

НОВАЯ СТРУКТУРНАЯ МОДЕЛЬ ИЗМЕРЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА¹

О. А. Чикова¹, В. С. Золотавин², Р. В. Каменев², Л. А. Максимова¹

*¹Уральский государственный педагогический университет,
Екатеринбург, Российская Федерация*

*²Новосибирский государственный педагогический университет,
Новосибирск, Российская Федерация*

АННОТАЦИЯ

Введение. Задача исследования структуры и динамики пространственного мышления школьников и студентов актуальна для общей и педагогической психологии и частных методик обучения. Исследовательская цель статьи состоит в теоретическом обосновании, разработке и апробации структурной модели измерения пространственного интеллекта студентов и школьников.

Материалы и методы. На основе компаративного анализа содержания дефиниции «пространственный интеллект» в отечественной и зарубежной педагогической психологии (И.С. Якиманская, Н. Gardner) разработана структурная модель и экспресс-тест измерения пространственного интеллекта студентов и школьников. Методология моделирования структурными уравнениями (Structural Equation Modeling) применялась для валидации разработанного экспресс-теста. Исследовательскую выборку составили 688 школьников г. Новосибирск в возрасте от 10 до 15 лет.

Результаты исследования. Модель измерения пространственного интеллекта студентов и школьников разработана путем соотнесения компонентов пространственного интеллекта: пространственные знания, пространственные способности, пространственные навыки – с соответствующими познавательными процессами: восприятие пространства, пространственное представление (мышление), пространственное воображение. На основе классификации тестов интеллекта на три отдельные категории: пространственное восприятие, пространственная визуализация, мысленное вращение из субтестов интеллекта (R. Amthauer, M.C. Linn, A.C. Petersen, M. Sjölander) – был сконструирован экспресс-тест. Подтверждена достоверность (валидность) экспресс-теста с помощью моделирования структурными уравнениями методом конфирматорного факторного анализа моделей, состоящих из 15 показателей и одного фактора (пространственный интеллект) или трех факторов (пространственные знания, пространственные способности и пространственные навыки).

Обсуждение и заключения. Теоретическая значимость разработанной структурной модели состоит в том, что она вскрывает механизмы закономерного развития пространственного интеллекта в зависимости от степени сформированности его подструктур. Практическая

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства просвещения РФ в рамках исполнения государственного задания №073-00072-21-01 по проекту «Обучение сквозным цифровым технологиям в условиях персонализации образовательных траекторий школьников».

значимость полученного результата заключается в разработке методологических оснований для скрининг-диагностики пространственного интеллекта школьников и обусловлена высокой значимостью пространственного мышления для решения учебных задач.

Ключевые слова: пространственное мышление, пространственные знания, пространственные способности, пространственные навыки, пространственное восприятие, пространственное представление, пространственное воображение.

Для цитирования: Чикова О.А., Золотавин В.С., Каменев Р.В., Максимова Л.А. Новая структурная модель измерения пространственного интеллекта // Вестник Мининского университета. 2021. Т. 9, №4. С.9.

A NEW STRUCTURAL MODEL FOR MEASURING SPATIAL INTELLIGENCE¹

O. A. Chikova¹, V. S. Zolotavin², R. V. Kamenev², L. A. Maksimova¹

¹*Ural State Pedagogical University, Yekaterinburg, Russian Federation*

²*Novosibirsk State Pedagogical University, Novosibirsk, Russian Federation*

ABSTRACT

Introduction. The task of studying the structure and dynamics of spatial thinking of schoolchildren and students is relevant for general and educational psychology and private teaching methods. The research goal of the article is to theoretically substantiate, develop and test a structural model for measuring the spatial intelligence of students and schoolchildren.

Materials and Methods. On the basis of a comparative analysis of the content of the definition of "spatial intelligence" in domestic and foreign educational psychology (I.S. Yakimanskaya, H. Gardner), a structural model and a rapid test for measuring the spatial intelligence of students and schoolchildren have been developed. The Structural Equation Modeling methodology was used to validate the developed express test. The research sample consisted of 688 schoolchildren from Novosibirsk at the age from 10 to 15 years.

