

УДК 372.853
ББК 4426.223-24

ГРНТИ 15.81.21

Код ВАК 5.3.4

Крылова Светлана Геннадьевна,

SPIN-код: 8531-8804

кандидат психологических наук, доцент, доцент кафедры общей психологии и конфликтологии, Уральский государственный педагогический университет; 620091, Россия, г. Екатеринбург, пр-т Космонавтов, 26; e-mail: s_g_krylova@mail.ru

Водяха Юлия Евгеньевна,

SPIN-код: 5904-5002

кандидат психологических наук, доцент, доцент кафедры общей психологии и конфликтологии, Уральский государственный педагогический университет; 620091, Россия, г. Екатеринбург, пр-т Космонавтов, 26; e-mail: jullyaa@yandex.ru

МЕНТАЛЬНЫЕ СТРУКТУРЫ ЗНАНИЙ И ИХ ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ В ПРОЦЕССЕ КАТЕГОРИЗАЦИИ ПРОБЛЕМНЫХ СИТУАЦИЙ

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: научное понятие; ментальные структуры; ментальные схемы; категоризация проблемных ситуаций; познавательная деятельность; старшеклассники; уровень сформированности; проблемные физические ситуации

АННОТАЦИЯ. Статья посвящена рассмотрению возможности использования понятий и методов когнитивной психологии для оценки уровня сформированности научных понятий у школьников и анализа функционирования усвоенных понятий при понимании проблемных физических ситуаций. В качестве основного психологического понятия используется понятие «ментальная структура (схема)», рассматриваемая как часть индивидуального ментального опыта и как единица анализа понятийного мышления. Представлены результаты эмпирического исследования категоризации проблемных физических ситуаций учащимися 10 класса ($n = 19$). Получены значимые различия в полноте и точности ментальных структур, описывающих понятие «давление» ($U_{\text{эмп}} = 4,5, p \leq 0,05$), между школьниками, успешными («эталонная» группа, $n = 5$) и не успешными («альтернативная» группа, $n = 6$) в выполнении задания на категоризацию: первые значимо чаще называли слова «сила» и «площадь» в ответ на слово-стимул «давление». Также выявлено различие между «эталонной» и «альтернативной» группами в частоте упоминания понятия «сохранение» в ответ на слово-стимул «инерция» ($\Phi^*_{\text{эмп}} = 1,701, p \leq 0,05$): в «эталонной» группе это понятие упоминали 60% школьников, а в «альтернативной» группе – 14% школьников. При этом высокие показатели полноты и точности ментальных структур, выявленные у отдельных школьников из «альтернативной» группы, позволяют предположить, что полнота и точность ментальной структуры является необходимым, но недостаточным условием успешной категоризации проблемных физических ситуаций. Полученные результаты свидетельствуют об исследовательском потенциале методов когнитивной психологии в решении задач разработки эффективных стратегий обучения школьников, способствующих овладению научными понятиями.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Крылова, С. Г. Ментальные структуры знаний и их функционирование в процессе категоризации проблемных ситуаций / С. Г. Крылова, Ю. Е. Водяха. – Текст : непосредственный // Педагогическое образование в России. – 2024. – № 6. – С. 135–145.

Krylova Svetlana Gennadievna,

Candidate of Psychology, Associate Professor, Associate Professor of Department of General Psychology and Conflictology, Ural State Pedagogical University, Ekaterinburg, Russia

Vodyakha Yuliya Evgenievna,

Candidate of Psychology, Associate Professor, Associate Professor of Department of General Psychology and Conflictology, Ural State Pedagogical University, Ekaterinburg, Russia

MENTAL STRUCTURES OF KNOWLEDGE AND THEIR FUNCTIONING IN THE PROCESS OF CATEGORIZATION PROBLEM SITUATIONS

KEYWORDS: scientific concept; mental structures; mental schemes; categorization of problem situations; cognitive activity; high school students; level of development; problematic physical situations

ABSTRACT. The paper considers the possibilities of using the concepts and methods of cognitive psychology to assess the level of formation of scientific concepts in schoolchildren and to analyze the functioning of the acquired concepts in understanding problematic physical situations. The concept of “mental structure (scheme)” is used as the main psychological concept, considered as an element of individual knowledge and as a unit of analysis of conceptual thinking. The paper presents the results of an empirical study of categorization of problematic physical situations by 10th grade schoolchildren ($n = 19$). Significant differences in the completeness and accuracy of mental structures describing the concept of “pressure” ($U_{\text{emp}} = 4,5, p \leq 0,05$) were obtained between schoolchildren who were successful (“reference” group, $n = 5$) and unsuccessful (“alternative” group, $n = 6$) in completing the categorization task: successful ones significantly more often generated the words “force” and “surface area” in response to the stimulus word “pressure”. A difference was also found between the “reference” and “alternative” groups in the frequency of mentioning the concept of “maintaining (the speed)” in response to the stimulus word “inertia” ($\Phi^*_{\text{emp}} = 1,701, p \leq 0,05$): in the “reference” group, this concept was mentioned by 60% of schoolchildren, and in the “alternative” group – by 14% of schoolchildren. At the same time, some schoolchildren from the “alternative” group

showed high rates of completeness and accuracy of mental structures – this allows to assume that the completeness and accuracy of the mental structure is a necessary, but not sufficient condition for the successful categorization of problematic physical situations. The obtained results indicate the research potential of cognitive psychology methods in solving the problems of developing effective strategies for teaching schoolchildren to master scientific concepts.

FOR CITATION: Krylova, S. G., Vodyaha, Yu. E. (2024). Mental Structures of Knowledge and Their Functioning in the Process of Categorization Problem Situations. In *Pedagogical Education in Russia*. No. 6, pp. 135–145.

