

ОБЩАЯ ПСИХОЛОГИЯ, ПСИХОЛОГИЯ ЛИЧНОСТИ, ИСТОРИЯ ПСИХОЛОГИИ

ИНСТРУМЕНТАРИЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЕЙ: ОБЪЕКТЫ, СОЗДАВАЕМЫЕ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ МЫШЛЕНИЯ, КАК КОГНИТИВНЫЕ АРТЕФАКТЫ

© Поддьяков А.Н.

доктор психологических наук, профессор, главный научный сотрудник, лаборатория психологии и психофизиологии творчества, Институт психологии РАН, Москва, Россия
poddyakovan@ipran.ru

В статье рассматривается особый тип исследовательских орудий – материальные объекты, создаваемые для научного изучения мышления и интеллектуального поведения. Функция этих объектов – стимулировать развертывание процесса мышления, постановки и решения проблем. Данные объекты можно рассматривать как особые когнитивные артефакты. Представлен перечень их характеристик, не претендующий на исчерпывающую полноту и предлагаемый для возможного обсуждения и дополнения другими исследователями. В него входят: а) степень новизны объекта и неопределенности его отнесения к тому или иному классу; б) «серендипность» объекта – наличие заготовленных скрытых сюрпризов, неожиданных свойств, связей; в) контринтуитивность объекта; г) объективная сложность; д) степень «прозрачности», доступности для наблюдения; е) предполагаемая понятность объекта для испытуемого (участника); ж) предполагаемая осмысленность практических действий участника по отношению к объекту; з) возможность трансформации объекта с целью создания сходных, но чем-то отличающихся проблемных ситуаций (задач); и) характер мыслительных целей (вызовов), которые, по замыслу разработчиков, должны провоцироваться (стимулироваться) объектом. Некоторые из этих объектов являются когнитивными артефактами не только для исследователей-психологов, но и для участников с развитием мышления выше некоторого уровня. Такой объект может стать для участника и метакогнитивным артефактом – средством познания чужого мышления (мышления разработчика).

Ключевые слова: исследовательские орудия, психологические инструменты, объекты для изучения мышления и интеллектуального поведения, когнитивные артефакты

Введение

Артефакт – «материальный объект, созданный человеком и предназначенный для определенной цели» [10, с. 312]. «Проблематика артефакта является определяющей для раскрытия столь актуальной в настоящее время дихотомии простоты и сложности, дискурсивно заполняющей всё социальное пространство современности и выступающей конечным основанием многих аспектов социальной динамики» [там же, с.

313]. По Н.С. Розову, в психологической парадигме «каждый тип артефактов когда-либо был изобретен, затем модифицировался и производился в результате творческой и рутинной деятельности индивидов, обладающих соответствующими способностями, знаниями, умениями, мотивацией. Все потребности в артефактах также имеют психологическую природу. Таким образом, развитие артефактов в целом опреде-

ляется развитием человеческой психики (что не исключает и обратную связь)» [22].

Опираясь на эти исходные положения, обратимся к артефактам определенного типа: специально созданным материальным объектам для изучения и стимулирования развертывания мышления и интеллектуального поведения. Они используются во множестве психологических и биологических исследований и их можно считать особым типом исследовательских орудий среди других, созданных человечеством.

Исторические предшественники этих артефактов – объекты-головоломки, известные с древности (вспомним Гордиев узел, представленный лишь в легенде, а также более поздние, зато сохранившиеся). Статус головоломок в культуре, а также психология творчества авторов головоломок анализируются в книге Б.Л. Ротштейна (B.L. Rothstein) [43]. Книга «дает читателям необычное и неожиданное понимание загадочного мира людей, которые создают головоломки, и тех, кто стремится их решить» [38].

По мнению Б.Л. Ротштейна, одна из психологических функций механических головоломок – стимулировать процессы понимания, «поскольку, возможно, мы никогда не бываем более старающимися понять что-то, чем когда мы пытаемся справиться с объектом, который отказывается соответствовать нашим ожиданиям. <...> Эти объекты, будучи специально созданы для провокации неправильного понимания, требуют пересмотра наших подходов к пониманию – не только этих объектов как таковых, но в придачу и самих себя, пытающихся понять их» [43].

В некоторых случаях психологи не изобретают, а берут в качестве «проблемного объекта» для эксперимента ту или иную известную головоломку, разработанную кем-то до них: например, «Ханойскую башню», кубик Рубика и др. (см., например, исследование Е.В. Битюцкой и Д.Н. Кавтарадзе с использованием головоломки В.И. Красноухова) [4]. Я.А. Пономарев, использовавший для разработки серии своих экспериментальных задач известную с XIX в. головоломку «9 точек» (“9 points”), «писал, что начал экспериментировать с решением задач из

непосредственного интереса к ним как своего рода математической головоломке. Сам он и вывел формулу, связывающую число точек с минимальным числом линий, необходимых для их перечеркивания: $y = (\sqrt{x-1}) \times 2$, где x – число точек, а y – число линий» [27, с. 26].

В данной статье мы не будем анализировать методический прием адаптации ранее известной головоломки для целей психологического исследования, а обратимся к тем стимульным «проблемным» объектам, которые изначально создаются исследователями для изучения мышления и интеллектуального поведения.

Это особые вещественные средства, культурные орудия исследовательской деятельности психологов, а также биологов, изучающих поведение. Данные объекты стимулируют другое живое существо, обладающее психикой (человека или животное), развернуть свое поведение, деятельность, процессы психического функционирования и позволяют тем самым изучать их [15, с. 30]. Подчеркнем – их изобретение позволяет поставить вопрос о новом для человечества типе материальных научных исследовательских орудий (в отличие от эхолотов, микроскопов и других научных инструментов). Рассматриваемые нами объекты входят в класс инструментов научной психологии и биологии поведения.

Словосочетания «психологический аппарат» и «психологический инструмент» использовались с конца XIX в. [33; 44]. Х. Гундлах (H. Gundlach) в статье «Что такое психологический инструмент?» (название отсылает к ставшей классической статье [46], см. также [45]) дает следующее определение. Психологический инструмент – это «связь некоторого материального объекта и процессуального правила, или каким-либо образом материализованное процессуальное правило; используется для психологических исследований, преподавания или практики; представляет или адаптирует часть рационального знания конкретного общества в определенный момент времени, причем это знание может быть психологическим, но не обязательно» [33, с. 217]. Психологические инструменты во многом создали современную научную психологию [33, с. 218-220].

История изобретения этих объектов, начиная с аппаратов Вундта, проблемных ящиков бихевиористов, экспериментального инструментария гештальт-психологов и заканчивая последними орудиями-новинками в когнитивных науках и биологии поведения, – это часть интеллектуальной истории человечества, история разрывания его творческого потенциала в направлении саморазвития и самопознания [15; 16].