Results. The model for measuring the spatial intelligence of students and schoolchildren is developed by correlating the components of spatial intelligence: spatial knowledge, spatial abilities, spatial skills, with the corresponding cognitive processes: perception of space, spatial representation (thinking), spatial imagination. Based on the classification of intelligence tests into three separate categories: spatial perception, spatial visualization, mental rotation from intelligence subtests (R. Amthauer, M.C. Linn, A.C. Petersen, M. Sjölander), a rapid test was constructed. The reliability (validity) of the express test was confirmed using structural equation modeling by the method of confirmatory factor analysis of models consisting of 15 indicators and one factor (spatial intelligence) or three factors (spatial knowledge, spatial abilities and spatial skills).

Discussion and Conclusions. The theoretical significance of the developed structural model is that it reveals the mechanisms of the natural development of spatial intelligence, depending on the

¹ The study was carried out with the financial support of RF department of Education within the framework of state assignment №073-00072-21-01 under the project "Teaching end-to-end digital technologies in the context of personalization of educational paths of schoolchildren".

degree of formation of its substructures. The practical significance of the obtained result lies in the development of methodological foundations for screening diagnostics of the spatial intelligence of schoolchildren and is due to the high importance of spatial thinking for solving educational problems.

Keywords: spatial thinking, spatial knowledge, spatial abilities, spatial skills, spatial perception, spatial representation, spatial imagination.

For citation: Chikova O.A., Zolotavin V.S., Kamenev R.V., Maksimova L.A. A new structural model for measuring spatial intelligence // Vestnik of Minin University. 2021. Vol. 9, no. 4. P.9.

Введение

Существует проблема в исследовании гностического смысла дефиниции «пространственное мышление» (далее – ПМ). Место ПМ в структуре психических познавательных процессов недостаточно проработано, в существующих классификациях мышления ПМ не выделяется как самостоятельный вид. Специалисты в области общей психологии часто пытаются отнести ПМ к наглядно-действенному и образному мышлению, то есть к так называемым «допонятийным» видам мышления, мыслительной деятельности. Эта ситуация приводит к тому, что авторы специально обсуждают содержание данной дефиниции.

Обзор литературы

В отечественной педагогической психологии дефиниция «пространственное мышление» понимается как самостоятельный вид мышления, реализуемый в практическом, наглядном и образном планах, имеющий специфический предмет мыслительной деятельности – пространство и пространственные отношения, ассоциирован с дефиницией «пространственный интеллект», принятой зарубежными учеными. Пространственный интеллект (далее – ПИ) – способность воспринимать зрительную и пространственную информацию, модифицировать ее и воссоздавать зрительные образы без обращения к исходным стимулам. ПИ включает способность конструировать образы в трех измерениях, а также мысленно перемещать и вращать эти образы. ПИ измеряется стандартными тестами на интеллект [3]. Н. Gardner указывал, что основными способностями для ПИ являются умение точно воспринимать зримый мир, выполнять трансформации и модификации согласно первому впечатлению, а также умение воссоздавать аспекты визуального опыта даже при отсутствии соответствующего физического объекта [14]. L. Thurstone считал пространственные способности одним из семи главных факторов интеллекта. L. Thurstone разделил пространственные способности на три составляющие: способность устанавливать идентичность объекта, увиденного под другим углом; способность представлять себе движение или внутреннее изменение конфигурации фигур; способность оперировать такими пространственными отношениями, в которых одним из ключевых условий является ориентация тела самого наблюдателя. Т. Келли выделял способность чувствовать и запоминать геометрические формы, а также умение мысленно манипулировать пространственными отношениями. А.А.Х. Эль-Кусси различал двух- и трехмерные

пространственные способности, у каждой из которых есть как статичный, так и динамический аспект [36].

