. Rayner, K. Eye movements and moment-to-moment comprehension processes in reading / K. Rayner, T.J. Slattery // *Beyond Decod. Behav. Biol. Found. Read.*

- Compr. - 2009. - P. 27–45.
215. Rayner, K. Eye movements in reading and information processing: 20 years of research / K. Rayner // *Psychol. Bull.* - 1998. - Vol. 124, № 3. - P. 372.
 216. Rehder, B. A causal model theory of categorization / B. Rehder // *Proceedings of the 21st annual meeting of the Cognitive Science Society.* -1999. - P. 595–600.
 217. Reingold, E.M. Eye movements and visual expertise in chess and medicine / E.M. Reingold, H. Sheridan // *Oxford Handbook eye movements* / ed. by S. Liversedge et al. - 2011. - P. 523-550.
 218. Reingold, E.M. Perception in chess: Evidence from eye movements / E.M. Reingold, N. Charness // *Cogn. Process. eye Guid.* - 2005. - P. 325–354.
 219. Reingold, E.M. Visual span in expert chess players: Evidence from eye movements / E.M. Reingold, N. Charness, M. Pomplun et al. // *Psychol. Sci.* - 2001. - Vol. 12, № 1. - P. 48–55.
 220. Ripoll, H. Analysis of information processing, decision making, and visual strategies in complex problem solving sport situations / H. Ripoll, Y. Kerlirzin, J.F. Stein et al. // *Hum. Mov. Sci.* - 1995. - Vol. 14, № 3. - P. 325–349.
 221. Russell, J. Assessing learning from the use of multimedia chemical visualization software / J. Russell, R. Kozma // *Visualization in science education.* - Springer, 2005. - P. 299–332
 222. Savelsbergh, G.J. Visual search, anticipation and expertise in soccer goalkeepers / G.J. Savelsbergh, A.M. Williams, J.V.D. Kamp et al. // *Journal of sports sciences.* – 2002. – Vol. 20, № 3. – P. 279-287.
 223. Scardamalia, M. Technologies for knowledge-building discourse / M. Scardamalia, C. Bereiter // *Commun. ACM.* - 1993. - Vol. 36, № 5. - P. 37–41.
 224. Schlag, S. Supporting learning from illustrated texts: Conceptualizing and evaluating a learning strategy / S. Schlag, R. Ploetzner // *Instr. Sci.* - 2011. - V. 39, № 6. - P. 921–937.
 225. Schleicher, R. Blinks and saccades as indicators of fatigue in sleepiness warnings: looking tired? / R. Schleicher, N. Galley, S. Briest et al. // *Ergonomics.* - 2008. - Vol. 51, № 7. - P. 982–1010.
 226. Schneider, W. Controlled and automatic human information processing: I. Detection, search, and attention / W. Schneider, R.M. Shiffrin // *Psychol. Rev.* - 1977. - Vol. 84, № 1. - P. 1
 227. Schriver, A.T. Expertise differences in attentional strategies related to pilot decision making / A.T. Schriver, D.G. Morrow, C.D. Wickens et al. // *Hum. Factors.* - 2008. - Vol. 50, № 6. - P. 864–878.
 228. Shiffrin, R.M. Controlled and automatic human information processing: II. Perceptual learning, automatic attending and a general theory / R.M. Shiffrin, W. Schneider // *Psychol. Rev.* - 1977. - Vol. 84, № 2. - P. 127.
 229. Shinar, D. Eye movements in curve negotiation / D. Shinar, E.D. McDowell, T.H. Rockwell // *Hum. Factors.* - 1977. - Vol. 19, № 1. - P. 63–71.
 230. Silberberg, M. *Chemistry: The Molecular Nature of Matter and Change* /

- M. Silberberg, P. Amateis. – 8th ed. - McGraw-Hill, 2017. – 1264 p.
231. Simmons, P.E. Problem-solving behaviors during a genetics computer simulation: Beyond the expert/novice dichotomy / P.E. Simmons, V.N. Lunetta // *J. Res. Sci. Teach.* - 1993. - Vol. 30, № 2. - P. 153–173.
 232. Simon, H.A. Human problem solving: The state of the theory in 1970 / H.A. Simon, A. Newell // *Am. Psychol.* - 1971. - Vol. 26, № 2. - P. 145.
 233. Singley, M.K. The transfer of text-editing skill / M.K. Singley, J.R. Anderson // *International Journal of Man-Machine Studies.* – 1985. – Vol. 22, № 4. – P. 403-423.
 234. Sloutsky, V.M. Problem representation in experts and novices: Part 2. Underlying processing mechanisms / V.M. Sloutsky, A. Yarlas // *Proceedings of the xxii annual conference of the cognitive science society.* – Erlbaum Mahwah, NJ, 2000. – P. 475-480.
 235. Sonnentag, S. Expertise in professional software design: A process study / S. Sonnentag // *J. Appl. Psychol.* - 1998. - Vol. 83, № 5. - P. 703.
 236. Sternberg, R.J. Metacognition, abilities, and developing expertise: What makes an expert student? / R.J. Sternberg // *Instr. Sci.* - 1998. - Vol. 26, № 1. - P. 127–140.
 237. Taber, K.S. Learning at the symbolic level // *Multiple Representations in Chemical Education* / ed. by J.K. Gilbert, D. Treagust. - Dordrecht: Springer Netherlands, 2009. - P. 75–105.
 238. Taber, K.S. Learning processes in chemistry: Drawing upon cognitive resources to learn about the particulate structure of matter / K.S. Taber, A. García-Franco // *J. Learn. Sci.* - 2010. - Vol. 19, № 1. - P. 99–142.
 239. Talanquer, V. Commonsense chemistry: A model for understanding students' alternative conceptions / V. Talanquer // *J. Chem. Educ.* - 2006. - Vol. 83, № 5. - P. 811.
 240. Tang, H. Eye-tracking study of complexity in gas law problems / H. Tang, N. Pienta // *J. Chem. Educ.* - 2012. - Vol. 89, № 8. - P. 988–994.
 241. Tang, H. Permutation test for groups of scanpaths using normalized Levenshtein distances and application in NMR questions / H. Tang, J.J. Topczewski, A.M. Topczewski et al. // *Proceedings of the Symposium on Eye Tracking Research and Applications.* - New York: Association for Computing Machinery. - 2012. - P. 169-172.
 242. Tasker, R. Research into practice: visualisation of the molecular world using animations / R. Tasker, R. Dalton // *Chem. Educ. Res. Pract.* - 2006. - Vol. 7, № 2. - P. 141–159.
 243. *The Oxford handbook of expertise: Research and application* / P. Ward, J.M. Schraagen, J. Gore, E. Roth (Eds). – Oxford: OUP, 2019. – 1298 p.
 244. Velichkovsky, B. M. Towards an express-diagnostics for level of processing and hazard perception / B.M. Velichkovsky, A. Rothert, M. Kopf et al. // *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour.* – 2002. – Vol. 5, № 2. – P. 145-156.
 245. Vicente, K.J. An ecological theory of expertise effects in memory recall /