Можно утверждать, что психологические инструменты входят в такой тип артефактов, которые называются когнитивными. Понятие «когнитивный артефакт» ввел Д. Норман [40]. Оно означает устройство, разработанное для получения, показа или обработки информации и выполнения функции репрезентации (“A cognitive artifact is an artifice all device designed to maintain, display, or operate upon information in order to serve are presentational function”).

Р. Хирсминк приводит также другие определения когнитивных артефактов. Это «физические объекты, сделанные людьми с целью помощи познанию или его улучшения» [36, с. 126], цит. по [34, с. 470]. «Это материальные носители, обладающие связанными с познанием свойствами генерации представлений, манипулирования ими или их распространения» [39, с. 41], цит. по [34, с. 471].

Научные приборы, используемые в естественных науках и инженерии, относят к когнитивным артефактам, т.к. они позволяют получать и показывать информацию нередко в обработанном виде. В этом контексте необходимо упомянуть классификацию вещественных средств, орудий труда, которую дал Е.А. Климов. Он включал в нее следующие средства познания (приема, получения, «добычи», обработки информации).

1. Приборы, машины, дающие изображение (бинокль, микроскоп, телевизионная система).

2. Приборы, машины, дающие условный знак, символ, сигнал (вольтметр, термометр, мнемоническая схема на сигнальном табло диспетчерского пульта управления).

3. Приборы, машины, обрабатывающие информацию (счетчики, электронные вычислительные машины) [11, с. 75].

Можно видеть существенное пересечение понятия приборов для приема, получения, обработки информации по Е.А. Климову и понятия когнитивных артефактов.

Поскольку рассматриваемые нами «проблемные» объекты для изучения и стимулирования мышления и интеллектуального поведения (различные проблемные ящики, головоломки и пр.), предъявляемые участникам экспериментов, позволяют получать информацию о мышлении и интеллектуальном поведении этих участников (в этом состоит назначение данных объектов), можно утверждать, что они тоже являются когнитивными артефактами для исследователей.

Многие из этих объектов описаны в учебниках и монографиях [8; 12; 21; 24]. Знакомясь с этими когнитивными артефактами, можно убедиться, что положение «научный прибор – это воплощенная мысль» [19] полностью относится и к ним.

При этом нет обзорно-аналитических работ, охватывающих широкий диапазон и базовые характеристики материальных объектов для изучения мышления и интеллектуального поведения, созданных психологами и биологами. Проведенный нами анализ различных материальных объектов, созданных для изучения и стимулирования мышления, позволил выявить некоторые их характеристики, которые, как мы полагаем, можно отнести к базовым. Они не являются исчерпывающими, но представляются принципиально важными. Мы приглашаем исследователей, заинтересовавшихся данной темой, расширить этот перечень. Можно видеть, что материальные объекты, созданные психологами и биологами для изучения и стимулирования мышления и интеллектуального поведения, образуют широкое разнообразие как по конкретным исследовательским целям их авторов, так и характеристикам самих объектов.

Предварительно заметим, что хотя параметры экспериментальной ситуации, в которую включен объект, не являются предметом рассмотрения в нашей статье, один из них следует упомянуть, поскольку под него могут разрабатываться очень разные объекты с противоположными характеристиками. Таким параметром является неопределенность создаваемой экспе-

риментатором ситуации, в которую включен объект. На одном конце оси здесь – ситуация развертывания мышления в условиях четко сформулированной экспериментатором задачи по отношению к объекту. Например, задание участнику перевести объект в заданное состояние, вызвать определенный эффект (свисток, зажигание определенной лампочки и т.п.), определить скрытое состояние объекта за минимальное количество действий и т.д.

Так, взаимодействуя с аппаратом, изображенным на рис. 1, ребенок должен был за минимальное количество нажимов на кнопки на передней панели (в каждой кнопке находилась зажигающаяся при нажиме лампочка) определить, какая из предъявленных ему конфигураций точек на вертикальной доске (Т-образная конфигурация слева или горизонтальная справа) скрыта в схеме панели. Нажимать кнопки можно только по одной, одновременные нажимы на несколько кнопок запрещены.

На противоположном конце оси «неопределенность ситуации» находятся очень неопределенные вводные от экспериментатора, которые сложно назвать инструкцией в традиционном

понимании: «Это новая игрушка. Я сам не знаю, как в нее играть. Позанимайся ей, пока я занят». (На самом деле как бы полуотвернувшийся экспериментатор занят тем, что ведет наблюдение за происходящим).

Приведем цитату: «Креативные способности ребенка изучались нами в предметных ситуациях, где ребенку как бы случайно давали осмотреть три одинаковых на вид коробки, одна из которых отличалась тем, что обычным способом не открывалась. Чтобы ее открыть, надо было обнаружить не бросающуюся в глаза маленькую кнопку, нажать на нее и одновременно потянуть вверх крышку коробки. Мы выясняли, обнаружит ли ребенок “секрет”, как он к нему отнесется: станет ли выяснять, проявит ли настойчивость, обратится ли за помощью к взрослому и др. “Секрет” считался решенным в том случае, если ребенку удавалось открыть коробку» [6, с. 85]. Вообще, «проблемные коробки с секретами» – один из основных исследовательских инструментов в научной школе М.И. Лисиной [13], к которой относится и Т.М. Землянухина, автор процитированного фрагмента.

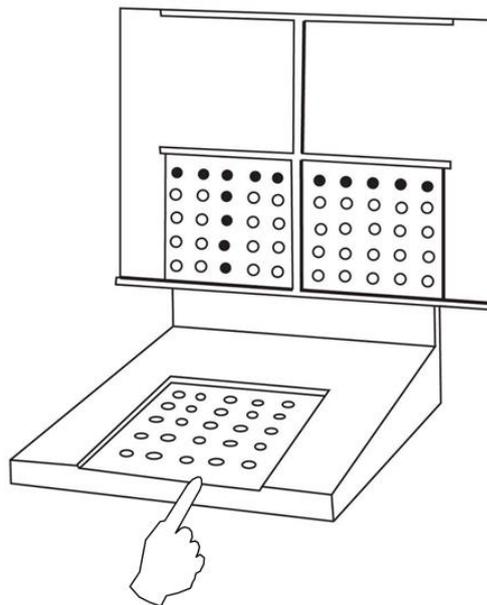


Рис. 1. Аппарат, использовавшийся в эксперименте Д. Олсона [5, с. 312].

Характеристики материальных объектов для изучения и стимулирования мышления и интеллектуального поведения

Мы будем отталкиваться от традиционно выделяемых факторов, вызывающих любопытство и познавательную активность, – это новизна, сложность, когнитивный конфликт (противоречие частей информации об объекте друг другу, противоречие поведения объекта ожиданиям) [41], и добавим еще некоторые.

1. *Новизна объекта и неопределенность его отнесения к тому или иному классу.* На одном конце оси находятся знакомые объекты: например, шестерни, пусть и образующие новую зубчатую передачу как стимульный материал задачи. На другом конце оси – объекты, воспринимаемые как существенно новые, которые можно неформально квалифицировать как «штуковины – не пойми что». Их специально разрабатывают такими, чтобы стимулировать любопытство участника по отношению к ним и пробудить как можно более разнообразное исследовательское поведение. Фото одного из таких объектов

представлено на рис. 2. Фотографии взаимодействия ребенка с этим объектом см. в [32].