В настоящее время наиболее актуальной и всеобъемлющей является теория интеллекта Cattell-Horn-Carroll (CHC) [27]. CHC создала общую основу для разработки, интерпретации и модернизации тестов умственных способностей, имея целью обеспечить связь теории и практики [3]. Одним из факторов второго порядка в теории CHC является визуальная обработка, т.е. пространственные способности. Единого определения пространственных способностей до сих пор нет. D. Lohman определяет пространственную способность как «способность генерировать, сохранять и манипулировать абстрактными визуальными образами», а S. Sorby определяет пространственную способность как «врожденную способность визуализировать, что человек прошел до того, как было проведено какое-либо формальное обучение», отличая это от пространственных навыков, которые он определяет как «изученные или приобретенные в процессе обучения» [38]. Е. Есипенко с соавторами предложила и апробировала на русских и китайских студентах структурную модель измерения пространственных способностей, реализованную в виде игровой интерактивной батареи тестов King'sChallenge (KC) [23]. Онлайн-батарея KC проверяет 10 основных измерений пространственных способностей: умственное вращение, пространственная визуализация, пространственное мышление, перспективное мышление и механическое мышление [13].

Представления отечественных ученых о структуре ПМ основываются на выводах И.С. Якиманской: ПМ – это мышление образами, отражающими их пространственную структуру, свойства и отношения; структура ПМ, во-первых, зависит от характеристик наглядного (графического) стимула, во-вторых, от способов конструирования и оперирования пространственными образами, в-третьих, на структуру ПМ влияет выполняемая в процессе познавательной деятельности функция данных образов; оценка уровня развития ПМ должна носить комплексный характер, учитывающий его структуру. И.С. Якиманская, рассматривая особенности процесса конструирования индивидом пространственных образов и способов оперирования ими, использует термин «представливание», уточняет содержание понятий «пространственное восприятие», «пространственное представление», «пространственное воображение». По мнению И.С. Якиманской, содержание и направленность «деятельности представливания» отличается на разных уровнях, в соответствии с протеканием познавательного процесса. Пространственные представления образуют «сетку координат», посредством которой человек воспринимает окружающую действительность и выстраивает свой индивидуальный образ мира.

М.Н. Шардаков ПМ трактует через его основное свойство – осмысленное восприятие пространственных отношений.

По мнению И.Я. Каплуновича, ПМ как многоуровневая структура представлена под структурными элементами топологического, проективного, метрического, порядкового типов, формируемых в процессе онтогенеза, выполняющих собственную функцию при различении определенных пространственных характеристик объекта. И.Я. Каплунович в зависимости от типа оперирования с объектами выделяет три типа пространственного мышления: I тип – в сознании индивида воспринимаемый объект преобразуется только относительно его расположения в пространстве; II тип – происходит изменение в структуре исходно воспринимаемого объекта; III тип – исходный объект претерпевает одновременно

изменения относительно его пространственного расположения и структурные трансформации, важно, что подобные преобразования при этом могут быть неоднократными [1].

А.В. Василенко, опираясь на работы И.Я. Каплуновича и И.С. Якиманской, выделяет следующие структурные компоненты ПМ: восприятие пространственных характеристик объекта (формы, величины, расположения в пространстве относительно других объектов) – пространственное восприятие; мысленное воссоздание в памяти человека образа объекта в единстве его пространственных отношений – пространственное представление; мысленное оперирование различными объектами, конструирование их элементов, пространственных характеристик – пространственное воображение [2].

А.В. Василенко, И.С. Якиманская выделяют три уровня развития пространственного мышления: на первом уровне происходит пространственное изменение исходного образа при сохранении его структурных характеристик; на втором уровне в сознании человека выполняется структурная трансформация исходного образа; на третьем уровне воспринимаемый образ становится базой для конструирования в сознании нового.

Т.В. Андриюшина разработала структурную модель ПМ, включающую следующие элементы: «образ» как отражение в сознании пространственных свойств объектов, с которыми совершаются действия; «действие» как выполнение в практическом плане обобщений, осознания условий и перенос освоенных способов деятельности в новые условия; «понятие» как словесное выражение умственных действий, их формирование и развитие.

В.Ю. Щербаковой также выделяется в структуре ПМ ряд подструктур, последовательно формирующихся в онтогенезе: топологические подструктуры, выполняющие функцию определения целостного объекта по его внешнему контуру; проективные подструктуры, способствующие узнаванию, представлению и выполнению субъектом различных пространственных операций с объектом в мысленном плане на основе распознавания реальных объектов либо их графических изображений; метрические подструктуры, отвечающие за определение количественных пространственных характеристик объектов и возможность оперирования с ними; порядковые подструктуры, выполняющие функцию определения места пространственных характеристик в объекте.