Введение. Анализируя условия успешного формирования у учащихся научных понятий, А. В. Усова отмечает, что «одной из важнейших задач, которые призвана решать школа, является обеспечение усвоения школьниками системы знаний основ наук», центральным ядром которой являются научные понятия, наряду с научными фактами, законами, теориями, методами исследований, научной картиной мира [4, с. 57]. Достижение высокого уровня усвоения понятия рассматривается как движение учащегося от умения дать верное определение понятия, выделив его существенные признаки, к умению оперировать понятием в решении широкого круга задач [4, с. 59]. Эффективное сопровождение этого движения предполагает использование валидных и надежных диагностических инструментов, позволяющих измерять текущий уровень усвоения понятий учащимися. Если речь идет об усвоении физических понятий, то таким инструментом в педагогике могут быть учебные задачи разного уровня сложности. Однако не всегда даже анализ хода решения задачи позволяет понять, какие именно ограничения в усвоении понятия учащимся стали причиной ошибочного решения. Мы полагаем, что привлечение исследовательских средств когнитивной психологии позволит получить дополнительную информацию более глубокого уровня.

Целями нашего исследования являются: 1) анализ теоретических моделей, описывающих ментальные структуры, рассматриваемые как «психические носители свойств понятийного мышления» [6, с. 3]; 2) обзор методических инструментов для оценки качественных и количественных характеристик ментальных структур; 3) проведение эмпирического исследования функционирования ментальных структур знаний (схем) в процессе категоризации учащимися проблемных физических ситуаций.

Будем исходить из общего положения о том, что человек обладает способностью воспринимать и обрабатывать информацию, поступающую из окружающего мира. Это положение применимо и для описания процессов восприятия и обработки учащимися учебной информации. Обработка информации включает ее кодирование и сохранение в долговременной памяти в виде

внутренних (ментальных) структур, для обозначения которых могут использоваться различные понятия, например: «формы знаний» [3, с. 15], «ментальные репрезентации» [7, р. 89], «ментальные схемы» [1, с. 103], «концептуальные структуры» [6, с. 3], «семантические сетевые структуры памяти» [11, р. 60]. Исследователи подробно описывают организацию ментальных структур. Можно предположить, что эти различия определяются в том числе характером решаемых исследовательских задач. Например, Ж. Ф. Ришар для достижения достаточно обобщенной цели «дать интегрированное представление о различных видах когнитивной деятельности» (понимание, рассуждение и решение проблем) [3, с. 5] выделяет три формы знаний: знания об объектах (живых и неживых), организованные как семантические сети; знания о ситуациях и событиях, выраженные посредством схем; знания о действиях и процедурах [3, с. 15]. S. Carey, рассматривая вопрос о происхождении научных понятий, выделяет следующие аспекты ментальных репрезентаций: понятия, убеждения и теории [7, р. 89].

В когнитивной психологии широко изучался вопрос об организации знаний об объектах. Согласно классической точке зрения знания об объектах можно представить как иерархически организованную сеть понятий: в узлах находятся понятия и их специфические свойства, а дуги описывают характер связи между понятиями, например «быть видом чего-то» [3, с. 16]. На вершине иерархии находятся более общие, родовые понятия, обладающие небольшим количеством свойств (например, «процесс»), а ближе к основанию – понятия, обладающие более широким набором специфических свойств (например, «испарение», «плавление»). В структурах, хранящих знания об объектах (семантических сетях), связи между понятиями имеют «сущностный» [3, с. 36] характер, т. е. объединяют понятия, относящиеся к одной категории, например: нейтрон, протон, электрон. Знания могут быть также организованы в виде схем: в них понятия связаны между собой на основе типичности (совместной встречаемости), при этом они могут относиться к разным категориям. Например, схема, описывающая школьный урок, включает как людей (учи-

тель, ученики), так и неодушевленные предметы (помещение, мебель, канцелярские принадлежности...).

Предполагается, что знания в области математики и физики организованы в виде схем [3, с. 36], которые могут описывать как физические объекты, так и физические проблемы. Например, схема такого объекта, как наклонная плоскость, может включать угол наклона плоскости по отношению к горизонтали, наличие блока, покоящегося на плоскости, а также массу и высоту блока, свойство поверхности плоскости, наличие или отсутствие трения, коэффициенты трения, возможные силы, которые могут действовать на блок [8, р. 136]. Схемы, описывающие типы физических проблем, могут включать такие компоненты, как начальное состояние, конечная цель и допустимые операторы решения проблем [12, цит. по 8, р. 122].

Организация знаний в виде системы взаимосвязанных компонентов дает преимущества при осуществлении познавательной деятельности. На основе воспринятых свойств объект или ситуация могут быть категоризованы, т. е. отнесены к определенному классу (объектов) / типу (ситуаций), обозначенному общепринятым термином и представленному в виде ментальной структуры. Благодаря связям между компонентами ментальной структуры воспринятому объекту могут быть приписаны и другие свойства этого класса, даже если они не представлены в непосредственном восприятии, поскольку каждое понятие в иерархической семантической структуре «наследует» свойства, присущие понятиям более высокого уровня. Аналогично, если проблемная ситуация правильно категоризована, то это дает доступ к дополнительной информации, содержащейся в схеме, описывающей этот тип проблем. Это не только освобождает человека от необходимости хранить в памяти всю совокупность свойств для каждого объекта / ситуации (что значительно снижает нагрузку на память), но и позволяет ему формулировать различные суждения о новых объектах или явлениях [9, р. 62].

М. А. Холодная обращает внимание на различия между понятиями и концептуальными структурами (как видом ментальных структур). Она подчеркивает *объективный* характер понятия как внешнего по отношению к субъекту элемента исторически выработанной системы знания, зафиксированной в определенных материализованных формах [6, с. 60]. Концептуальную структуру она определяет как ментальную структуру «внутри» *индивидуального* ментального опыта, выступающую в качестве психического носителя понятия [6, с. 60].

Индивидуальный характер концептуальных структур является отражением различий в усвоении понятий индивидами.