2. *«Серендипность» объекта* – наличие заготовленных скрытых сюрпризов, секретов, неожиданных свойств, связей, выявляемых участниками при взаимодействии с ним. Серендипность означает обнаружение того, что не искали (или не того, что искали), при этом важного и интересного (сравнимо с побочным продуктом деятельности по Я.А. Пономареву). Серендипность мышления и серендипность многих научных открытий анализируют В.М. Аллахвердов [1], В.В. Знаков [7], А. Рулев [23]. Мы же обращаемся к такому методическому приему при разработке материального объекта для изучения мышления, как предоставление возможности участнику обнаружить неожиданное интересное и важное при взаимодействии с данным объектом. Психолога-исследователя интересует процесс обнаружения этой серендипности участниками, реакции на нее и последующая работа с ней, разная у разных участников.

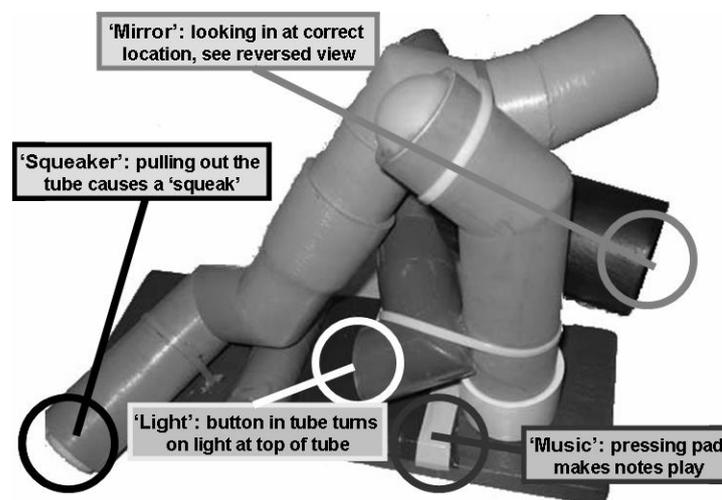


Рис. 2. Экспериментальный объект для изучения исследовательского поведения и экспериментирования детей [30]. Лицензия: Attribution-Noncommercial-ShareAlike 3.0 Unported. Объект относится к категории, которую можно неформально обозначить как «не пойми что», «неизвестно что», – это сделано намеренно, чтобы вызвать любопытство ребенка.

Аппарат на рис. 1 не содержит скрытых сюрпризов, объект на рис. 2 – содержит. Расширяя контекст, укажем, что в компьютерных играх-квестах также используется принцип скрытых секретов, сюрпризов, обнаруживаемых участниками в ходе обследования компьютерной среды. Пример исследовательской психологической методики с применением этого принципа см. в [25].

3. *Контринтуитивность объекта, провокация им ложных гипотез.* Любой проблемный ящик своими аффордансами может порождать ложные гипотезы у участника, на то он и проблемный [14]. Но некоторые из этих объектов специально разрабатываются так, чтобы спровоцировать у подавляющего большинства участников ту или иную ложную гипотезу, следование которой и пути отвержения которой интересны экспериментатору – исследователю мышления.

В качестве примера рассмотрим экспериментальный объект на рис. 3. «К правому плечу рычага прикреплена игрушка, привлекательная для ребенка, вызывающая желание ее достать. Положение игрушки на столе исключает возможность достать ее просто рукой. Единственный путь – воспользоваться рукояткой, прикрепленной к левому плечу. Естественно желание потянуть ручку к себе, но игрушка только

отодвигается, нужно совершать движение, обратное тому, которое обычно совершается при притягивании вещей к себе. Нахождение этого способа, которое для ребенка младшего возраста осуществляется со значительными трудностями, также называют в психологии мышлением» [26, с. 8].

Добавим пояснение к словам «естественно желание потянуть ручку к себе, но игрушка только отодвигается»: это пример искусно созданной провокации ложной гипотезы аффордансами объекта; провокации, созданной с пониманием психологии ребенка соответствующего возраста.

4. *Сложность объекта,* связанная с такими объективными характеристиками, как количество составляющих его элементов, количество и характер связей между ними, возможность их динамического изменения (рис. 4).

5. *«Прозрачность» устройства объекта, доступность для наблюдения.* На одном конце оси находятся полностью наблюдаемые объекты (рис. 5). На другом конце оси находятся объекты – «черные ящики», устройство которых скрыто от наблюдения (рис. 6). Также возможны промежуточные варианты – часть устройства объекта скрыта, часть открыта для наблюдения (см., например, описание «Механической установки» в [17]).

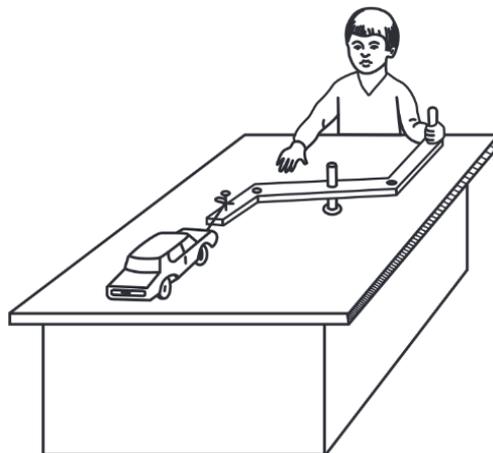


Рис. 3. Эксперимент по изучению наглядно-действенного мышления дошкольника [26, с. 8].



Рис. 4. Четырехлетний ребенок, обследующий объект, разработанный Л. Динем с коллегами для сравнительного изучения мышления обезьян и детей [31]. Этот экспериментальный объект содержит в себе скрытые зависимости разной сложности: самые простые могли выявить и капуцины, более сложные могли выявить шимпанзе, а самые сложные – дети 3-4 лет. Фото из статьи [42].
Лицензия: Creative Commons Attribution 4.0 International License.



Рис. 5. Экспериментальный объект – зубчатая передача из элементов конструктора для изучения мышления детей 3-6 лет [37]. Полностью наблюдаема. При этом дети разного возраста различаются степенью понимания работы этой зубчатой передачи (степень понимания определяется по решению тестовых задач разной сложности). Лицензия: СС ВУ.

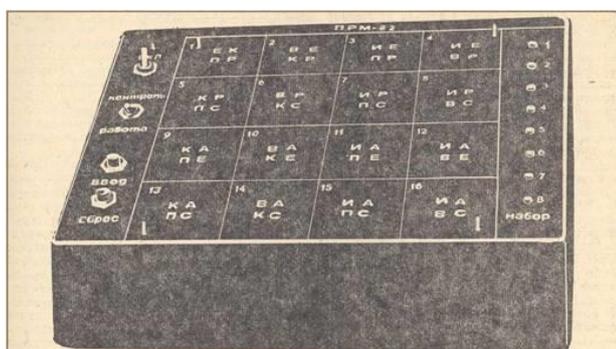


Рис. 6. Прибор для формирования понятий ПРМ-82 [20].