С.А. Коногорская выделяет показатели развития ПМ, которые следует диагностировать при выявлении его особенностей: ориентация в схеме собственного тела и в двухмерном пространстве на листе бумаги, графомоторное развитие, зрительно-пространственный праксис, речевое опосредование восприятия пространственных характеристик объектов, а также способность к решению специфических задач как зрительно-пространственного, так и технического, математического планов [3].

Наиболее актуальна для общей и педагогической психологии и частных методик обучения задача исследования структуры и динамики пространственного мышления. Ее решение предполагает разработку научно обоснованной структурной модели измерения уровня пространственного мышления. Анализ научной литературы показал дефицит комплексных, фундаментальных работ, рассматривающих структуру и динамику пространственного мышления. Дискуссионным также остается вопрос выбора технологий и разработки системы критериев оценки ПМ.

Цель статьи: теоретическое обоснование, разработка и валидизация структурной модели измерения пространственного интеллекта школьников на основе компаративного анализа структуры содержания понятия «пространственный интеллект» в отечественной и зарубежной педагогической психологии.

Материалы и методы

Компаративный анализ содержания дефиниций «пространственный интеллект» (H. Gardner, L. Thurstone) и «пространственное мышление» (И.С. Якиманская, И.Я. Каплунович) позволяет создать структурную модель измерения пространственного интеллекта студентов для экспресс-диагностики. Структурная модель измерения пространственного мышления подразумевает установление соответствия компонентов пространственного интеллекта: пространственные знания, пространственные способности, пространственные навыки (H. Gardner) [4, 14, 33, 34] – соответствующим познавательным процессам: восприятие пространства, пространственное представление (мышление), пространственное воображение (И.С. Якиманская).

Пространственные знания «spatial knowledge» представляют собой представления о пространственных характеристиках объектов, а также их пространственных и непространственных отношениях [16, 21, 27, 33, 39]. К «пространственным способностям» – «spatial abilities» [11, 25, 30] относят показатели мысленной ротации, пространственного восприятия, которые обсуждаются в контексте дифференциации понятий «визуально-объектный интеллект» (отражает способность человека обрабатывать информацию о внешнем виде объектов и их графических свойствах (например, форме, цвете и текстуре)) и «визуально-пространственный интеллект» (отражает способность человека обрабатывать информацию о пространственных отношениях и манипулировать объектами в пространстве) [7, 8, 18].

Модель когнитивных способностей «cognitive abilities» включает и пространственные навыки «spatial skills» [15]. Пространственные навыки «spatial skills» делят на два основных класса: визуализация (например, умственное вращение, складывание бумаги) и навигация (например, ориентация по карте), которые определяют как «масштабы» пространственной способности «spatial abilities» [17]. Пространственные навыки «spatial skills» также относят к навыкам пространственной визуализации, которые используют, чтобы представить трехмерный объект из двухмерного бумажного представления и наоборот [10].

Классификация тестов измерения пространственного интеллекта M.C. Linn, A.C. Petersen, M. Sjölander [24] на три соответствующие познавательным процессам категории: пространственное восприятие, пространственная визуализация, мысленное вращение – позволяет из IQ-тестов конструировать измерительные материалы. Субтесты измерения уровня интеллекта (IQ) «Пространственное воображение» и «Пространственное обобщение» из «Теста структуры интеллекта» Р. Амтхауэра «IST Intelligence Structure Test» (IST 2000-R) использованы авторами для конструирования измерительных материалов [6, 12, 29]. «Тест пространственного мышления» (ТПМ) И.С. Якиманской, В.Г. Зархина, Х.-М.Х. Кадаяс также был использован для создания измерительных материалов.

Методология моделирования структурными уравнениями (Structural Equation Modeling (SEM)) применялась для валидации разработанного экспресс-теста пространственного интеллекта студентов и школьников [9, 20, 26, 28, 31, 32]. Проверка соответствия структуры теста разработанной модели измерения пространственного интеллекта проведена с помощью конфирматорного факторного анализа с предположением о наличии 15 независимых пунктов, составляющих три итоговых показателя: пространственные знания, пространственные способности, пространственные навыки (H. Gardner). Статистическая обработка данных выполнена с помощью SPSS и модуля

AMOS. В отчетах по SEM сообщены хи-квадрат (CMIN), число степеней свободы df, показатели качества соответствия: CFI и RMSEA. Исследовательскую выборку составили 688 школьников г. Новосибирск в возрасте от 10 до 15 лет.