- K.J. Vicente, J.A.H. Wang // *Psychological review*. – 1998. – Vol. 105, № 1. – P. 33.
246. Vickers, J.N. Knowledge structures of expert-novice gymnasts / J.N. Vickers // *Hum. Mov. Sci.* - 1988. - Vol. 7, № 1. - P. 47–72.
247. Vogt, S. Expertise in pictorial perception: eye-movement patterns and visual memory in artists and laymen / S. Vogt, S. Magnussen // *Perception*. - 2007. - Vol 36, № 1. - P. 91–100.
248. Voss, J.F. Problem-solving skill in the social sciences / J.F. Voss, T.R. Greene, T.A. Post et al. // *Psychol. Learn. Motiv.* - 1983. - Vol. 17, P. 165–213.
249. Vrzakova, H. Hard lessons learned: mobile eye-tracking in cockpits / H. Vrzakova, R. Bednarik // *Proceedings of the 4th Workshop on Eye Gaze in Intelligent Human Machine Interaction*. - New York: Association for Computing Machinery. – 2012. – Vol. 7. - P. 1-6.
250. Weibel, N. Let's look at the cockpit: exploring mobile eye-tracking for observational research on the flight deck / N. Weibel, A. Fouse, C. Emmenegger et al. // *Gaze-In '12: Proceedings of the Symposium on Eye Tracking Research and Applications*. - New York: Association for Computing Machinery. - 2012. - P. 107–114.
251. White, R.W. Motivation reconsidered: The concept of competence / R.W. White // *Psychol. Rev.* - 1959. - Vol. 66, № 5. - P. 297.
252. Williams, A.M. Anxiety, expertise, and visual search strategy in karate / A.M. Williams, D. Elliott // *J. Sport Exerc. Psychol.* - 1999. - Vol. 21, № 4. - P. 362–375.
253. Williams, A.M. Perceiving patterns of play in dynamic sport tasks: Investigating the essential information underlying skilled performance / A.M. Williams, N.J. Hodges, J.S. North et al. // *Perception*. - 2006. - Vol. 35, № 3. - P. 317–332.
254. Wilson, M. Psychomotor control in a virtual laparoscopic surgery training environment: gaze control parameters differentiate novices from experts / M. Wilson, J. McGrath, S. Vine, et al. // *Surgical endoscopy*. – 2010. – Vol. 24. – P. 2458-2464.
255. Wolkoff, P. Eye complaints in the office environment: precorneal tear film integrity influenced by eye blinking efficiency / P. Wolkoff, J. Nojgaard, P. Troiano et al. // *Occup. Environ. Med.* - 2005. - Vol. 62, № 1. - P. 4–12.
256. Wood, G. Visual expertise in detecting and diagnosing skeletal fractures / G. Wood, K.M. Knapp, B. Rock et al. // *Skeletal Radiol.* - 2013. - Vol. 42. - № 2. - P. 165–172.
257. Wright, T. Images of atoms / T. Wright // *Aust. Sci. Teach. J.* - 2003. - Vol. 49, № 1. - P. 18.
258. Yaroch, W.L. Student understanding of chemical equation balancing / W.L. Yaroch // *J. Res. Sci. Teach.* - 1985. - Vol. 22, № 5. - P. 449–459

ПРИЛОЖЕНИЯ**Приложение А**

Сейчас Вам будут предъявлены слайды с трехмерным изображением молекулы вещества и вариантами записи названия этой молекулы.

Ваша задача: внимательно посмотреть на изображение молекулы в левой части экрана, выбрать правильный вариант записи этой молекулы с помощью нажатия левой клавиши мыши по правильному варианту ответа.

Время решения задачи не ограничено.

Инструкция для испытуемого к эксперименту № 1

Текст 1 – винилхлорид

Винилхлорид является исходным сырьем для производства поливинилхлорида. Существуют три основных способа получения винилхлорида, реализованные в промышленных масштабах: каталитическое газофазное гидрохлорирование ацетилена, комбинированный метод на основе этилена и ацетилена, сбалансированный по хлору метод на основе этилена. Последний метод является самой современной, распространенной и экономически наиболее эффективной технологией производства. В основном на этилене процессе винилхлорид получается пиролизом дихлорэтана, который, в свою очередь, синтезируется каталитической реакцией хлора с этиленом. Хлористый водород, получаемый в результате дегидрохлорирования дихлорэтана, вступает в реакцию с кислородом и этиленом в присутствии медного катализатора, образуя дихлорэтан и тем самым уменьшая расход элементарного хлора, используемого для прямого хлорирования этилена. Этот процесс известен как оксихлорирование. Для получения товарного продукта винилхлорид очищают дистилляцией, а побочные хлорорганические продукты либо выделяют для получения растворителей, либо подвергают термодеструкции для вовлечения хлористого водорода снова в процесс. При такой схеме производства распределение этилена происходит примерно поровну между стадиями прямого и окислительного хлорирования.

Текст 2 – лаки

Кремнийорганические электроизоляционные лаки КО-916, КО-916А и КО-916К представляют собой растворы полиметилфенилсилоксановой смолы.

Лаки КО-916, КО-916А, КО-916К используются в электротехнической промышленности для производства теплостойких проводов и кабелей с защитной стекловолокнистой оболочкой, они обладают высокой термостойкостью, диэлектрическими, а также клеящими и пропитывающими свойствами.

Получают кремнийорганические лаки реакцией согидролиза органохлорсиланов в водно-толуольной среде с последующим разделением слоев. В качестве органохлорсиланов берут метилтрихлорсилан, диметилдихлорсилан, фенилтрихлорсилан в определенном соотношении.

Полученный силанол промывают и модифицируют полиэфиром с одновременной отгонкой растворителя до получения смолы.

Процесс получения смолы происходит по схеме деструктивной конденсации, т.е. присоединения отдельных молекулярных цепей силанола за счет межмолекулярного отщепления воды и окисления частиц органических радикалов. Полученный смешанный полимер состоит из блоков полиорганосилоксана и полиэфира – блок привитого строения. Вода, выделяющаяся в процессе реакции поликонденсации, удаляется при вакуум-отгонке толуола.

Для получения лака КО-916А смолу растворяют в толуоле, лака КО-916К – в ксилоле, лака КО-916 – в этилцеллозольве.

Текст 3 – пероксид водорода

Пероксид водорода - простейший представитель пероксидов. Пероксид водорода весьма слабая кислота. В зависимости от условий пероксид водорода может принимать участие в химических реакциях как окислитель и как восстановитель. Концентрированные водные растворы взрывоопасны.