6. *Предполагаемая понятность объекта для испытуемого (участника).* На одном конце оси находятся такие объекты, которые, по мнению разработчика, могут быть поняты участниками (например, зубчатые передачи людьми). Интерес для исследователя здесь представляют процесс и результаты понимания, степени понимания, ошибки непонимания, инсайт и «ага-реакция». На другом конце оси находятся объекты, которые не могут быть поняты испытуемым (участником) в принципе (курица не поймет систему тяг и рычагов, связывающих педаль с высыпавшим корм устройством). Разрабатываемые в эволюционной биологии экспериментальные объекты (например, механические запоры

разной сложности) предполагают возможность разной степени их понимания представителями разных видов и разные стратегии освоения.

7. *Предполагаемая осмысленность практических действий участника по отношению к объекту.* На одном конце оси находятся объекты, предполагающие метод слепых проб и ошибок со стороны испытуемого (участника) – как в ящиках ранних бихевиористов (рис. 7). На другом конце оси – объекты, предполагающие осмысленный поиск и перебор возможностей практических действий на основе всё углубляющегося понимания (рис. 8).



Рис. 7. Проблемный ящик Торндайка, в котором заперта кошка. Изображение-реконструкция [35].
Лицензия: ССВУ.



Рис. 8. «Треугольная установка», провоцирующая ребенка на полный и достаточно последовательный комбинаторный перебор 4 факторов (положений трех кнопок и одного тумблера) в ходе самостоятельного обследования объекта [17].

8. *Возможность трансформации объекта экспериментатором* с целью создания сходных, но чем-то отличающихся проблемных ситуаций, задач – например, для изучения процесса переноса и обобщения найденного решения. Такой возможностью обладал вариационный проблемный ящик В.И. Аснина и А.Н. Леонтьева с трансформируемой системой механических запоров, описанный в их статье «Перенос действия как функция интеллекта» [2].

В нашей «Мультипликативной установке» сам ребенок имел возможность изменять, переключать связи в объекте (путем переключения игрушечных электрических вилок в разные электрические розетки внутри корпуса) для последующего обследования работы «перепрограммированного» таким образом объекта [17].

9. *Практический – познавательный характер мыслительных целей (вызовов)*, которые, по замыслу разработчиков, должны провоцироваться (стимулироваться) специально созданными объектами.

На одном конце оси находятся чисто практические цели испытуемого – выбраться из ящика, в котором его заперли, найти способ высыпать себе корм, подтянуть к себе что-то (еду или игрушку) и пр. На другом конце оси – познавательные цели и вызовы, связанные с бескорыстной любознательностью и познавательной активностью, исследованием из познавательного интереса – например, понять математическую закономерность работы объекта. Подробнее об этом различии см. [18].

Двойная функция объектов для изучения мышления как когнитивных артефактов

Итак, вышеописанные объекты являются психологическими инструментами – когнитивными артефактами, используемыми для получения данных о закономерностях и особенностях мышления и построения общих заключений. Например, на основе изучения того, как дети в ходе исследовательской игры познают разного рода устройства, часть из которых похожа на

описанные выше, известная исследовательница познавательного развития Э. Гопник (Alison Gopnik) заключает: «Дети познают мир во многом так же, как ученые: они ставят эксперименты, проводят статистический анализ и формируют гипотезы в соответствии с результатами» [9, с. 55].

Но обратим внимание на то, что часть этих объектов является когнитивными артефактами не только для исследователей-психологов, но и для участников с более развитым мышлением. Головоломки могут представлять собой когнитивные артефакты для решателя, поскольку он, «манипулируя их физической структурой, тем самым манипулирует информацией, которую они содержат» [34, с. 479]. Например, игра «Скрэббл» (на составление слов из квадратиков с буквами путем расположения их на доске по определенным правилам) и «Тетрис» – это когнитивные артефакты.

Приведем противоположный пример: ящик Скиннера лишь в минимальной степени является когнитивным артефактом для запертой в нем и пытающейся выбраться курицы, если является им для нее вообще. А экспериментальная установка, представленная экспериментатором ребенку как игрушка и реализующая ту или иную логико-математическую зависимость между нажимами на ее кнопки и освещением ее окошек с ранее скрытыми изображениями, когнитивным артефактом для детей является. Практически взаимодействуя с этим объектом, ребенок получает информацию о нем, его свойствах, скрытых связях и закономерностях – в том числе общезначимых, если разработчик их туда встроил (см., например, рис. 9).

К общезначимым зависимостям, реализуемым «проблемными» объектами для изучения мышления детей, можно также отнести логическое умножение признаков «форма × цвет» в «Мультипликативной установке» и управление открыванием окон в сетке прямоугольных координат при нажатии кнопок, задающих эти координаты, в «Матричной установке» [17].

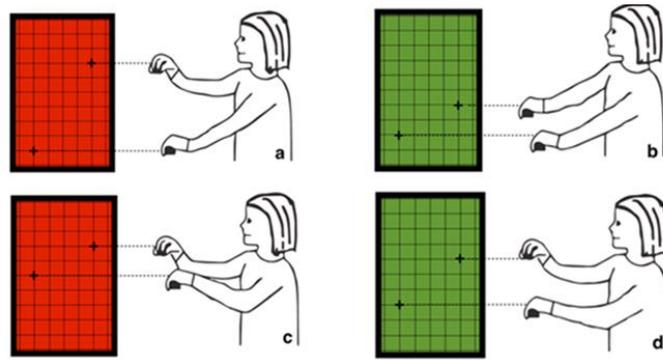


Рис. 9. Математический образный тренажер для изучения пропорций. Экран горит зеленым, если правая рука с одной коробочкой находится над столом в два раза выше левой руки с другой коробочкой, и красным – если пропорция другая [29]. Ребенок должен понять эту зависимость в ходе самостоятельного экспериментирования.
Лицензия: ССВУ.

Многие «проблемные» объекты для изучения мышления выполняют функцию когнитивного артефакта для исследователя в прямой зависимости от того, насколько они служат когнитивными артефактами для участника. Ведь участника и экспериментатора интересует хотя и разное, но связанное друг с другом: участника-ребенка интересует, какие свойства и зависимости скрывает объект и как это выяснить, исследователя – как участник ставит и решает проблемы и задачи, связанные с указанным интересом (собирает, обрабатывает и использует полученную информацию).