Описывая процесс усвоения знаний в терминах образования ментальных структур, можно выделить три направления изменений: 1) формирование новых ментальных структур (при отсутствии у учащегося предварительных знаний по изучаемому вопросу); 2) дополнение уже имеющихся ментальных структур новыми компонентами (при неполноте знаний по изучаемому вопросу); 3) переструктурирование ментальных структур (при наличии у учащегося предварительных знаний, которые не соответствуют принятой в науке точке зрения) [9, с. 61]. Последний вид изменений, обозначаемый в англоязычных публикациях устоявшимся термином “conceptual change” (в переводе – *понятийные изменения*), является актуальным предметом психологических исследований [9]. Используя эту терминологию, можно рассматривать в качестве одной из целей обучения формирование у учащихся «правильных» (т. е. соответствующих принятым в науке представлениям) ментальных структур.

Интерес к изучению ментальных структур как модели организации знаний и их изменений в процессе обучения обусловлен рядом причин. Во-первых, организация знаний, включая содержание и количество входящих в ментальные структуры понятий и связи между ними, влияет на то, что замечают люди в окружающей среде (избирательность восприятия) и как они интерпретируют эту информацию. Следовательно, учащиеся с разной организацией знаний будут обращать внимание и воспринимать разные аспекты объяснений и демонстраций учителя, а именно: те, которые согласуются с имеющимися у них знаниями [14, цит. по 2, с. 32]. Во-вторых, характеристики структуры знаний могут служить индикатором уровня усвоения научных понятий: в исследованиях С. Siew и А. Guru было показано, что у учащихся старших классов структура знаний по различным учебным предметам отличается от структуры знаний учащихся младших классов [16]. Использование методов когнитивной сетевой науки (“cognitive network science”) позволило выявить не только качественные, но и количественные различия в структурах знаний учащихся с разным уровнем академической успешности: организация знаний в семантической памяти более успешных учащихся характеризуется большим количеством взаимосвязей и более короткими расстояниями между понятиями [11, р. 56]. Как показывают другие исследования, приобретение знаний в предметной области сопро-

воздается изменениями в репрезентации проблем [8, p. 122]. Качественный анализ различий в организации знаний экспертов и «новичков» свидетельствует о том, что схемы знаний экспертов содержат большее количество взаимосвязанных компонентов и организованы вокруг базовых принципов и законов (например, второй закон Ньютона), включая условия их применимости и процедуры решения [8, p. 137]. Наличие в схеме компонентов, связанных с процедурой решения, свидетельствует о том, что эксперты не только владеют более полной информацией о проблемной ситуации, но и знают, как использовать эту информацию для нахождения решения. Таким образом, результаты изучения организации знаний могут служить не только дополнительным инструментом оценки уровня усвоения понятий, но и основой разработки стратегий, направленных на изменение этих структур (в случае их неполноты или несоответствия нормативным представлениям).

Рассмотрим методы, которые используют исследователи для изучения ментальных структур как моделей организации знаний. Среди них можно выделить методы, позволяющие получить информацию о качественных и количественных характеристиках ментальных структур. К первой группе можно отнести методы, объектом анализа в которых являются развернутые ответы (объяснения, прогнозы) на разнообразные вопросы. Структура и последовательность полученных объяснений рассматриваются как косвенные индикаторы характеристик ментальной структуры [9, p. 68]. Ответы могут быть даны как в вербальной, так и в образной (рисунки) форме. Например, в исследовании S. Vosniadou и W. Brewer (1992) детям предлагалось нарисовать Землю, чтобы оценить, как дети интегрировали новую информацию о сферической форме Земли в систему своих подкрепляемых повседневным опытом представлений о плоской поверхности Земли [17]. К методическим приемам получения качественных характеристик ментальных структур можно отнести классификацию. М. Т. Н. Chi, Р. J. Feltovich и R. Glaser предлагали экспертам и «новичкам» объединить в группы описания физических задач, которые имеют похожее решение, и затем дать название каждой группе. Эксперты использовали в качестве критерия классификации общие принципы и теории (например, «закон сохранения энергии»), в то время как новички категоризовали изображения на основе внешних признаков (например, упомянутые в задаче объекты, («наклонная плоскость») или физические термины («трение», «центр масс»)) [8, p. 125]. На ос-

нове полученных результатов был сделан вывод о том, что организация знаний экспертов характеризуется осмысленными отношениями между элементами, сгруппированными в соответствующие единицы, которые регулируются лежащими в их основе концепциями и принципами.

Распространенным способом изучения структур знаний учащихся являются концептуальные карты («concept maps»), которые были разработаны Дж. Новаком в 1972 году в рамках исследовательской программы в Корнелльском университете, направленной на изучение изменения в знаниях детей о науке [13, p. 29]. Концептуальные карты – это графические инструменты для организации и репрезентации отношений между понятиями. Концептуальная карта представляет собой иерархически организованную диаграмму, включающую понятия, описывающие какой-либо объект или явление (от наиболее общих и содержательных понятий к наиболее конкретным). Понятия соединены между собой линиями, на которых расположены связывающие слова или фразы, указывающие на отношения между этими понятиями (например, «состоит из», «начинается с», «показывает») [13, p. 30]. Концептуальные карты обычно оцениваются с точки зрения их визуальных свойств (формы), на основе которых делаются качественные выводы о ментальных структурах. При этом предполагается, что концептуальные карты можно рассматривать как модель ментальных структур. В ряде исследований было показано, что концептуальные карты тех, кто имеет больше опыта в определенной области, по форме больше похожи на сеть и включают большее количество связей между понятиями, в отличие от имеющих форму цепи концептуальных карт менее опытных людей [11, p. 57].