В европейских странах основное количество пероксида водорода получают антрахиноновым способом, разработанным компанией BASF в 1930-х годах. Антрахиноновый процесс основан на автоокислении алкилантрагидрохинонов (обычно 2-этил-, 2-трет-бутил- и 2-пентилантрагидрохинонов) кислородом воздуха с образованием антрахинонов и пероксида водорода. Реакция проводится в растворе алкилантрагидрохинонов в бензоле с добавлением вторичных спиртов, по завершении процесса пероксид водорода экстрагируют из органической фазы водой. В РФ используют изопрпиловый способ получения пероксида водорода, который заключается в каталитическом окислении кислородом воздуха изопрпилового спирта.

Полученный реакционный раствор разделяется методом ректификации. При этом образуется пероксид водорода и ценный побочный продукт - ацетон.

Оба метода для обеспечения цикличности процесса используют восстановление окисленных продуктов водородом с получением гидроантрахинона и изопрпилового спирта, которые вновь вводят в реакцию с кислородом.

Текст 4 – ППУ

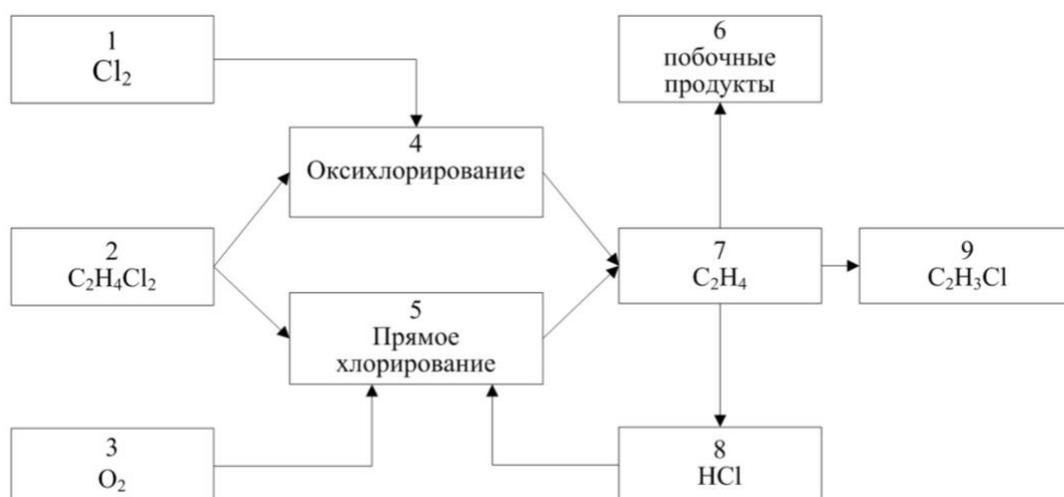
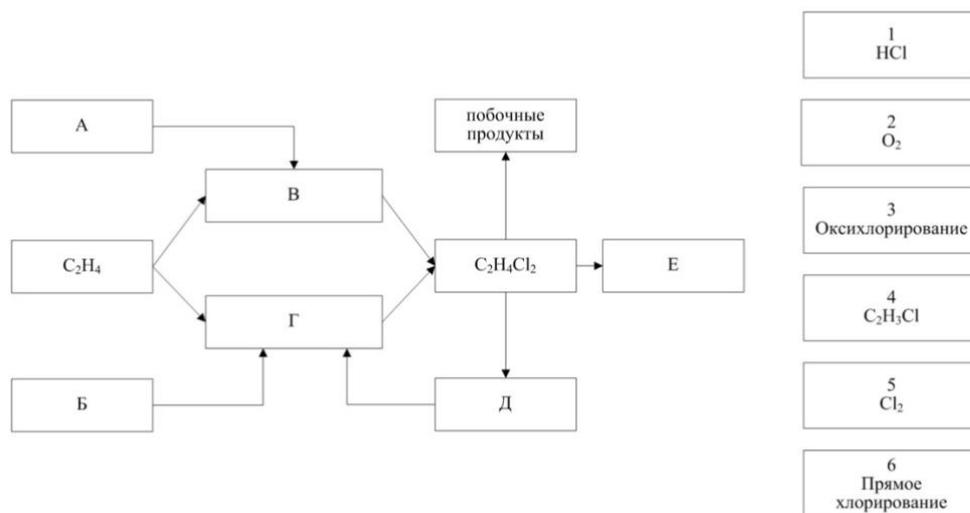
Пенополиуретаны получают взаимодействием ди- или полиизоцианатов с простыми или сложными гидроксилсодержащими полиэфирами (полиолами) в присутствии воды и катализаторов. В качестве катализаторов применяют соединения олова, регулирующие реакцию образования уретановых звеньев, и третичные амины, катализирующие реакции образования трехмерной структуры и выделения углекислого газа.