Отметим, что для участника с рефлексивной позицией «проблемные» объекты, созданные для изучения мышления, могут выступить в качестве когнитивного артефакта еще в одном аспекте. В ходе взаимодействия с ним участник может с тем или иным успехом реконструировать замысел экспериментатора и какие-то аспекты его мышления и исследовательской стратегии. Это является следствием общего положения: «В ходе эксперимента испытуемый не остается нейтральным ни по отношению к процедуре, ни по отношению к используемому оборудованию, ни по отношению к исследователю. Он по-своему понимает инструкцию, ставит перед собой дополнительные задачи, актуализирует уникальное поле личностных смыслов, использует защитные механизмы личности, произвольно переходит от одной стратегии поведения к другой» [3, с. 12]. Как писала Р.М. Фрумкина,

особенность рефлексивных участников экспериментов – их попытки реконструировать замысел экспериментатора и того, что он считает правильным. Этим они отличаются от участников, принадлежащих к типу «простодушный» (или «минималист»), который «минимизирует ответственную работу о целях экспериментатора и решает задачу как таковую» [28, с. 161].

Со своей стороны заметим, что, если в ходе взаимодействия с объектом для изучения мышления участник на основе его особенностей и реакций на воздействия получает то, что он считает информацией о замысле и мышлении экспериментатора, то этот объект становится для него когнитивным артефактом особого рода – метакогнитивным артефактом, средством познания чужого мышления (мышления разработчика). Это особенно очевидно в случае, когда объект, созданный психологом для изучения мышления, обследуется с теми или иными целями другим психологом. Но это верно и для рефлексивных участников исследования – не психологов. Если материальный объект для изучения мышления – это «воплощенная мысль», то кому-то из участников становится интересно эту мысль реконструировать по предложенному ему объекту.

Если говорить об эволюционном аспекте, можно задаться вопросом, как постепенно на континууме уровней развития мышления (от условной курицы, через крыс и ворон, до человекообразных обезьян и человека) объекты для

изучения мышления приобретают возможность быть когнитивными и метакогнитивными артефактами для участников исследования, а не только для исследователей? Этот же вопрос интересен применительно к возрастному развитию познавательных способностей.

Выводы

1. Материальные объекты, создаваемые для научного изучения мышления и интеллектуального поведения путем провоцирования их развертывания в экспериментах, можно рассматривать как такой инструментальный исследовательский артефакт. Их функция – стимулировать развертывание процесса мышления, постановки и решения проблем. Изобретение и использование этих объектов позволяет поставить вопрос о новом для человечества типе материальных исследовательских орудий (в отличие от эхолотов, микроскопов и других научных инструментов).

2. В статье представлен перечень характеристик объектов для изучения и стимулирования мышления и интеллектуального поведения, не претендующий на исчерпывающую полноту и предлагаемый для возможного обсуждения и дополнения другими исследователями. В эти характеристики входит следующее:

а) степень новизны объекта и неопределенности его отнесения к тому или иному классу;

б) «серендипность» объекта – наличие заготовленных скрытых сюрпризов, неожиданных свойств, связей, выявляемых участниками при взаимодействии с ним;

в) контринтуитивность объекта, провокация им ложных гипотез;

г) сложность объекта, связанная с такими объективными характеристиками, как количество составляющих его элементов, количество и характер связей между ними, возможность их динамического изменения;

д) степень «прозрачности» устройства объекта, доступности для наблюдения – от объектов с полностью наблюдаемой структурой и функционированием до «черных ящиков», где наблюдать можно только входы (входные воздействия) и выходы (ответные реакции);

е) предполагаемая понятность объекта для испытуемого (участника). На одном конце оси находятся такие объекты, которые, по мнению разработчика, могут быть поняты участниками в ходе наблюдения и обследования, на противоположном – объекты, устройство которых не может быть понято испытуемым (участником) в принципе;

ж) предполагаемая осмысленность практических действий участника по отношению к объекту. На одном конце оси находятся объекты, предполагающие метод слепых проб и ошибок со стороны испытуемого (участника), на противоположном – объекты, предполагающие осмысленный поиск и перебор возможностей практических действий на основе всё углубляющегося понимания;

з) возможность трансформации объекта с целью создания сходных, но чем-то отличающихся проблемных ситуаций, задач;

и) характер мыслительных целей (вызовов), которые, по замыслу разработчиков, должны провоцироваться (стимулироваться) объектом, – от чисто практических целей до в основном познавательных.

3. Часть материальных объектов, созданных для изучения и стимулирования развертывания мышления и интеллектуального поведения, являются когнитивными артефактами не только для исследователей-психологов, но и для участников с развитием мышления выше некоторого уровня. Взаимодействуя с такими объектами, сопоставляя произведенные воздействия на них и наблюдаемые результаты, участники осваивают некоторые общезначимые зависимости (например, арифметические, если в объект заложена арифметическая зависимость).

4. Если в ходе взаимодействия с объектом для изучения мышления участник на основе его особенностей и реакций на воздействия получает то, что он считает информацией не только о самом объекте, но опосредованно и о замысле и мышлении экспериментатора, то этот объект становится для него когнитивным артефактом особого рода – метакогнитивным артефактом, средством познания чужого мышления (мышления разработчика).

Литература:

1. Аллахвердов В.М. Психология в контурах процесса познания. Прологомены к учебнику для аспирантов (Часть 5) // Ученые записки Института психологии РАН. 2023. Т.3. № 4(10). С. 83-103.
2. Аснин В.И., Леонтьев А.Н. Перенос действия как функция интеллекта (Исследование интеллектуальной деятельности ребенка методом вариационного проблемного ящика) // Леонтьев А.Н. Становление психологии деятельности. М.: Смысл, 2003. С. 251-254.
3. Барабанщиков В.А. Экспериментальный метод в психологии // Экспериментальная психология. 2011. Том 4. № 1. С. 4-16.
4. Битюцкая Е.В., Кавтарадзе Д.Н. Имитационная игра-головоломка как модель решения трудной жизненной задачи // Вестник Московского университета. Серия 14. Психология. 2019. № 3. С. 3-26.
5. Брунер Дж. Психология познания. М.: Прогресс, 1977.
6. Землянухина Т.М. Влияние общения со взрослым на развитие креативности ребенка в раннем возрасте // Теоретическая и экспериментальная психология. 2009. Т. 2. № 2. С. 84-86.
7. Знаков В.В. Психология возможного. Новое направление исследований понимания. М.: Изд-во «Институт психологии РАН», 2022.
8. Зорина З.А., Полетаева И.И. Зоопсихология. Элементарное мышление животных. М.: Аспект Пресс, 2010.
9. Гопник Э. Как думают дети // В мире науки. 2010. № 10. С. 55-61.
10. Казакова В.И. Артефакт как концепт современной социальной науки // Труды Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева. 2015. № 3. С. 312-316.
11. Климов Е.А. Введение в психологию труда. М.: Культура и спорт, ЮНИТИ, 1998.
12. Лейланд К. Неоконченная симфония Дарвина: как культура формировала человеческий разум. М.: Альпина нон-фикшн, 2024.
13. Лисина М.И. Развитие познавательной активности детей в ходе общения со взрослыми и сверстниками // Вопросы психологии. 1982. № 4. С. 18-35.
14. Поддьяков А.Н. Исследовательские и контрисследовательские объекты: дизайн предоставляемых возможностей // Российский журнал когнитивной науки. 2017. Т.4. № 2-3. С. 49-59.
15. Поддьяков А.Н. Орудия изучения поведения и деятельности: изобретения психологов как составляющая культурно-исторического процесса // Культурно-историческая психология. 2023. Том 19. № 1. С. 30-34. DOI:10.17759/chp.2023190104
16. Поддьяков А.Н. Проблемные ситуации как источник развития творческого потенциала человека // Образовательная политика. 2023. № 3. С. 44-59.
17. Поддьяков А.Н. Развитие исследовательской инициативности в детском возрасте. Дис. д. пс. н. М., 2001.
18. Поддьяков А.Н., Поддьяков Н.Н. Интерактивные исследовательские объекты: от лабораторных экспериментов к массовым практикам XXI века // Исследователь/Researcher. 2019. № 3. С. 8-29.
19. Птицына И.Б. Научные приборы и инструменты как особый вид артефактов // Научное приборостроение. 2022. Т. 32. № 1. С. 11-20.
20. Рапацевич Е.С. Приборы для изучения приемов формирования понятий // Вопросы психологии. 1984. № 6. С.129-136.
21. Резникова Ж.И. Интеллект и язык животных и человека. М.: Академкнига, 2005.
22. Розов Н.С. Полипарадигмальная онтология и ритуально-конституциональная концепция бытования и исторического развития артефактов // Онтологии артефактов: взаимодействие естественных и искусственных компонентов «жизненного мира». М.: Дело, 2012. С. 90-112. URL: <https://rozov.nsu.ru/rozov/publ/artefact.htm>