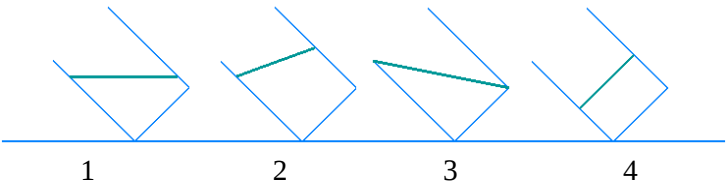
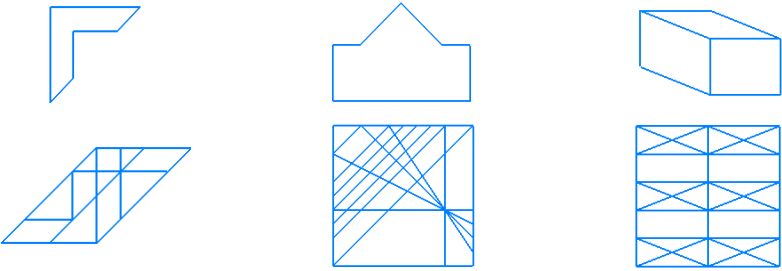
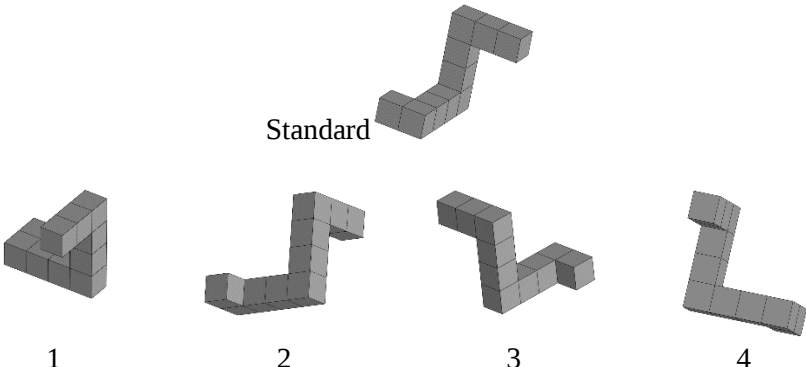
Результаты исследования

В соответствии с целью статьи на основе компаративного анализа структуры содержания понятия «пространственный интеллект» в отечественной и зарубежной педагогической психологии разработана структурная модель измерения пространственного интеллекта студентов и школьников (таблица 1) и экспресс-тест (таблица 2).

Таблица 1 – Модель измерения уровня пространственного интеллекта / Table 1 – Model for measuring the level of spatial intelligence.

компоненты пространственного познания «spatial cognition» (пространственного интеллекта) / spatial cognition components	пространственные знания «spatial knowledge»	1 уровень: образ воспринимаемого объекта, трансформируемый в процессе решения задачи, воспринимается как постоянный в своей структуре; диагностика выполняется в результате выполнения школьниками субтеста «Пространственное восприятие» / Level 1: the image of the perceived object, transformed in the process of solving the problem, is perceived as constant in its structure; diagnostics is carried out as a result of the performance of the subtest "Spatial perception"	Пространственное восприятие «spatial perception»	компоненты пространственного мышления / spatial thinking components
	пространственные способности «spatial abilities»	2 уровень: исходный образ воспринимаемого объекта преобразуется в своей структуре; диагностика выполняется с помощью использования субтеста «Пространственная визуализация» / Level 2: the original image of the perceived object is transformed in its structure; diagnostics is performed using the "Spatial visualization" subtest	пространственное представление «spatial representation»	
	пространственные навыки «spatial skills»	3 уровень: исходный образ служит основой для конструирования нового образа, полученного в процессе выполнения задачи; для диагностики используется субтест «Мысленное вращение» / Level 3: the original image serves as the basis for constructing a new image obtained in the process of completing the task; the subtest "Mental rotation" is used for diagnostics	пространственное воображение «spatial imagination»	