Для моделирования ментальных структур (семантических сетевых структур памяти) также используется так называемая задача семантической беглости: испытуемым предлагается в течение ограниченного времени (несколько минут) называть (набирать на клавиатуре компьютера) слова, связанные со словом-стимулом [16]. В качестве слова-стимула может быть выбрана как общая категория (например, «животные», «фрукты»), так и слово, обозначающее интересующую исследователя область («биология», «психология»). Данные, полученные при выполнении задачи семантической беглости, анализируются на основе методологии когнитивной сетевой науки, интерес к которой в изучении человеческого познания растет в последнее время [15]. Результатами анализа являются количественные ха-

характеристики семантических сетей памяти: коэффициент кластеризации (CC), средняя длина кратчайшего пути (ASPL) и модулярность (Q) [10]. Коэффициент кластеризации характеризует тесноту взаимосвязи между разными элементами семантических сетей; средняя длина кратчайшего пути – среднее минимальное число отрезков, необходимое для прохождения между любыми двумя узлами в семантической сети; модулярность – наличие подсетей с плотными связями внутри и между подсетями. Наибольший интерес представляют те количественные меры, которые позволяют дифференцировать семантические сети более и менее опытных / знающих людей. В ряде исследований было показано, что семантические сети учащихся с более высоким уровнем академической успешности характеризуются более высокой степенью взаимосвязанности и более короткими путями между узлами (понятиями, идеями), причем степень взаимосвязанности возрастает по мере дальнейшего обучения [11, p. 71]. Значения показателя модулярности, полученные в разных исследованиях, не позволяют делать однозначные выводы о его связи с успешностью обучения, поскольку необходимо учитывать нелинейную зависимость этого показателя от возраста [11, p. 72]. Таким образом, качественный и количественный анализ моделей ментальных структур позволяет оценивать объем, содержание и структуру знаний учащихся на уровне связей между понятиями и подструктурами.

На основе рассмотренных выше идей об организации знаний в виде ментальных структур нами было проведено эмпирическое исследование. Исследование было направлено на проверку **гипотезы**: условием успешной категоризации проблемной физической ситуации являются точность и полнота сформированной у учащихся ментальной структуры (схемы), описывающей физическое явление, лежащее в основе проблемной ситуации. При формулировке гипотезы мы исходили из представления о том, что понимание любой проблемы предполагает конструирование ментальной репрезентации – временной (переходной) когнитивной структуры, которая включает как воспринимаемые элементы ситуации, так и знания, хранящиеся в долговременной памяти в виде ментальных структур [3, с. 5]. Категоризация ситуации на основе актуализации соответствующей ей ментальной структуры знаний позволяет приписать смысл отдельным элементам ситуации и установить отношения между ними, а также дополнить информацию об объектах, указанных в ситуации, информацией из базы знаний [8, p. 122]. В модели решения про-

блем, предложенной F. Reif, создание репрезентации ситуации рассматривается как «переописание в терминах понятий, входящих в базу знаний» [цит. по 8, p. 122]. Отмечается, что эксперты, в отличие от «новичков», умеют быстро устанавливать соответствие между внешне представленными событиями и внутренними моделями этих событий [8, p. 123].

Материалы и методы. Исследование проводилось в течение сентября-октября 2024 года. В основную группу участников исследования вошли учащиеся 10 класса одной из общеобразовательных школ г. Екатеринбурга (19 человек). Пилотажное исследование было проведено с участием студентов 3 курса, обучающихся по направлению подготовки «Физика и информатика» (12 человек). К участию в исследовании также были привлечены эксперты – преподаватели университета, имеющие опыт преподавания физических дисциплин (4 человека). Ответы экспертов рассматривались как эталонные.

В качестве стимульного материала были использованы описания восьми проблемных ситуаций из книги А. П. Усольцева «Поразительные задачи. Физика» [5]. Были выбраны описания, которые не включали явно упоминание физических понятий, из разделов: «Давление» (задачи 2.5, 2.18, 2.21); «Закон Архимеда» (задачи 4.5, 4.12); «Основы динамики» (задачи 12.1, 12.3, 12.9) [5]. Ситуации из раздела «Основы динамики» описывали явление движения по инерции. Описание каждой ситуации было напечатано на отдельной карточке.

Исследование включало выполнение каждым участником трех заданий.

Задание 1. Цель: оценка способности устанавливать соответствие между доступными наблюдениям характеристиками ситуации и признаками физического явления.

Инструкция 1. Прочитайте описание ситуаций, связанных с различными физическими явлениями. Объедините эти ситуации в группы так, чтобы в одной группе находились ситуации, описывающие одно и то же физическое явление. Придумайте название для каждой группы и впишите его в таблицу. Укажите номера ситуаций, относящихся к этой группе.

Задание 2. Цель: выявление слов / выражений в описании проблемных ситуаций, которые способствуют актуализации схемы знаний о физическом явлении, лежащем в основе проблемной ситуации.

Инструкция 2. Сейчас в каждой карточке найдите и подчеркните ключевые слова, которые позволили вам отнести карточку к определенной группе. Подчеркните не более 5 слов в каждой карточке.

Задание 3. Цель: выявление содержания схемы знаний, описывающей физическое явление или закономерность.

Инструкция 3. Напишите любые слова, которые приходят вам в голову, когда вы слышите слово ... (последовательно называются слова: «давление», «закон Архимеда», «инерция»). Ограничение времени выполнения *Инструкции 3* для каждого слова – не более 3 минут.

Для удобства описания полученных результатов каждой из 8-ми проблемных си-

туаций было присвоено буквенно-цифровое обозначение.

Задачи из раздела «Давление»: 2.5 – Д1, 2.18 – Д2, 2.21 – Д3.

Задачи из раздела «Закон Архимеда»: 4.5 – А1, 4.12 – А2.

Задачи из раздела «Основы динамики» (инерция): 12.1 – И1, 12.3 – И2, 12.9 – И3.

Результаты. Рассмотрим результаты выполнения Задания 1 (категоризация проблемных ситуаций) экспертами и школьниками.

Таблица 1

Результаты категоризации проблемных ситуаций экспертами (n = 4)

Присвоенное группе название (категория)	Проблемная ситуация	Количество экспертов, отнесших ситуацию к данной категории
Давление (3) Явления, описывающие давление (1)	Д1	4 (100%)
	Д2	4 (100%)
	Д3	4 (100%)
Закон Архимеда (1) Сила Архимеда (1) Условие плавания тел (1) Явления, описывающие массу объектов (1)	А1	4 (100%)
	А2	4 (100%)
Инерция (1) Инерция, инертность (1) Силы инерции (1) Явления, описывающие инерцию (1)	И1	4 (100%)
	И2	3 (75%)
	И3	4 (100%)

Примечание: в скобках после каждого названия группы указано количество экспертов, выбравших это название.