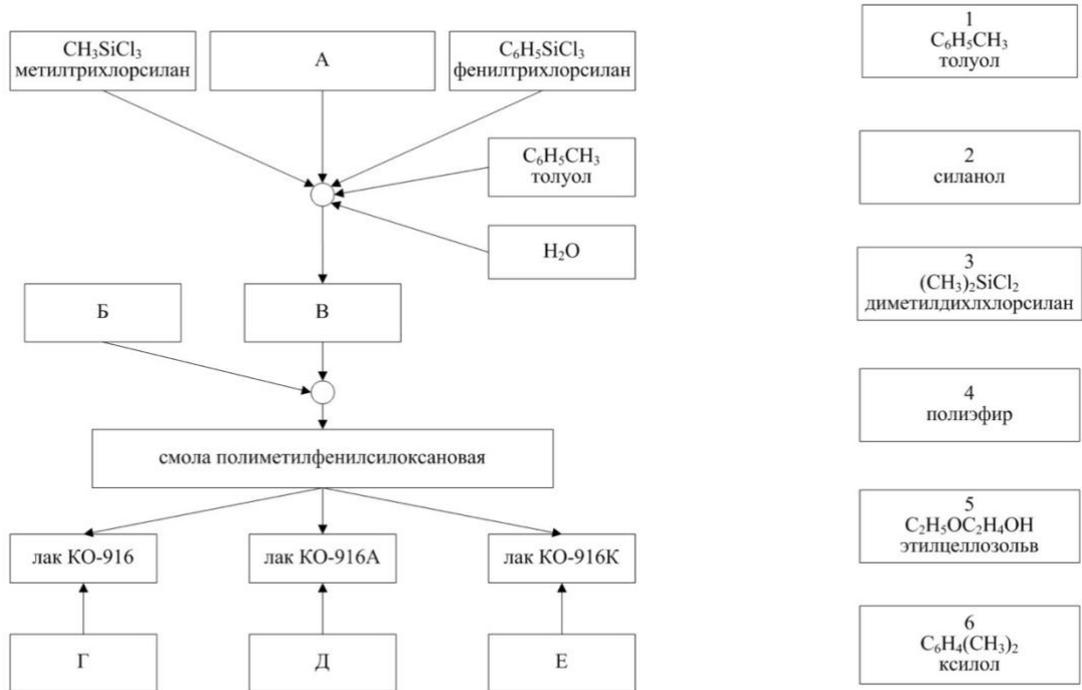
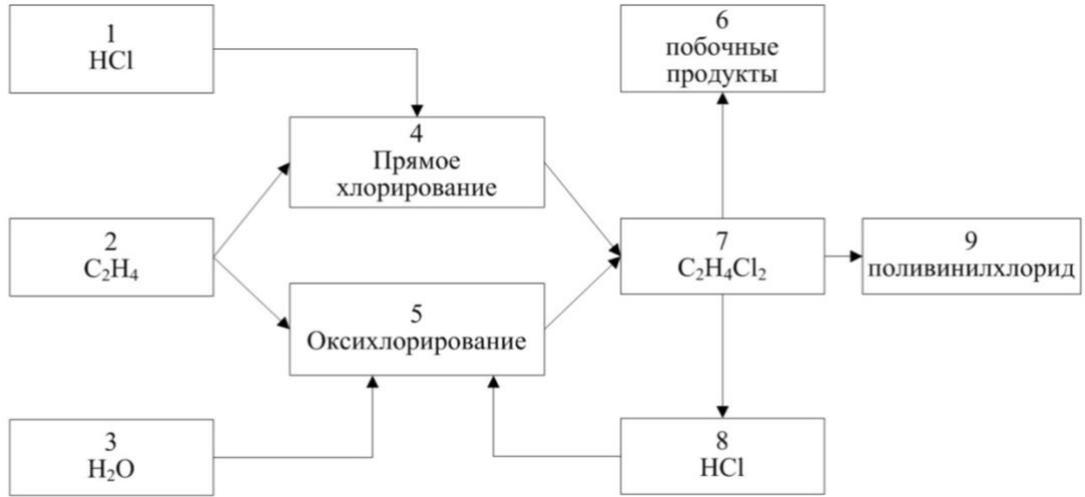
Реакция проходит в несколько этапов. Вначале из диола и диизоцианата формируются бифункциональные молекулы изоцианата, имеющие группу ($-N=C=O$) и гидроксильные группы ($-OH$). В результате прохождения цепной реакции на обоих концах молекулярных групп образуются короткие цепочки структурно идентичных и однородных полимеров, которые могут быть полимеризованы с другими мономерами.

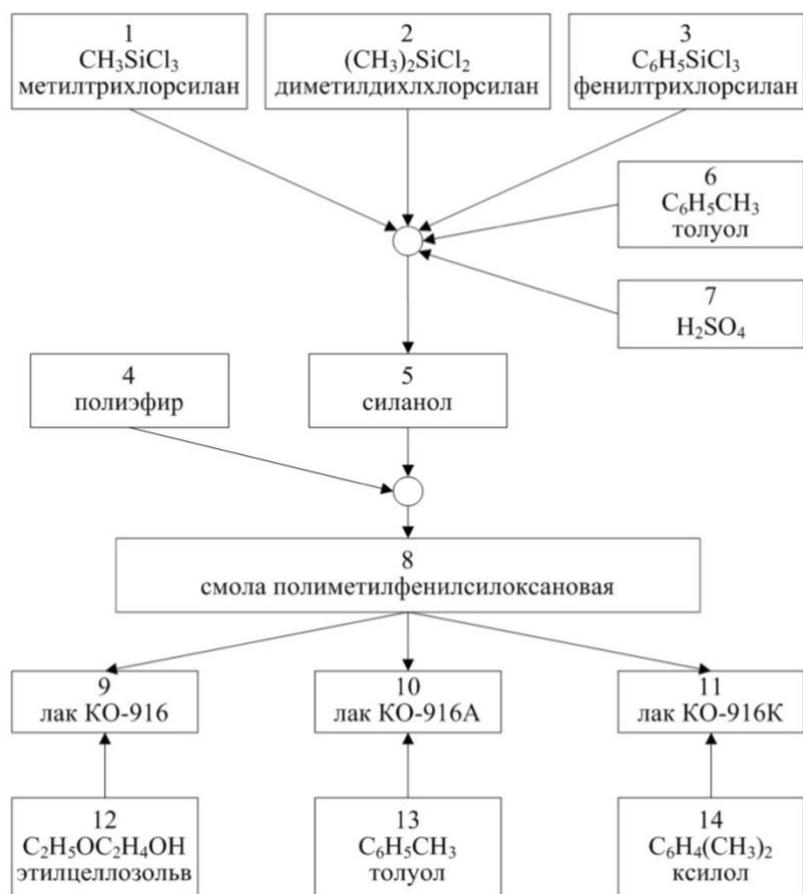
В результате реакции изоцианатов с водой образуется амин и диоксид углерода, являющийся вспенивающим агентом.