Таблица 2 – Примеры измерительных материалов / Table 2 – Examples of measuring materials

тест на пространственное восприятие «<i>Spatial perception</i>»	 1 2 3 4 респондентов просят указать на наклонной бутылке с горизонтальной линией уровень воды / respondents are asked to indicate the water level on an inclined bottle with a horizontal line
тест на пространственную визуализацию «<i>spatial visualisation</i>»	 Встроенные фигуры: респондентов просят найти простую фигуру сверху в сложной фигуре, показанной внизу / Inline Shapes: Respondents are asked to find a simple shape on top in a complex shape shown below   1 2 3 4 5 Складывание бумаги: респондентам предлагается указать, как будет выглядеть бумага в развернутом виде / Folding the paper: Respondents are asked to indicate what the unfolded paper will look like
тест на мысленное вращение «<i>Mental rotation</i>»	 1 2 3 4 респондентов просят определить два ответа, которые показывают «Standard» в другой ориентации / respondents are asked to identify two responses that show "Standard" in a different orientation

Модель включает три уровня пространственного интеллекта, соотнесенных с диагностирующими процедурами: на первом уровне образ воспринимаемого объекта, трансформируемый в процессе решения задачи, воспринимается как постоянный в своей структуре; диагностика выполняется в результате выполнения школьниками субтеста «Пространственное восприятие»; на втором уровне исходный образ воспринимаемого объекта преобразуется в своей структуре; диагностика выполняется с помощью использования субтеста «Пространственная визуализация»; на третьем уровне исходный образ служит основой для конструирования нового образа, полученного в процессе выполнения задачи; для диагностики используется субтест «Мысленное вращение». Выделение трех уровней ПИ соотносится с представлениями И.С. Якиманской о трех структурных компонентах ПМ: пространственное восприятие, пространственное представительство, пространственное воображение – и, соответственно, трех уровней развития пространственного мышления: на первом уровне происходит пространственное изменение исходного образа при сохранении его структурных характеристик; на втором уровне в сознании человека выполняется структурная трансформация исходного образа; на третьем уровне воспринимаемый образ становится базой для конструирования в сознании нового.

Диагностика пространственного восприятия предполагает оценку способности определять пространственные отношения объектов. Наиболее известны «Тест стержня и рамы» и «Тест уровня воды». Тест стержня и рамы («Therod-and-frametest» (*RFT*)) – испытуемый должен отрегулировать (влево-вправо) изображение стержня, несмотря на отвлекающую информацию – рамка. По замыслу авторов, оценивается полезависимость/полнезависимость от внешних сигналов при принятии визуальных решений. Тест уровня воды («The Water Level Test» *WLT* Piaget) – оценка способности детей воспринимать пространство в евклидовой системе отсчета, предвидение ориентации поверхности воды в бутылках, которые наполовину заполнены, а затем наклонены. Диагностика пространственной визуализации как способности манипулировать сложной пространственной информацией осуществляется на основе применения теста «Пространственные отношения» («DAT Spatial Relations Subset (*DAT-SR*)), где испытуемые должны были указать вид развернутой формы в сложенном виде; «Теста идентичных блоков» («Identical Blocks Test» (*IBT*)), где респонденты должны найти блок, идентичный эталонному, учитывая изображения на гранях блока теста «Складывание бумаги» («Paper Folding» (*PF*) Ekstrom), где задача испытуемого мысленно складывать бумагу, с нанесенным рисунком и соотносением с моделью, которая должна получиться.

Оценка мысленного вращения – способности вращать в воображении быстро и точно двухмерные и трехмерные фигуры – является целью «Субтеста пространственных отношений» теста «Основных мыслительных способностей» («Primary Mental Abilities Test» (*PMA-SR*)), где участники должны выполнять мысленное вращение двумерных объектов; «Теста вращения карточек» («CardsRotationTest» (*CRT*)), где участники обязаны выполнять мысленное вращение двухмерных объектов; «Теста мысленного вращения» («Mental Rotation Test» (*MRT*)), бумажно-карандашной версии задачи мысленного вращения с использованием размерных объектов.