Как показывают результаты, приведенные в таблице 1, эксперты продемонстрировали высокий уровень согласованности в разделении проблемных ситуаций на 3 группы. Была выявлена вариативность в выборе названий для групп. Более согласо-

ванными были названия для групп «Давление» и «Инерция», наибольшая вариативность названий получена для группы «Закон Архимеда». При дальнейшем анализе именно такой вариант распределения на 3 группы будет принят за эталонный.

Таблица 2

Результаты категоризации проблемных ситуаций школьниками (n = 19)

Присвоенное группе название (категория)	Проблемная ситуация	Количество школьников, отнесших ситуацию к данной категории (% от общего количества)
Давление на поверхность (2) Давление (1) Давление твердых тел (1) Распределение массы (давление) (1) Распределение массы (1) Площадь соприкосновения (1) «Про площадь» (1) Площадь (1)	Д1	9 (47,4%)
	Д2	9 (47,4%)
	Д3	9 (47,4%)
Объем (6) Объем и масса (1) Масса в воздухе / воде (1) Сила тяжести, плотность (1) Сила Архимеда (1) Подъемная сила (1) Выталкивающая сила (закон Архимеда) (1)	А1	12 (63,2%)
	А2	12 (63,2%)
Инерция (6) Инерция, сохранение скорости телом (1) Сила тяжести и инерция (1) Движение (1) Движение тел относительно чего-либо (1) Резкая остановка (1)	И1	11 (57,9%)
	И2	8 (42,1%)
	И3	11 (57,9%)

Анализ количественных результатов, приведенных в таблице 2, свидетельствует о том, что наибольшая доля выборов, соответствующих эталонному (выбору экспертов), была получена для группы А (ситуации А1 и А2) – 12 (63,2%) школьников. 9 (47,4%) школьников объединили в одну группу ситуации Д1, Д2 и Д3. 8 (42,1%) школьников объединили в одну группу ситуации И1, И2 и И3. 3 (15,8%) школьника выделили в отдельную группу ситуацию И2 и объединили в одну группу ситуации И1 и И2.

Более половины школьников, продемонстрировавших эталонный выбор, выбрали для ситуаций группы Д названия со словом «давление» – 5 (55,6%). Для ситуаций группы А преобладают названия со словом «объем» – 7 (58,3%). Для ситуаций группы И преобладают названия со словом «инерция» – 8 (72,7%). Таким образом, преобладающие названия для групп Д и И соответствуют эталонным. Преобладающее название для группы А («объем») является менее обобщенным по сравнению с эталонным («Закон / сила Архимеда»).

Для проверки теоретической гипотезы о том, что условием успешной категоризации проблемной физической ситуации яв-

ляются точность и полнота ментальной схемы, описывающей физическое явление, лежащее в основе проблемной ситуации, были выделены две группы школьников (по критерию успешности категоризации): «эталонная» группа – школьники, которые не только правильно объединили ситуации в группу, но и дали группе название, соответствующее эталонному; «альтернативная» группа – школьники, у которых и состав, и название групп отличаются от эталонных. Результаты школьников с частичным соответствием состава и названия групп эталонному не были включены в анализ при проверке гипотезы. Поскольку объем «эталонной» и «альтернативной» групп для разных групп ситуаций отличался, анализ проводился отдельно для каждой группы ситуаций (Д, А и И). Была сформулирована эмпирическая гипотеза: существуют различия между «эталонной» и «альтернативной» группами школьников как в выделении слов, оцениваемых как ключевые для категоризации проблемной ситуации, так и в полноте и точности ментальных схем, отражающих уровень усвоения физических понятий.

Таблица 3

Сравнение выбора школьниками из «эталонной» и «альтернативной» групп слов в описании проблемных ситуаций, выделенных как ключевые (Задание 2)

Группа ситуаций	Категория	Слова	Доля школьников, выбравших это слово как ключевое (%)	
			«эталонная» группа	«альтернативная» группа
Давление	Действие	выдерживает	n = 5 40	n = 6 33
		проваливается / не провалиться (начал)	80	67
		прогибаться	20	100
	Сила	тяжесть (медведя)	40	50
	Площадь	узкими каблучками	60	50
Закон Архимеда	Условие плавания	плавает	n = 3 0	n = 4 75
		утопит (ключик)	67	25
	Выталкивающая сила	взлетает	33	75
	Объем	объем	33	25
Инерция	Движение		n = 5	n = 7
		полетели	40	57
		вращение	80	86
	Изменение скорости движения в результате воздействия	падает	60	43
		сел носом в землю	20	29
		резкого торможения (тормоз)	100	71
		остановила	100	86
	Направление движения	споткнется	100	86
подпрыгнул		20	14	
вперед		80	43	

Результаты, представленные в таблице 3, не позволяют делать вывод о существенных различиях в выделении ключевых слов школьниками «эталонной» и «альтерна-

тивной» групп. Хотя по отдельным словам различие может быть достаточно большим (например, слово «плавает» в группе ситуаций «Закон Архимеда» не выбрал ни один

школьник из «эталонной» группы и 75% школьников из «альтернативной» группы), но сравнение групп по категориям (охватывающим несколько слов) не дает таких значительных различий. Отсутствие значимых различий между «эталонной» и «альтернативной» группами школьников ставит вопрос о валидности процедуры выделения ключевых слов как индикатора понимания сути проблемной ситуации. Для ответа на этот вопрос мы провели сравнение по выделенным ключевым словам между школьни-

ками, которые правильно объединили в одну группу ситуации A1 и A2, но дали этой группе разные названия: первая группа (6 школьников) назвали группу «Объем», а вторая группа (3 школьника) дали группе более общее название («Выталкивающая сила (закон Архимеда)», «Сила Архимеда», «Подъемная сила»). Мы включили в таблицу 4 только те ключевые слова, которые были подчеркнуты не менее чем половиной школьников из каждой группы.