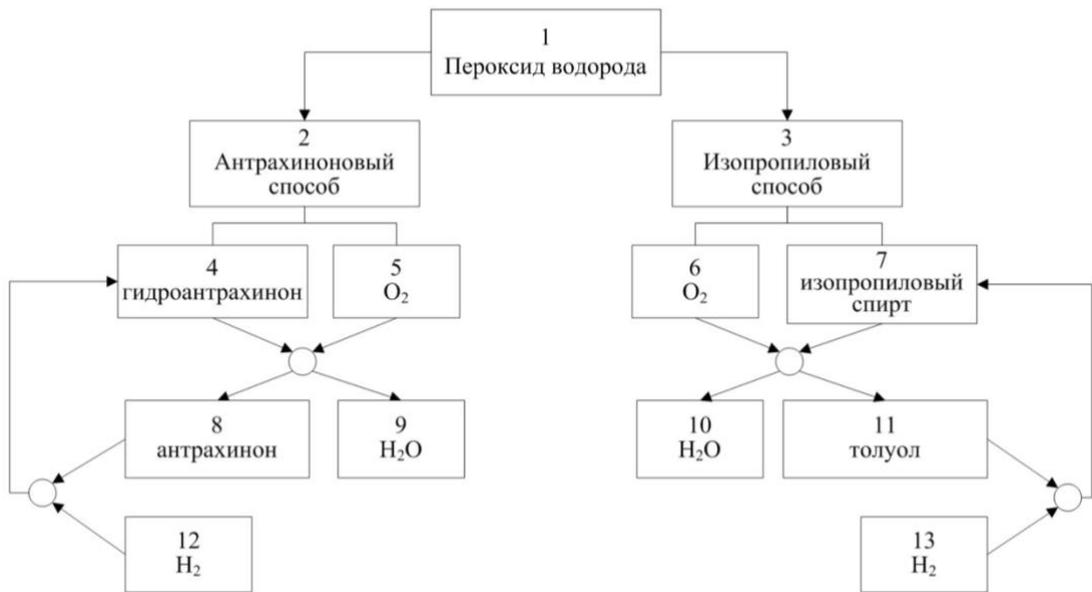
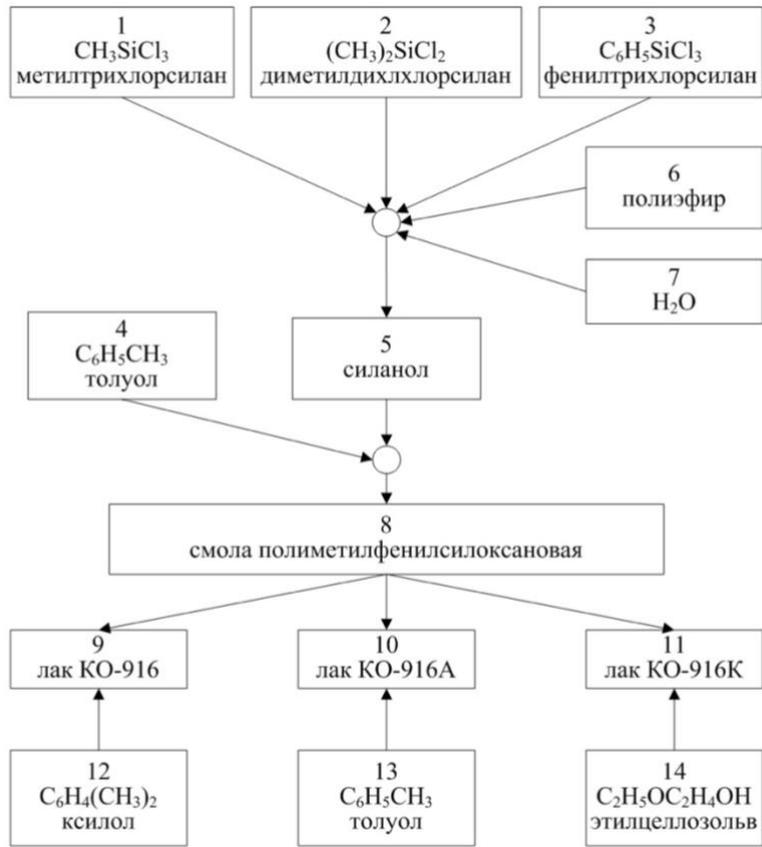
Взаимодействие изоцианатных групп с гидроксилсодержащими олигомерами и водой - конкурирующие реакции. Роль катализатора сводится к регулированию скорости указанных выше реакций. При этом выделение газа и рост полимерных молекул должны происходить с такими скоростями, чтобы газ оставался в полимере, и образовавшаяся пена была бы достаточно прочной. Жесткие пенополиуретаны отличаются от эластичных большим количеством сшивок.

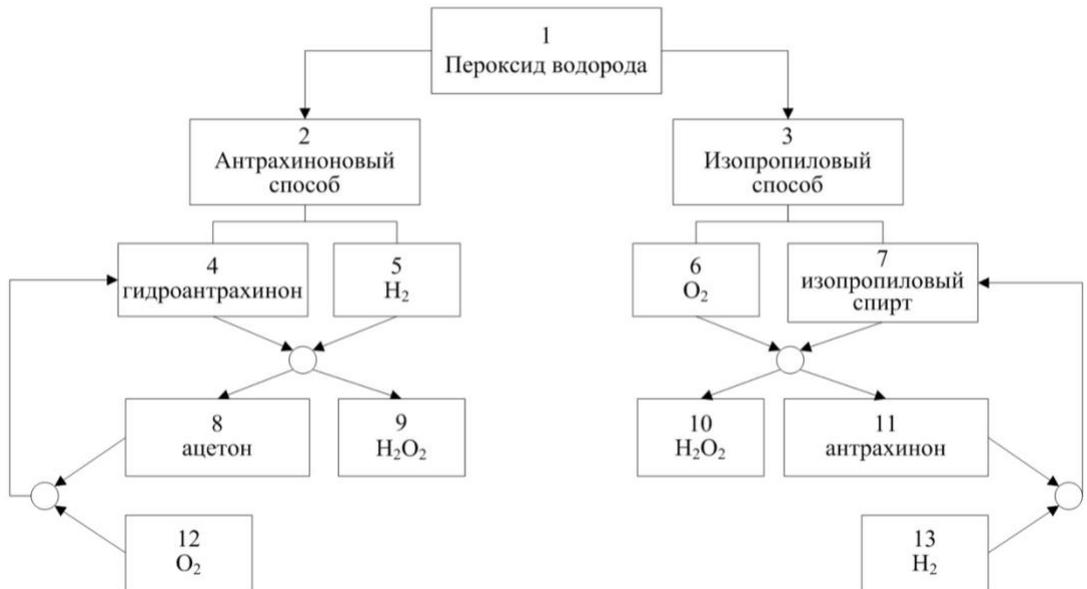
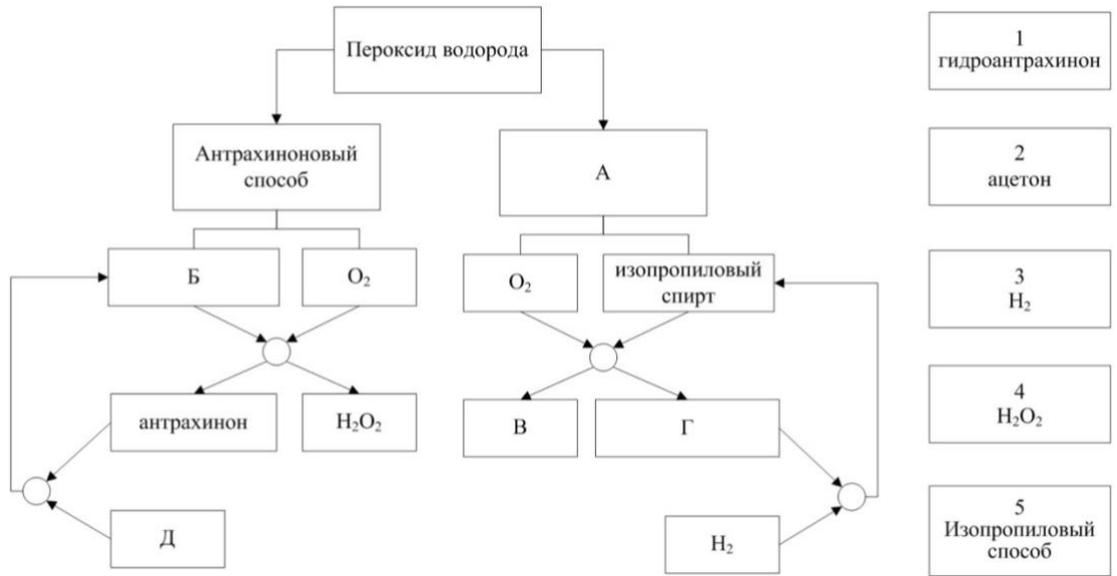
Приложение В