В основе *MRT* находится идея об оценке мысленного вращения как способности мысленно вращать в пространстве образ двухмерного или трехмерного объекта. Эта идея впервые встречается в работах R. Shepard, J. Metzler [35]. Тест *MRT* подразумевает три части: первая часть – инструкция о способе действий с инструментарием, вторая и третья части – это ограниченные во времени выполнения задания. В задание входит 24 трехмерных

объекта с одной эталонной фигурой в левой части опросного листа и четырьмя стимульными – с правой. Испытуемый должен мысленно вращать стимульные фигуры в пространстве, чтобы найти два правильных – соответствующих эталонной фигуре. Правильным считается ответ, где правильно указаны обе стимульные фигуры [5, 19, 22].

На основе субтестов интеллекта (R. Amthauer, M.C. Linn, A.C. Petersen, M. Sjölander) авторы сконструировали измерительные материалы – экспресс-тест из 15 заданий (по 5 заданий на каждый уровень пространственного интеллекта: пространственные знания (П_Вос), пространственные способности (П_Виз) и пространственные навыки (М_Вр). Проведена апробация экспресс-теста на выборке: 688 школьников г. Новосибирск в возрасте от 10 до 15 лет. Тестирование респондентов осуществлялось в апреле 2021 года. Альфа Кронбаха для 15 независимых показателей – 0,672, что означает хорошую внутреннюю согласованность экспресс-теста для измерения пространственного интеллекта студентов.

Для проведения первичного анализа полученных данных использовали описательную статистику с корреляционным анализом по Пирсону. Описательная статистика по трем отдельным субтестам: П_Вос, П_Виз, М_Вр и интегральному показателю «пространственное мышление» (ПМ) представлена в таблице 3. Балльные значения субтестов и итогового показателя пространственного интеллекта не подчинялись нормальному закону распределения.

Таблица 3 – Описательная статистика по субтестам и итоговому показателю ПМ / Table 3 – Descriptive statistics on subtests for the final PM indicator

	Минимум	Максимум	Среднее	Ст.отклон.	Дисперсия	Ассиметрия	Экцесс
П_Вос	0	5	3,16	1,19	1,40	-0,52	-0,05
П_Виз	0	4	2,41	1,02	1,05	-0,23	-0,60
М_Вр	0,5	5	3,40	1,33	1,78	-0,41	-1,12
ПМ	0,5	14	8,97	2,62	6,88	-0,41	-0,20

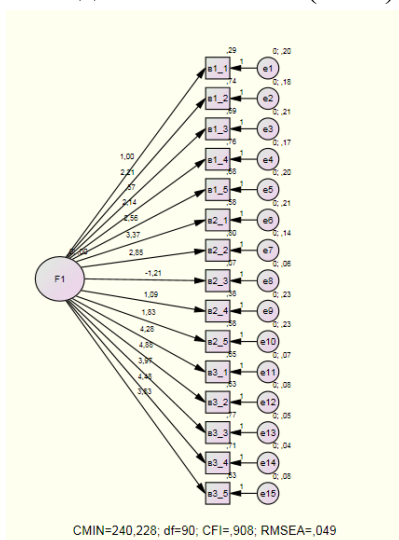
Коэффициенты корреляции, подсчитанные для определения связей между различными субтестами и итоговым показателем (таблица 4), показали, что практически все результаты сильно и умеренно коррелируют друг с другом (0,267-0,795) на уровне высокой статистической значимости ($p < 0,001$), что говорит о согласованности ответов респондентов. Альфа Кронбаха для 4 пунктов – 0,795, что означает приемлемую внутреннюю согласованность методики.

Таблица 4 – Коэффициенты корреляции (по Пирсону) между субтестами и итоговым показателем / Table 4 – Correlation coefficients (according to Pearson) between the subtests and the final indicator

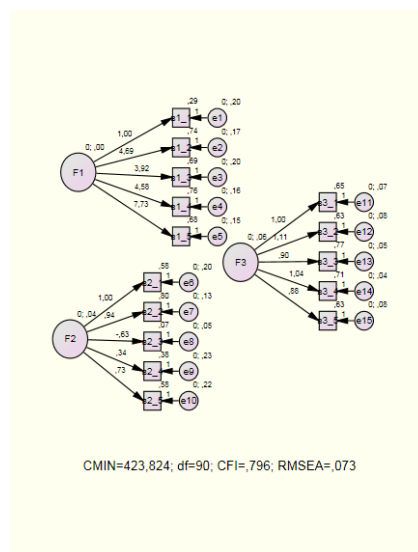
	П_Вос	П_Виз	М_Вр	ПМ
П_Вос	1	0,267	0,316	0,717
П_Виз	0,267	1	0,368	0,698
М_Вр	0,316	0,368	1	0,795
ПМ	0,717	0,698	0,795	1