Таблица 4

Сравнение выбора ключевых слов школьниками, давшими разные названия группе ситуаций А

Ситуация	Слова, выбранные как ключевые	Доля школьников, выбравших это слово как ключевое (%)	
		Группа 1 («Объем») n = 6	Группа 2 («Закон Архимеда») n = 3
A1	объем	100	33
	шариков	50	33
	с водородом	50	0
	взлетает	0	67
A2	изменится	0	67
	уровень воды	50	100
	утопит	67	67

Как видно из таблицы 4, все школьники (100%) из группы 1 подчеркнули в качестве ключевого слово «объем», что может служить объяснением выбора именно этого слова в качестве названия группы. В группе 2 слово «объем» подчеркнул один из трех школьников (33%). Представляют интерес различия, связанные с подчеркиванием школьниками группы 2 таких слов, как «взлетает» (67%) и «изменится» (уровень воды) (67%). Эти слова не были выделены ни одним из школьников группы 1, хотя именно эти слова указывают на изменения, связанные с действием силы Архимеда. В силу небольшого объема выборки эти результаты можно рассматривать скорее как иллюстрации, нежели как аргументы. Тем не менее они могут служить основой для формулировки гипотез, требующих проверки на выборках большего объема.

Для проверки гипотезы о различиях между школьниками «эталонной» и «альтернативной» групп в полноте и точности

ментальных схем, отражающих уровень усвоения физических понятий, был проведен анализ выполнения ими Задания 3. После проведения пилотажного исследования с группой студентов инструкция Задания 3 была уточнена: участникам исследования предлагалось назвать в качестве ассоциаций на слово-стимул не любые слова, а относящиеся к области физики. Для анализа результатов выполнения этого задания для каждого из слов-стимулов («давление», «закон Архимеда», «инерция») нами был выделен ряд понятий, входящих в их содержание. Выделение этих понятий производилось на основе анализа определений слов-стимулов и содержания соответствующих параграфов учебника по физике А. В. Перышкина для 7 класса. В качестве показателя полноты и точности ментальной схемы выступало количество ответов на слово-стимул, совпадающих с понятиями, входящими в его определение.

Таблица 5

Сравнение полноты и точности ментальных схем, соответствующих уровню усвоения физических понятий, школьников «эталонной» и «альтернативной» групп (Задание 3)

Слово-стимул	Понятия, входящие в определение слова-стимула	Частота упоминания понятия в ряду ассоциаций на слово-стимул (медиана)		U _{эмп}
		«эталонная» группа	«альтернативная» группа	
Давление		n = 5	n = 6	
	сила	1	0,5	
	площадь	1	0	
	действие	0	0	
	Сумма	2	0,5	4,5 (p ≤ 0,05)
Закон Архимеда		n = 3	n = 4	
	сила	0	0,5	
	выталкивающая	1	0,5	
	вес	1	0	
	объем	1	0,5	
Сумма	3	1,5	8 (p ≥ 0,05)	
Инерция		n=5	n=7	
	сохранение / продолжение / постоянная	1	0	
	скорость	1	0	
	движение/двигаться	0	0	
	равномерное	0	0	
	воздействие/сила	0	0	
Сумма	2	0	13 (p ≥ 0,05)	

Различия в полноте и точности ментальных схем, отражающих уровень усвоения физических понятий, между школьниками «эталонной» и «альтернативной» групп были получены для суммарного количества ответов на слово-стимул «давление» (на уровне значимости различий $p \leq 0,05$). Также можно отметить, что в ответах школьников «альтернативной» группы на слово-стимул «давление» отсутствует понятие «площадь», а в «эталонной» группе частота упоминания этого понятия составляет 80%. Для слов-стимулов «закон Архимеда» и «инерция» не выявлено значимых различий между суммарными показателями ответов в «эталонной» и «альтернативной» группах. При этом в «альтернативной» группе при ответе на слово-стимул «закон Архимеда» отсутствует понятие «вес» (в «эталонной» группе частота его упоминаний составляет 67%). При сравнении ответов на слово-стимул «инерция» было выявлено различие с помощью критерия Фишера на уровне значимости $p \leq 0,05$ ($\Phi^*_{эмп} = 1,701$) в частоте упоминания понятия «сохранение»: в «эталонной» группе это понятие упоминали в ответ на слово-стимул «инерция» 60% школьников, а в «альтернативной» группе – 14% школьников. Ответ на вопрос, являются ли отмеченные различия отражением устойчивой закономерности, требует увеличения объема выборки.

Необходимо также отметить, что использованный нами для обработки резуль-

татов Задания 3 метод контент-анализа позволяет оценивать только содержание ментальных схем. Оценка структуры ментальных схем требует использования методов когнитивной сетевой науки, что является одной из перспективных задач нашего исследования.

Выводы

1. При выполнении задания на категоризацию физических проблемных ситуаций школьниками 10 класса ($n = 19$) 12 (63,2%) школьников правильно объединили в одну группу ситуации, связанные с действием силы Архимеда (ситуации группы А); 9 (47,4%) – ситуации, описывающие давление (ситуации группы Д); 8 (42,1%) – ситуации, описывающие явление движения по инерции (ситуации группы И). Из них доля выбравших для групп ситуаций название, соответствующее эталонному, составила: 8 (72,7%) – название «Инерция» (для ситуаций группы И); 5 (55,6%) – название «Давление» (для ситуаций группы Д). Для ситуаций группы А преобладающим было название «Объем» (7 (58,3%) школьников), являющееся менее обобщенным по сравнению с эталонным названием «Закон / сила Архимеда».

2. Были выявлены качественные различия между школьниками, давшими разные названия группам ситуаций, в выделении ключевых слов в описании проблемных ситуаций. Школьниками, которые дали группе ситуаций А эталонное название («Закон / сила Архимеда», «Выталкиваю-

щая / подъемная сила»), в качестве ключевых были выделены слова «взлетает» и «изменится» (уровень воды), описывающие действие силы Архимеда. В группе школьников, назвавших группу ситуаций А словом «Объем», эти слова не были выделены ни одним из школьников. Однако формулировка вывода о возможности использования выделенных ключевых слов в качестве индикатора понимания сути проблемной ситуации требует проведения исследования на выборке большего объема.