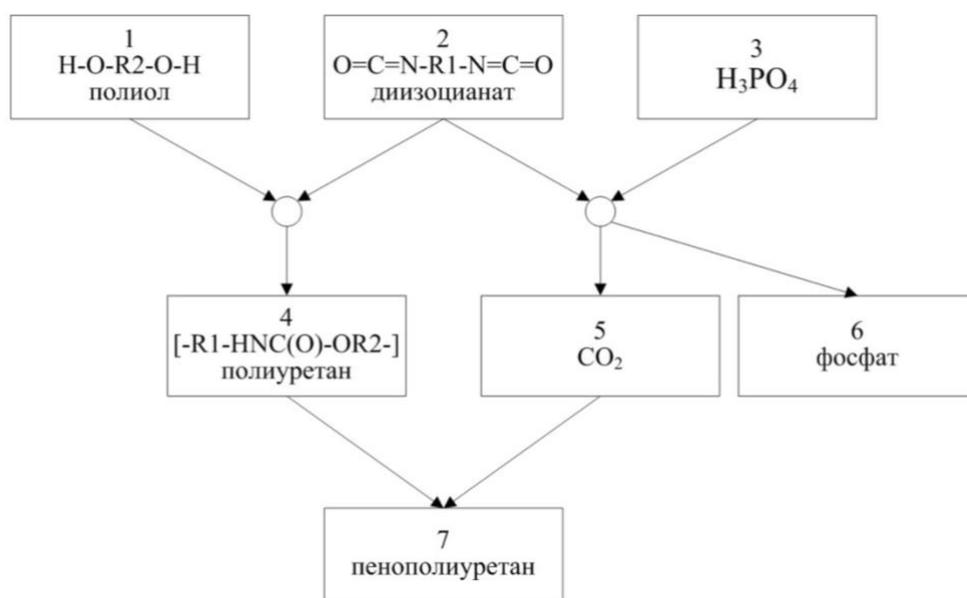
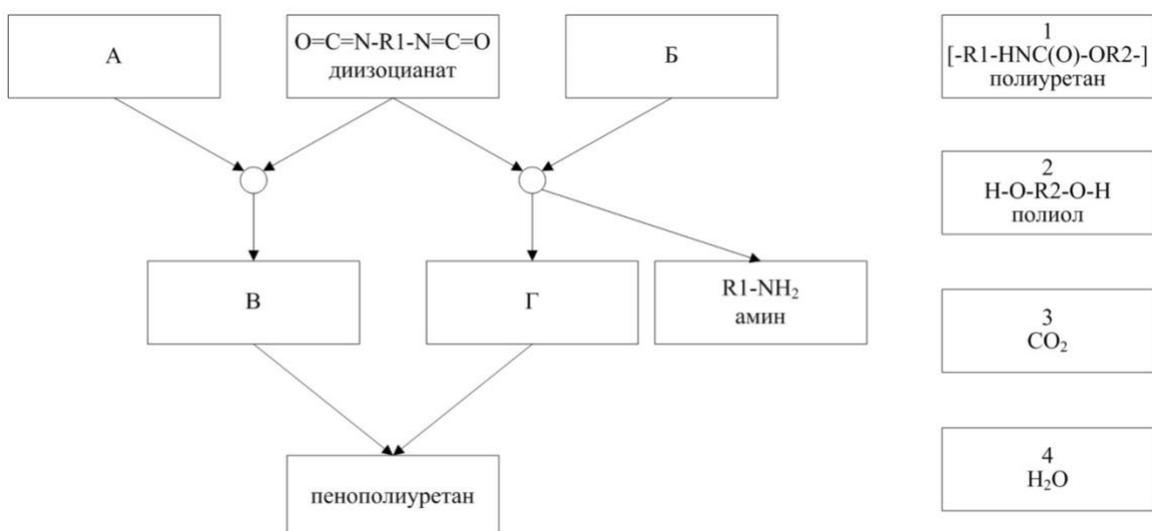


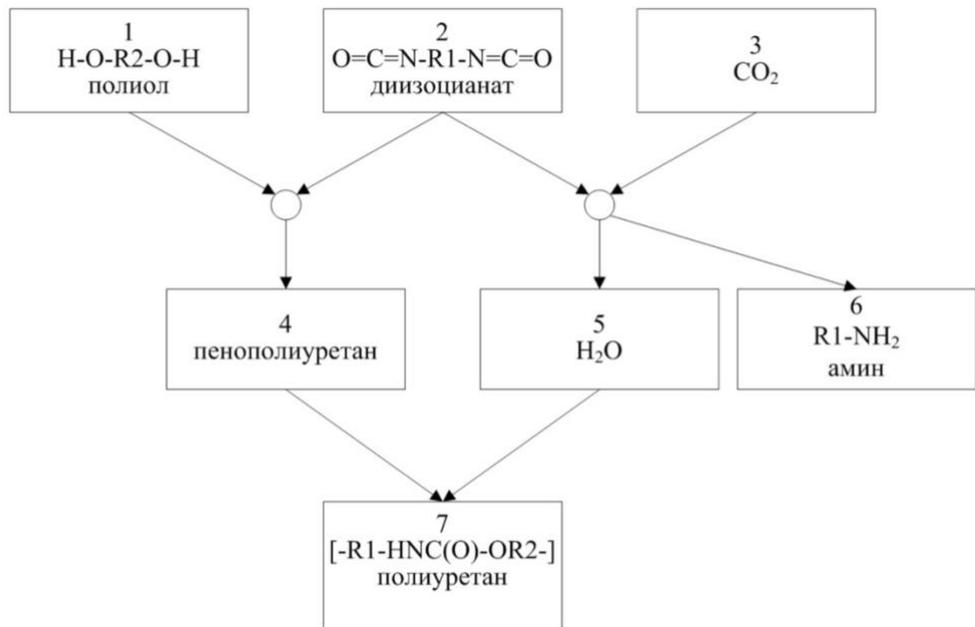












Протокол решения задач испытуемыми (Эксперимент №1)

Как вы решали данные задачи?

Испытуемый 1. Новичок-29

Я сначала посмотрел, какие варианты ответов представлены. Потом начал рассматривать молекулу и искать в списке предложенных ответов, что это может быть. В задачах, где были формулы-ответы, иногда проверял себя считая количество атомов в молекуле. Поэтому, наверное, эти задачи были проще для меня.

Испытуемый 2. Новичок-30

Решал так: смотрел на молекулу, прикидывал, что это может быть, смотрел варианты ответов. В списке ответов сразу отметал неправильные варианты, у которых другое количество атомов, и работал с тем, что осталось. Мне сложнее было решать задачи со словесным вариантом ответов. С формулами было просто, потому что можно было подстраховаться и сосчитать атомы.