23. Рулев А. Научное провидение, или искусство совершать открытия // Наука и жизнь. 2017. № 3. С. 2-12.
24. Сергиенко Е.А. Раннее когнитивное развитие: Новый взгляд. М.: Изд-во «Институт психологии РАН», 2006.
25. Созинов А.А., Бохан А.И., Александров Ю.И. Методика оценки показателей формирования нового опыта и решения проблем в ситуации приобретения баллов или избегания их потери // Экспериментальная психология. 2018. Т.11. № 1. С. 75-91. DOI:10.17759/exppsy.2018110105
26. Тихомиров О.К. Психология мышления. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1984.
27. Ушаков Д.В. Языки психологии творчества: Я.А. Пономарев и его школа // Психология творчества. Школа Я.А. Пономарева / Под ред. Д.В. Ушакова. М.: Изд-во «Институт психологии РАН». 2006. С. 19-143.
28. Фрумкина Р.М. Цвет, смысл, сходство: аспекты психолингвистического анализа. М.: Наука, 1984.
29. Abrahamson D., Nathan M.J., Williams-Pierce C., Walkington C., Ottmar E.R., Soto H., Alibali M.W. The future of embodied design for mathematics teaching and learning // *Frontiers in Education*. 2020. V.5. Article 147. DOI:10.3389/educ.2020.00147
30. Bonawitz E., Shafto P., Gweon H., Chang I., Katz S., Schulz L. The double-edged sword of pedagogy: Modeling the effect of pedagogical contexts on preschoolers' exploratory play // *Proceedings of the 31st Annual Meeting of the Cognitive Science Society*. 29 July-1 August 2009. Amsterdam, Netherlands: 2009.
31. Dean L.G, Kendal R.L, Schapiro S.J, Thierry B., Laland K.N. Identification of the social and cognitive processes underlying human cumulative culture // *Science*. 2012. V.335(6072). P.1114-8. DOI:10.1126/science.1213969. Supporting online material.
32. Finn E. Don't show, don't tell? Cognitive scientists find that when teaching young children, there is a trade-off between direct instruction and independent exploration. MIT News, 2011. URL: <https://news.mit.edu/2011/teaching-children-0630>
33. Gundlach H. What is a psychological instrument? // *Psychology's territories: historical and contemporary perspectives from different disciplines* / Ed. by M.G. Ash, T. Sturm. Lawrence Erlbaum Associates Publishers, 2007. P. 195-224.
34. Heersmink R. A taxonomy of cognitive artifacts: function, information, and categories // *Review of Philosophy and Psychology*. 2013. V 4(3). P. 465-481. DOI:10.1007/s13164-013-0148-1
35. Holleman G.A., Hooge I.T.C., Kemner C., Hessels R.S. The 'real-world approach' and its problems: a critique of the term ecological validity // *Frontiers in Psychology*. 2020. V. 11. Article 721. DOI: 10.3389/fpsyg.2020.00721
36. Hutchins E. Cognitive artifacts // *The MIT encyclopedia of the cognitive sciences* / Ed. by R.A. Wilson, F.C. Keil. MIT Press, 1999. P. 126-128.
37. Legare C.H., Lombrozo T. Selective effects of explanation on learning during early childhood // *Journal of experimental child psychology*. 2014. V. 126. P. 198-212. DOI: 10.1016/j.jecp.2014.03.001
38. Mitrović M. Introductory words. 2019. URL: <https://www.psypress.org/books/titles/978-0-271-08242-4.html>
39. Nersessian N.J. Interpreting scientific and engineering practices: integrating the cognitive, social, and cultural dimensions // *New directions in scientific and technical thinking* / Ed. by M. Gorman, R. Tweney, D. Gooding, A. Kincannon. Erlbaum, 2005. P. 17-56.
40. Norman D.A. Cognitive artifacts // *Designing interaction: psychology at the human-computer interface* / Ed. by J.M. Carroll. Cambridge University Press, 1991. P. 17-38.
41. Nunnally J.C., Lemond L.C. Exploratory behaviour and human development // *Advances in child development and behaviour* / Ed. by L.P. Lipsitt, H.W. Reese. NY, 1973. V. 8. P. 59-112.

42. Reindl E., Gwilliams A.L., Dean L G., Kendal R.L., Tennie C. Skills and motivations underlying children's cumulative cultural learning: case not closed // *Palgrave communications*. 2020. V.6. Article number 106. DOI:10.1057/s41599-020-0483-7
43. Rothstein B.L. *The shape of difficulty: a fan letter to unruly objects*. University Park, PA: Penn State University Press, 2019.
44. Sturm T., Ash M.G. Roles of instruments in psychological research // *History of psychology*. 2005. V. 8(1). P. 3-34. DOI:10.1037/1093-4510.8.1.3
45. Taub L. What is a scientific instrument, now? // *Journal of the history of collections*. 2019. V. 31(3). P. 453-467. DOI:10.1093/jhc/fhy045
46. Warner D.J. What is a scientific instrument, when did it become one, and why? // *The British journal for the history of science*. 1990. V. 23(1). P. 83-93.