3. При проверке гипотезы о различиях в полноте и точности ментальных схем, отражающих уровень усвоения физических понятий, значимые различия между школьниками, успешными («эталонная» группа) и не успешными («альтернативная» группа) в выполнении задания на категоризацию проблемных ситуаций, были получены только для понятия «давление» ($U_{эмп} = 4,5$, $p \leq 0,05$). Для ментальных схем, соответствующих понятиям «закон Архимеда» и «инерция», значимых различий в количестве слов, названных в ответ на словостимул и совпадающих с понятиями, входящими в его определение, между группами получено не было. Качественный анализ ответов школьников из «альтернативной» группы свидетельствует об отсутствии в ментальных схемах большинства из них по-

нятия «площадь» (для слова-стимула «давление»), понятия «вес» (для слова-стимула «закон Архимеда») и понятия «сохранение» (для слова-стимула «инерция»), что характеризует их ментальные схемы как менее полные. Однако выводы о значимости различий между ответами «альтернативной» и «эталонной» групп требуют увеличения объема выборки.

4. Высокие показатели полноты и точности ментальной схемы, описывающей физическое явление, у отдельных школьников из «альтернативной» группы позволяют предположить, что полнота и точность ментальной схемы являются необходимыми, но недостаточными условиями успешной категоризации проблемной физической ситуации.

5. Полученные результаты отчасти подтверждают предположение о связи характеристик ментальных структур и продуктивности познавательной деятельности. Это позволяет рассматривать методы оценки качественных и количественных характеристик ментальных структур как диагностический инструмент, который может быть использован при разработке стратегий обучения, направленных на создание эффективных условий для усвоения школьниками научных понятий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гист, Х. Поддержка присвоения знаний и Conceptual Change в обучении. Стратегия обучения при восхождении от абстрактного к конкретному / Х. Гист. – Текст : непосредственный // Культурно-историческая психология. – 2014. – Т. 10, № 4. – С. 99–109.
2. Исаев, Е. И. Методика развития исходных математических и естественно-научных представлений обучающихся до научных понятий в начальной школе / Е. И. Исаев, А. А. Марголис, М. А. Сафронова. – Текст : непосредственный // Психологическая наука и образование. – 2021. – Т. 26, № 6. – С. 25–45. – DOI: 10.17759/pse.2021260602.
3. Ришар, Ж. Ф. Ментальная активность. Понимание, рассуждение, нахождение решений / Ж. Ф. Ришар ; сокр. пер. с франц. Т. А. Ребеко. – М. : Издательство «Институт психологии РАН», 1998. – 232 с. – Текст : непосредственный.
4. Усова, А. В. Условия успешного формирования у учащихся научных понятий / А. В. Усова. – Текст : электронный // Наука и школа. – 2006. – № 4. – С. 57–59. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/usloviya-uspeshnogo-formirovaniya-u-uchaschihsya-nauchnyh-ponyatiy> (дата обращения: 30.10.2024).
5. Усольцев, А. П. Поразительные задачи. Физика / А. П. Усольцев. – М. : Просвещение, 2024. – 159 с. – Текст : непосредственный.
6. Холодная, М. А. Психология понятийного мышления: От концептуальных структур к понятийным способностям / М. А. Холодная. – М. : Издательство «Институт психологии РАН», 2012. – 288 с. – Текст : непосредственный.
7. Carey, S. The Origin and Evolution of Everyday Concepts / S. Carey. – Text : immediate // Cognitive Models of Science / ed. by R. Giere, H. Feigl. University of Minnesota Press, 1992. – P. 15–89.
8. Chi, M. T. H. Categorization and representation of physics problems by experts and novices / M. T. H. Chi, P. J. Feltovich, R. Glaser. – Text : immediate // Cognitive Science. – 1981. – Vol. 5, no. 2. – P. 121–152. – https://doi.org/10.1207/s15516709cog0502_2.
9. Chi, M. T. H. Three types of conceptual change: Belief revision, mental model transformation, and categorical shift / M. T. H. Chi. – Text : immediate // Handbook of research on conceptual change / ed. by S. Vosniadou. – Hillsdale : Erlbaum, 2008. – P. 61–82.
10. Christensen, A. P. Semantic network analysis (SemNA): A tutorial on preprocessing, estimating, and analyzing semantic networks / A. P. Christensen, Y. N. Kenett. – Text : immediate // Psychological Methods. – 2023. – Vol. 28, issue 4. – P. 860–879. – <https://doi.org/10.1037/met000463>.
11. Luchini, S. A. Mapping the Memory Structure of High-Knowledge Students: A Longitudinal Semantic Network Analysis / S. A. Luchini, S. Wang, Y. N. Kenett, R. E. Beaty. – Text : immediate // Journal of Intelligence. – 2024. – Vol. 12, issue 6. – P. 56–77. – <https://doi.org/10.3390/jintelligence12060056>.

12. Newell, A. Human problem solving / A. Newell, H. A. Simon. – Englewood Cliffs : Prentice-Hall, 1972. – 920 p. – Text : immediate.
13. Novak, J. D. Theoretical origins of concept maps, how to construct them, and uses in education / J. D. Novak, A. J. Cañas. – Text : immediate // *Reflecting Education*. – 2007. – Vol. 3, no. 1. – P. 29–42.
14. Pine, K. Children's Misconceptions in Primary Science: A Survey of teachers' views / K. Pine, D. Messer, K. St. John. – Text : immediate // *Research in Science & Technological Education*. – 2001. – Vol. 19, issue 1. – P. 79–96. – <https://doi.org/10.1080/02635140120046240>.
15. Siew, C. S. Q. Cognitive Network Science: A Review of Research on Cognition through the Lens of Network Representations, Processes, and Dynamics / C. S. Q. Siew, D. U. Wulff, N. M. Beckage, Y. N. Kenett. – Text : immediate // *Complexity* / ed. by A. Meštrović. – 2019. – Vol. 2019, issue 1. – P. 1–24. – <https://doi.org/10.1155/2019/2108423>.
16. Siew, C. S. Q. Investigating the network structure of domain-specific knowledge using the semantic fluency task / C. S. Q. Siew, A. Guru. – Text : immediate // *Memory & Cognition*. – 2022. – Vol. 51, issue 3. – P. 623–646. – <https://doi.org/10.3758/s13421-022-01314-1>.
17. Vosniadou S. Mental models of the earth: A study of conceptual change in childhood / S. Vosniadou, W. F. Brewer. – Text : immediate // *Cognitive Psychology*. – 1992. – Vol. 24, no. 4. – P. 535–585.