Испытуемый 3. Новичок-31

Смотрел сначала на молекулу, потом на варианты ответов. В ответах сначала исключал те варианты, которые точно не подойдут и не похожи на молекулу совсем. Оставшиеся варианты ответов соотносил с веществом на картинке. Где были слова – варианты ответов представлял в форме молекул и соотносил с молекулой.

Испытуемый 4. Новичок-32

Я пытался понять, что за молекула, сколько в ней атомов, какой формулой она записывается. Потом смотрел на ответы. Не всегда мог вспомнить, как называется вещество, поэтому было сложнее, когда ответ был записан как слово. Когда ответ был в виде формулы, то просто можно было соотнести с количеством атомов на картинке. Когда были похожие формулы в вариантах ответов, было сложновато.

Испытуемый 5. Новичок-33

Я видел молекулу, смотрел на количество атомов и связи, и в голове сразу всплывала формула – $C_6H_5COCH_3$, например, помню. Держал эту формулу в голове, чтобы быстрее найти правильный ответ и не тратить время.

Испытуемый 6. Новичок-34

Что-то подобное решал в университете, но там молекула была не в таком варианте, но тоже картинкой. Привычно было решать так как это стандартные тестовые задачи. Анализ картинке-молекулы, анализ предложенных вариантов ответов. Убираю неподходящие варианты ответов, например, вещества из другой группы, ищу, что из оставшегося мне подходит и выбираю этот ответ.

Испытуемый 7. Новичок-35

Тестовые задания мне решать довольно просто, так как всегда есть опора в виде вариантов ответов, конечно, без них было бы гораздо сложнее.

Испытуемый 8. Эксперт – 36

Сначала смотрел на саму картинку, на молекулу. Понимал, что это за вещество изображено, и переходил к поиску ответа. В голове проговаривал название вещества для удобства. Если варианты были записаны словами, сразу же кликал на тот вариант, который держал в голове, дальше даже не читал. Это очень сокращало время решения задачи.

Испытуемый 9. Эксперт – 37

В-первую очередь смотрю на молекулу. Для меня важно сначала определить, что это за молекула, потом выбрать нужный вариант. То есть я даже не всегда смотрел все варианты ответов, находил правильный и переходил к следующему заданию. Но вещество всегда определял в первую очередь. Ответы иногда даже отвлекали от определения вещества.

Испытуемый 10. Эксперт – 38

Для меня задания показались довольно легкими, хотя с трехмерными молекулами я давно не сталкивался. Мне было проще сначала понять, что за вещество, а потом искать его в списке ответов.

Испытуемый 11. Эксперт- 39

По молекуле смотрела, что за вещество надо найти, и говорила для себя, как оно записывается. После этого просто оставалось найти нужный ответ из вариантов ответа и все. Легче было, когда формула была словесная, потому что названия веществ при виде молекулы сами всплывали в голове.

Испытуемый 12. Эксперт – 40

Старался сначала внимательно посмотреть на молекулу и вспомнить, что это за вещество. Почти во всех заданиях вспоминал, какое вещество обозначается этой молекулой. Поэтому очень быстро находил его из вариантов. Когда не мог сообразить, что за вещество, приходилось несколько раз прочитывать варианты ответов. Но чаще старался все же находить свой, верный вариант ответа при первом прочтении.

Испытуемый 13. Эксперт – 41

Было очень просто, когда ответы были в форме слов. В работе постоянно использую названия химических веществ, поэтому формулу могу назвать на автомате, не задумываясь даже. Вижу молекулу – представляю формулу, это у меня уже как рефлекс.

Испытуемый 14. Эксперт- 42

Решала последовательно: определяю вещество по изображению молекулы, приходилось иногда очень долго рассматривать молекулу, потому что не всегда сразу могла вспомнить, что же это за вещество. Но вот когда вспомнишь, то остается только выбрать один правильный ответ справа. Этот этап уже мало времени занимает. Само название молекулы всегда держала в голове, чтобы не запутаться и не возвращаться к ней. Поэтому могу сказать, что в этих задачах самое главное – на первом этапе правильно понять молекулу. Тогда остальное не сложно совсем.

Протокол решения задач испытуемыми (Эксперимент №2)

«Как вы решали данные задачи?»

Испытуемый 1. Эксперт

При чтении текста представлял, как устроен процесс. Текст был понятен, поэтому было несложно представить процесс производства. Всегда представляю производство по этапам, по-другому никак. Задачи были понятны, довольно быстро решал их после текста. Дополнить схему было несложно, потому что я знал последовательность процесса. Смотрел на схему и быстро выбирал нужный ответ. В задачах на поиск ошибок было еще проще.

Испытуемый 2. Эксперт

В голове всплывала схема процесса, когда читал текст про производство веществ. Задачи со схемами решались довольно быстро. В принципе, я часто рисую для себя подобные схемы, когда нужно все продумать при производстве нового продукта. Всегда использую похожие схемы в работе. Тут даже варианты ответов были особо не нужны, все было понятно.

Испытуемый 3. Эксперт

При чтении текста старался понять, какие этапы в процессе, какие вещества взаимодействуют на каждом этапе. Так как я хорошо знаю, как производятся эти вещества, могу сразу понять, что будет происходить в цеху. Задачи были понятны, кажется, решил все быстро. Видел схему и вставлял нужный вариант – и все.

Испытуемый 4. Эксперт

Строил процесс в хронологическом порядке, понимал, что происходит на каждом этапе на производстве, поэтому при решении задач было легче. Схема была похожая, как я строил для себя. Задачи были полностью понятны. Долго не думал, сразу выбирал нужный вариант.

Испытуемый 5. Эксперт

При чтении представлял, как этот процесс будет реализован на производстве. Именно таких схем не видел раньше, но в целом все было понятно, потому что этапы были те, что в тексте. Текст помогал создать для себя цепочку. Просто поставлял нужный мне вариант.

Испытуемый 6. Эксперт

После чтения текста в голове была схема процесса, поэтому было гораздо легче решать задачи. Старался понять, как процесс будет протекать на нашем производстве, какие вещества будут задействованы. В задачах сразу выбирал подходящий вариант. Кажется, получалось быстро.

Испытуемый 7. Эксперт

Когда читал текст, сразу же представлял процесс производства каждого вещества, схемы в задачах были сходны с теми, что я представлял. В первой задаче было сложнее, потому что нужно было приспособиться, а в остальных было не очень сложно. Варианты ответов помогали себя проверить.

Испытуемый 8. Эксперт

Текст очень облегчал процесс решения задачи, в принципе, если внимательно читать, то текст и был решением задачи. Главное было очень внимательно прочитать и сразу представить схему. Задачи со схемами были понятны, это и был весь процесс производства вещества. Если что-то смущало, то всегда мог представить производство по этапам. Схема была для меня довольно понятной.