RESEARCH INSTRUMENTS: OBJECTS CREATED TO STUDY THINKING AS COGNITIVE ARTIFACTS

© Alexander N. Poddiakov

Sc.D. (psychology), Professor, Chief Researcher, Laboratory of Psychology and Psychophysiology of Creativity, Institute of Psychology of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
poddyakovan@ipran.ru

A special type of research tools-material objects created to study thinking and intelligent behavior—is discussed. The main function of these objects is to stimulate thinking, posing and solving problems. The objects can be considered as special cognitive artifacts. A list of their characteristics is presented. It does not claim to be exhaustive and is offered for possible discussion and addition by other researchers. It includes: (a) a degree of novelty of an object for participants and uncertainty of its assignment to a particular class; (b) “serendipity” of the object – presence of prepared hidden surprises, unexpected properties, connections; (c) counter-intuitiveness of the object; (d) objective complexity; (e) a degree of “transparency” and accessibility for the participants’ observation; (f) a degree of expected comprehensibility of the object by the participants; (g) presumed meaningfulness of the participants’ practical actions on the object; (h) possibilities to transform the object in order to create similar, but somehow different problem situations (tasks) – e.g. to study transfer; (i) types of goals (challenges) that, should be provoked (stimulated) by the object in the participants. Some of these objects are cognitive artifacts not only for the psychologists but also for participants which have a level of thinking above some level. Such an object can also become a metacognitive artifact for the participants, i.e. a means of their cognition of the psychologists’ thinking.

Keywords: research tools (instruments), psychological instruments, material objects created to study thinking and intelligent behavior, cognitive artifacts

References

1. Allahverdov V.M. (2023). *Psikhologiya v konturakh processa poznaniya. Prolegomeny k uchebnikudlyaaspirantov (Chast' 5) [Psychology in the contours of the cognition process. Prolegomena to a textbook for graduate students (Part 5)]*. Uchenye zapiski Instituta psikhologii RAN [*Proceedings of the Institute of Psychology of the Russian Academy of Sciences*]. V.3. № 4(10). P. 83-103.

2. Asnin V.I., Leont'ev A.N. (2003). Perenos dejstviya kak funkciya intellekta (Issledovanie intellektual'noj deyatel'nosti rebenka metodom variacionnogo problemnogo yashchika) [*Transfer of action as a function of intelligence (Research of intellectual activity of a child by the method of variational problem box)*]. Leont'ev A.N. Stanovlenie psikhologii deyatel'nosti [*Leontiev A.N. The formation of the psychology of activity*]. Moscow: Smysl. P. 251-254.
3. Barabanshchikov V.A. (2011). Ehksperimental'nyj metod v psikhologii [*Experimental method in psychology*]. Ehksperimental'naya psikhologiya [*Experimental psychology*]. V. 4. № 1. P. 4-16.
4. Bityuckaya E.V., Kavtaradze D.N. (2019). Imitacionnaya igra-golovolomka kak model' resheniya trudnoj zhiznennoj zadachi [*An imitation puzzle game as a model for solving a difficult life task*]. Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 14. Psikhologiya [*Bulletin of the Moscow University. Episode 14. Psychology*]. № 3. P. 3-26.
5. Bruner Dzh. (1977). Psikhologiya poznaniya [*Psychology of cognition*]. Moscow: Progress.
6. Zemlyanukhina T.M. (2009). Vliyanie obshcheniya so vzroslym na razvitie kreativnosti rebenka v rannem vozraste [*The influence of communication with an adult on the development of creativity of a child at an early age*]. Teoreticheskaya I ehksperimental'naya psikhologiya [*Theoretical and experimental psychology*]. V. 2. № 2. P. 84-86.
7. Znakov V.V. (2022). Psikhologiya vozmozhnogo. Novoe napravlenie issledovaniy ponimaniya [Psychology of the possible. A new direction of understanding research.]. Moscow: Publishing house "Institute of Psychology of the Russian Academy of Sciences".
8. Zorina Z.A., Poletaeva I.I. (2010). Zoopsikhologiya. Ehlementarnoe myshlenie zhivotnykh [*Zoopsychology. Elementary thinking of animals*]. Moscow: Aspekt Press.
9. Gopnik EH. (2010). Kak dumayut deti [*How do children think*]. V mire nauki [*In the world of science*]. № 10. P. 55-61.
10. Kazakova V.I. (2015). Artefakt kak concept sovremennoj social'noj nauki [*Artifact as a concept of modern social science*]. Trudy Nizhegorodskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. R.E. Alekseeva [*Proceedings of the Nizhny Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseev*]. № 3. P. 312-316.
11. Klimov E.A. (1998). Vvedenie v psikhologiyu truda [*Introduction to labor psychology*]. Moscow: Culture and Sport, UNITY.
12. Lejland K. (2024). Neokonchennaya simfoniya Darvina: kak kul'tura formirovala chelovecheskij razum [*The Unfinished Symphony of Darwin: how culture shaped the human mind*]. Moscow: Al'pina non-fikshn.
13. Lisina M.I. (1982). Razvitie poznavatel'noj aktivnosti detej v khode obshcheniya so vzroslymi i sverstnikami [*The development of cognitive activity of children in the course of communication with adults and peers*]. Voprosypsikhologii [*Questions of psychology*]. № 4. P. 18-35.
14. Podd'yakov A.N. (2017). Issledovatel'skie I kontrissledovatel'skie ob"ekty: dizajn predostavlyaemykh vozmozhnostej [*Research and counter-research objects: the design of the opportunities provided*]. Rossijskij zhurnal kognitivnoj nauki [*Russian Journal of Cognitive Science*]. V. 4. № 2-3. P. 49-59.
15. Podd'yakov A.N. (2023). Orudiya izucheniya povedeniya I deyatel'nosti: izobreteniya psikhologov kak sostavlyayushchaya kul'turno-istoricheskogo processa [*Tools for studying behavior and activity: inventions of psychologists as a component of the cultural and historical process*]. Kul'turno-istoricheskaya psikhologiya [*Cultural and historical psychology*]. V. 19. № 1. P. 30-34. DOI:10.17759/chp.2023190104
16. Podd'yakov A.N. (2023). Problemnye situacii kak istochnik razvitiya tvorcheskogo potenciala cheloveka [*Problematic situations as a source of human creative potential development*]. Obrazovatel'naya politika [*Educational policy*]. № 3. P. 44-59.
17. Podd'yakov A.N. (2001). Razvitie issledovatel'skoj iniciativnosti v detskom vozraste [*Development of research initiative in childhood. Dissertation of the Doctor of Psychological Sciences*]. Moscow.