REFERENCES

1. Giest, H. (2014). Podderzhka prisvoeniya znaniy i Conceptual Change v obuchenii. Strategiya obucheniya pri voskhozhdanii ot abstraktnogo k konkretnomu [Supporting Knowledge Acquisition and Conceptual Change in Learning. Learning Strategy in Ascending from the Abstract to the Concrete]. In *Kul'turno-istoricheskaya psikhologiya*. Vol. 10. No. 4, pp. 99–109.
2. Isaev, E. I., Margolis, A. A., Safronova, M. A. (2021).. Metodika razvitiya iskhodnykh matematicheskikh i estestvenno-nauchnykh predstavleniy obuchayushchikhsya do nauchnykh ponyatii v nachal'noi shkole [Developing Children's Concepts in Mathematics and Natural Sciences in Elementary School: From Initial Representations to Scientific Concepts]. In *Psikhologicheskaya nauka i obrazovanie*. Vol. 26. No. 6, pp. 25–45. DOI: 10.17759/pse.2021260602.
3. Richard, J.-F. (1998). *Mental'naya aktivnost'. Ponimanie, rassuzhdenie, nakhozhdenie reshenii* [Mental Activity. Understanding, Reasoning, Finding Solutions]. Moscow, Izdatel'tvo «Institut psikhologii RAN». 232 p.
4. Usova, A. V. (2006). Usloviya uspehnogo formirovaniya u uchashchikhsya nauchnykh ponyatii [Conditions for the Successful Formation of Scientific Concepts in Students]. In *Nauka i shkola*. No. 4, pp. 57–59. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/usloviya-uspehnogo-formirovaniya-u-uchashchihhsya-nauchnykh-ponyatii> (mode of access: 30.10.2024).
5. Usoltsev, A. P. (2024). *Porazitel'nye zadachi. Fizika* [Amazing Problems. Physics]. Moscow, Prosveshchenie. 159 p.
6. Kholodnaya, M. A. (2012). *Psikhologiya ponyatiinogo myshleniya: Ot kontseptual'nykh struktur k ponyatiinym sposobnostyam* [Psychology of Conceptual Thinking: From Conceptual Structures to Conceptual Abilities]. Moscow, Izdatel'stvo «Institut psikhologii RAN». 288 p.
7. Carey, S. (1992). The Origin and Evolution of Everyday Concepts. In Giere, R., Feigl, H. (Eds.). *Cognitive Models of Science*. University of Minnesota Press, pp. 15–89.
8. Chi, M. T. H., Feltoich, P. J., Glaser, R. (1981). Categorization and Representation of Physics Problems by Experts and Novices. In *Cognitive Science*. Vol. 5. No. 2, pp. 121–152. https://doi.org/10.1207/s15516709cog0502_2.
9. Chi, M. T. H. (2008). Three Types of Conceptual Change: Belief Revision, Mental Model Transformation, and Categorical Shift. In Vosniadou, S. (Ed.). *Handbook of research on conceptual change*. Hillsdale, Erlbaum, pp. 61–82.
10. Christensen, A. P., Kenett, Y. N. (2023). Semantic Network Analysis (SemNA): A Tutorial on Preprocessing, Estimating, and Analyzing Semantic Networks. In *Psychological Methods*. Vol. 28. Issue 4, pp. 860–879. <https://doi.org/10.1037/met0000463>.
11. Luchini, S. A., Wang, S., Kenett, Y. N., Beaty, R. E. (2024). Mapping the Memory Structure of High-Knowledge Students: A Longitudinal Semantic Network Analysis. In *Journal of Intelligence*. Vol. 12. Issue 6, pp. 56–77. <https://doi.org/10.3390/jintelligence12060056>.
12. Newell, A., Simon, H. A. (1972). *Human Problem Solving*. Englewood Cliffs, Prentice-Hall. 920 p.
13. Novak, J. D., Cañas, A. J. (2007). Theoretical Origins of Concept Maps, How to Construct Them, and Uses in Education. In *Reflecting Education*. Vol. 3. No. 1, pp. 29–42.
14. Pine, K., Messer, D., St. John, K. (2001). Children's Misconceptions in Primary Science: A Survey of Teachers' Views. In *Research in Science & Technological Education*. Vol. 19. Issue 1, pp. 79–96. <https://doi.org/10.1080/02635140120046240>.
15. Siew, C. S. Q., Wulff, D. U., Beckage, N. M., Kenett, Y. N. (2019). Cognitive Network Science: A Review of Research on Cognition through the Lens of Network Representations, Processes, and Dynamics. In Meštrović, A. (Ed.). *Complexity*. Vol. 2019. Issue 1, pp. 1–24. <https://doi.org/10.1155/2019/2108423>.
16. Siew, C. S. Q., Guru, A. (2022). Investigating the Network Structure of Domain-Specific Knowledge Using the Semantic Fluency Task. In *Memory & Cognition*. Vol. 51. Issue 3, pp. 623–646. <https://doi.org/10.3758/s13421-022-01314-1>.
17. Vosniadou S., Brewer W. F. (1992). Mental Models of the Earth: A Study of Conceptual Change in Childhood. In *Cognitive Psychology*. Vol. 24. No. 4, pp. 535–585.