Испытуемый 9. Эксперт

Было не очень сложно заполнять пропуски, потому что в голове уже была схема производства, мне нужно было только выбрать ответ из списка. Схему держал в голове. Схема в задачах была похожа на то, как устроен процесс производства, она точно отражала процесс.

Испытуемый 10. Эксперт

Читала текст и сразу конструировала схему процесса в цеху, чтобы было проще решать задачи. После первой задачи поняла, что так можно решать задачи максимально быстро. Потом уже при чтении текста сразу представляла подобную схему.

Испытуемый 11. Эксперт

При чтении текста автоматически в голове всплывало схематическое изображение процесса производства, поэтому заполнять схемы было не так сложно. Некоторые блоки на схемах просто нельзя было спутать, потому что тогда процесс производства был бы нарушен. Я хорошо знаю производство, поэтому мне будет понятен технологический процесс в любом варианте.

Испытуемый 12. Эксперт

Читал текст, понимал, что описан технологический процесс производства, поэтому для упрощения представлял модель этого процесса. Текст было воспринимать сложнее, поэтому представлял в голове, как это можно описать схематически. Потом задачи решались быстрее.

Испытуемый 13. Эксперт

Старался решать как можно быстрее. В задачах при чтении текста сразу видел процесс на производстве, при подставлении блоков все было понятно. Задачи с ошибками самые легкие. В целом, мне кажется, ошибиться было сложно, если знаешь процесс.

Испытуемый 14. Эксперт

Особых трудностей при решении задач не возникало, главное было понять последовательность процесса. Просто выбирал правильный вариант из списка. Ошибки тоже находил довольно быстро. После первого раза понял, что лучше сразу в голове держать схему процесса, чтобы решать задачи быстрее.

Испытуемый 15. Эксперт

Задачи были интересные! Читала текст и уже представляла этапы процесса на производстве. При решении задач схемы особых трудностей не вызывали. Я знала, какие вещества будут на том или ином этапе, поэтому быстро дополняла схему. Схема довольно похожа на ту, которую я мысленно рисовала.

Испытуемый 16. Эксперт

Задачи было решать не очень сложно, потому что в первой части задания с текстом уже был описан процесс, было понятно, как он организуется на нашем производстве. Даже если с лаками, например, я не работал, но все равно было проще представить процесс производства. И саму схему для упрощения решения.

Испытуемый 17. Эксперт

Текст регламента производства был понятен. После первой задачи я сразу поняла, что для более быстрого решения задач, лучше сразу представлять схему при чтении

текста. При моделировании схем особых трудностей не было. Это понятная схема производства. Я быстро могла найти правильный вариант из списка.

Испытуемый 18. Эксперт

Мне кажется, я довольно быстро решил задачи. По описанию процесса производства была понятна последовательность и схема производства.

Испытуемый 19. Новичок.

Я представлял процесс немного по-другому при чтении текста. При решении задач со схемами не всегда мог быстро подобрать нужный вариант ответа, иногда старался подставить несколько ответов.

Испытуемый 20. Новичок.

Текст в принципе был понятен, но, когда я переходил к решению задач, хотелось вернуться и перечитать его. Думал, что я пропустил некоторые этапы. Схема была не очень сложной, но иногда проще было проверить каждый вариант ответа, пока не найдешь нужный.

Испытуемый 21. Новичок

Я старался сначала добавить те блоки на схему, в которых был уверен, а уже затем пытался разобраться с оставшимися блоками. Иногда подбирал нужный ответ довольно долго. Некоторые схемы были для меня сложнее. Находить блоки с ошибками было проще.

Испытуемый 22. Новичок

Было желание открыть текст еще раз, чтобы было проще заполнить пропуски на схеме. Схемы были новыми для меня, но в целом все смог решить.

Испытуемый 23. Новичок

В задаче с поиском ошибок было проще, потому что я уже знал, какая будет схема, а в первой задаче было сложнее, так как схема была незнакомой, хотя текст помогал познакомиться с тем, какой процесс будет в задаче. Последнюю задачу было уже проще решать.

Испытуемый. 24. Новичок

Представлял схему на этапе чтения текста, поэтому потом задачи было решать гораздо проще. Задача была похожа на схему, которую можно было построить по тексту. Это помогало понять все этапы производства. Найти ошибки было уже проще всего.

Испытуемый 25. Новичок

Если при чтении текста я могу представить схему процесса, то было намного легче. Не всегда, но в половине задач мне удалось понять, как процесс будет устроен в цехе. Задачи были понятны. Если понял, как устроен процесс, то задачи можно легко решить.

Испытуемый 26. Новичок

Возможно, я не сразу понял, что будет в задачах, потому что читал текст и пытался все запомнить. При решении задач что-то забывал, приходилось подбирать нужный вариант.

Испытуемый 27. Новичок

Было несложно решать задачу со схемой, потому что были варианты ответов на выбор, они сильно облегчали решение.

Испытуемый 28. Новичок

Я решал задачу поэтапно: сначала отмечал те блоки, в которых точно уверен, потом все остальные. В задачах на поиск ошибок было понятнее, потому что уже хорошо знал схему.

Испытуемый 29. Новичок.

Читала текст, пыталась понять, что главное и какая последовательность. Тогда уже переходила к задачам. В схемах все было понятно, правильный ответ удавалось найти довольно быстро.

Испытуемый 30. Новичок

Текст меня иногда вводил в заблуждение, хотелось перечитать его еще раз во время решения задач. В задачах были варианты ответов, они помогали себя проверить и найти верный вариант.

Испытуемый 31. Новичок

Не все схемы были сложными для меня. Например, в производстве лаков я примерно знала какие этапы, поэтому могла представить схему при чтении текста. Но в других задачах было больше сложностей. Для себя поняла, что главное – понять текст и этапы производства.

Испытуемый 32. Новичок

Задачи решала довольно долго, каждый раз себя проверяла, потому что казалось, что что-то упустила. Первую задачу решала дольше всего, потому что схема была для меня новой. Задачу с ошибками решала уже быстрее.

Испытуемый 33. Новичок

Я решала так: сначала расставляла те блоки на схеме, в которых была уверена, а уже потом подбирала те, которые вызывают сомнения. В задачах на поиск ошибок все решалось быстрее, потому что схема уже была известна.

Испытуемый 34. Новичок

Очень долго решал первую задачу, потому что с форматом такой схемы работал впервые. В следующих задачах уже было проще, потому что понимал, что ожидать. Было не так просто смоделировать схему, но варианты ответов очень помогали, без них было бы сложнее.

Испытуемый 35. Новичок

Задачи решал, отталкиваясь от текста. Старался его запомнить и запомнить все этапы производства. При заполнении схем главное было помнить последовательность, тогда схема легко дополнялась.