18. Podd'yakov A.N., Podd'yakov N.N. (2019). Interaktivnyye issledovatel'skie ob"ekty: ot laboratornykh ehksperimentov k massovym praktikam XXI veka [*Interactive research objects: from laboratory experiments to mass practices of the XXI century*]. *Issledovatel [Researche]*. № 3. P. 8-29.
19. Pticyna I.B. (2022). Nauchnye pribory i instrument kak osobyj vid artefaktov [*Scientific instruments and instruments as a special type of artifacts*]. *Nauchnoe priborostroenie [Scientific instrumentation]*. V. 32. № 1. P. 11-20.
20. Rapacevich E.S. (1984). Pribory dlya izucheniya priemov formirovaniya ponyatij [*Devices for studying the techniques of concept formation*]. *Voprosypsikologii [Questions of psychology]*. № 6. P.129-136.
21. Reznikova ZH.I. (2005). Intellect I yazyk zhivotnykh I cheloveka [*Intellect and language of animals and humans*]. Moscow: Akademkniga.
22. Rozov N.S. (2012). Poliparadigmal'naya ontologiya I ritual'no-konstitucional'naya koncepciya bytovaniya i istoricheskogo razvitiya artefaktov [*Polyparadigmatic ontology and ritual-constitutional concept of existence and historical development of artifacts*]. *Ontologii artefaktov: vzaimodejstvie estestvennykh I iskusstvennykh komponentov «zhiznennogo mira» [Ontology of artifacts: interaction of natural and artificial components of the "life world"]*. Moscow: Delo. P. 90-112. URL: <https://nrozov.nsu.ru/rozov/publ/artefact.htm>
23. Rulev A. (2017). Nauchnoe providenie, ili iskusstvo sovershat' otkrytiya [*Scientific providence, or the art of making discoveries*]. *Nauka I zhizn' [Science and life]*. № 3. P. 2-12.
24. Sergienko E.A. (2006). Rannee kognitivnoe razvitie: Novyj vzglyad [*Early cognitive development: Novy vzglyad*]. Moscow: Publishing house "Institute of Psychology of the Russian Academy of Sciences".
25. Sozinov A.A., Bokhan A.I., Aleksandrov YU.I. (2018). Metodika ocenki pokazatelej formirovaniya novogo opyta i resheniya problem v situacii priobreteniya ballov ili izbeganiya ikh poteri [*Methodology for evaluating indicators of the formation of new experience and solving problems in a situation of acquiring points or avoiding their loss*]. *Ehksperimental'naya psikhologiya [Experimental Psychology]*. V.11. № 1. P. 75-91. DOI:10.17759/exppsy.2018110105
26. Tikhomirov O.K. (1984). *Psikhologiya myshleniya [Psychology of thinking]*. Moscow: Publishing House of Moscow University.
27. Ushakov D.V. (2006). Yazyk i psikhologiya tvorchestva: YA.A. Ponomarev i ego shkola [*Languages of psychology of creativity: Ya.A. Ponomarev and his school*]. *Psikhologiya tvorchestva. Shkola YA.A. Ponomareva. Pod red. D.V. Ushakova [Psychology of creativity. The school of Ya.A. Ponomarev / Edited by D.V. Ushakov]*. Moscow: Publishing house "Institute of Psychology of the Russian Academy of Sciences". P. 19-143.
28. Frumkina R.M. (1984). Cvet, smysl, skhodstvo: aspekty psikholingvisticheskogo analiza [*Color, meaning, similarity: aspects of psycholinguistic analysis*]. Moscow: Nauka.
29. Abrahamson D., Nathan M.J., Williams-Pierce C., Walkington C., Ottmar E.R., Soto H., Alibali M.W. (2020). The future of embodied design for mathematics teaching and learning. *Frontiers in Education*. V. 5. Article 147. DOI: 10.3389/educ.2020.00147
30. Bonawitz E., Shafto P., Gweon H., Chang I., Katz S., Schulz L. (2009). The double-edged sword of pedagogy: Modeling the effect of pedagogical contexts on preschoolers' exploratory play. *Proceedings of the 31st Annual Meeting of the Cognitive Science Society*. 29 July-1 August 2009. Amsterdam, Netherlands.
31. Dean L.G, Kendal R.L, Schapiro S.J, Thierry B., Laland K.N. (2012). Identification of the social and cognitive processes underlying human cumulative culture. *Science*. V. 335(6072). P. 1114-8. DOI:10.1126/science.1213969. Supporting online material.

32. Finn E. (2011). Don't show, don't tell? Cognitive scientists find that when teaching young children, there is a trade-off between direct instruction and independent exploration. MIT News. URL: <https://news.mit.edu/2011/teaching-children-0630>
33. Gundlach H. (2007). What is a psychological instrument? Psychology's territories: historical and contemporary perspectives from different disciplines. Ed. by M.G. Ash, T. Sturm. Lawrence Erlbaum Associates Publishers. P. 195-224.
34. Heersmink R. (2013). A taxonomy of cognitive artifacts: function, information, and categories. Review of Philosophy and Psychology. V. 4(3). P. 465-481. DOI:10.1007/s13164-013-0148-1
35. Holleman G.A., Hooge I.T.C., Kemner C., Hessels R.S. (2020). The 'real-world approach' and its problems: a critique of the term ecological validity. Frontiers in Psychology. V. 11. Article 721. DOI:10.3389/fpsyg.2020.00721
36. Hutchins E. (1999). Cognitiveartifacts. The MIT encyclopedia of the cognitive sciences. Ed. by R.A. Wilson, F.C. Keil. MIT Press. P. 126-128.
37. Legare C.H., Lombrozo T. (2014). Selective effects of explanation on learning during early childhood. Journal of experimental child psychology. V.126. P.198-212. DOI:10.1016/j.jecp.2014.03.001
38. Mitrović M. (2019). Introductory words. URL:<https://www.psypress.org/books/titles/978-0-271-08242-4.html>
39. Nersessian N.J. (2005). Interpreting scientific and engineering practices: integrating the cognitive, social, and cultural dimensions. New directions in scientific and technical thinking. Ed. by M. Gorman, R. Tweney, D. Gooding, A. Kincannon. Erlbaum. P. 17-56.
40. Norman D.A. (1991). Cognitive artifacts. Designing interaction: psychology at the human-computer interface. Ed. by J.M. Carroll. Cambridge University Press. P. 17-38.
41. Nunnally J.C., Lemond L.C. (1973). Exploratory behaviour and human development. Advances in child development and behavior. Ed. by L.P. Lipsitt, H.W. Reese. NY. V. 8. P. 59-112.
42. Reindl E., Gwilliams A.L., Dean L G., Kendal R.L., Tennie C. (2020). Skills and motivations underlying children's cumulative cultural learning: case not closed. Palgrave communications. V.6. Article number 106. DOI:10.1057/s41599-020-0483-7
43. Rothstein B.L. (2019). The shape of difficulty: a fan letter to unruly objects. University Park, PA: Penn State University Press.
44. Sturm T., Ash M.G. (2005). Roles of instruments in psychological research. History of psychology. V.8(1). P. 3-34. DOI:10.1037/1093-4510.8.1.3
45. Taub L. (2019). What is a scientific instrument, now? Journal of the history of collections. V.31(3). P. 453-467. DOI:10.1093/jhc/fhy045
46. Warner D.J. (1990). What is a scientific instrument, when did it become one, and why? The British journal for the history of science. V.23(1). P. 83-93.