Определение достоверности (валидности) экспресс-теста проведено с помощью моделирования структурными уравнениями (SEM), проведен конфирматорный факторный анализ полученных результатов. Отношения между 15 независимыми переменными модели (ответы на вопросы теста), представляющими структуру одной латентной переменной

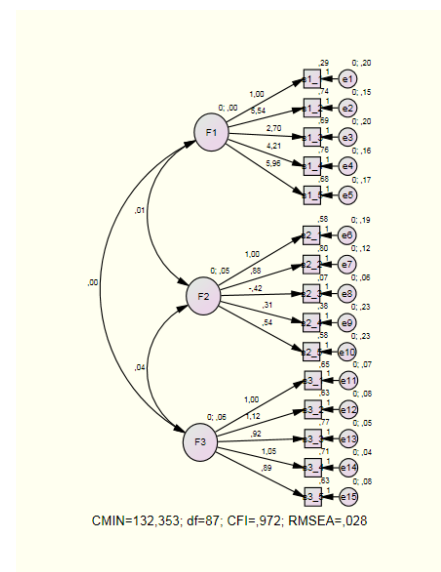
«пространственный интеллект» (фактор F_1), изображены с помощью инструментов модуля AMOS на рисунке 1а. Все эндогенные переменные однонаправленно связаны с одной латентной переменной F_1 , практически все коэффициенты регрессии имеют положительные значения. Отношения между 15 независимыми переменными модели, представляющими структуру трех латентных переменных: «пространственные знания» (фактор F_1), «пространственные способности» (фактор F_2) и «пространственные навыки» (фактор F_3), – изображены с помощью инструментов модуля AMOS на рисунке 1б и рисунке 1в. Апостериорная трехфакторная модель (рисунок 1в) отличается от априорной модели (рисунок 1б) наличием ковариаций латентных переменных. Таким образом, анализ моделей, состоящих из 15 показателей и одного фактора (пространственный интеллект) или трех факторов (пространственные знания, пространственные способности и пространственные навыки), показал, что модели являются приемлемыми: отношение хи-квадрат CMIN к числу степеней свободы df более 2, сравнительный индекс согласия (CFI) оказался менее 0,9, квадратный корень из среднеквадратической ошибки аппроксимации RMSEA был не более 0,08. Значимость (p-уровень) не превышает 0,05, следовательно, результат считается статистически достоверным (значимым). Измерение статистически значимо. Объем выборки $N = 688$ значительно больше предельно малой численности выборки $5T=240$. Количество оцениваемых параметров модели $T = 48$. Это значение можно получить исходя из количества доступных моментов выборки (ковариаций и дисперсий) $P(P+1)/2 = 135$ переменных модели и числа степеней свободы $df = 13$: $T = P(P+1)/2 - df = 48$.



Априорная однофакторная модель / A priori one-factor model
(а)



Априорная трехфакторная модель / A priori three-factor model
(б)



Апостериорная трехфакторная модель с пересечением факторов / A posteriori three-factor model with the intersection of factors
(в)

Рисунок 1 – Результаты оценки стандартизованных весовых коэффициентов для моделей КФА /
Figure 1 – Results of the evaluation of standardized weight coefficients for CFA models

Обсуждение и заключения

Проведено теоретическое обоснование, разработка и валидизация структурной модели измерения пространственного интеллекта студентов. Полученные результаты имеют научную значимость для определения места пространственного мышления в структуре высших психических функций человека, для установления закономерностей развития пространственного интеллекта в зависимости от степени сформированности его подструктур. Практическая значимость полученного результата заключается в разработке методологических оснований для скрининг-диагностики пространственного интеллекта студентов. Выбор юношеского возраста в качестве экспериментальной возрастной группы обусловлен высокой значимостью пространственного мышления для решения учебных задач в рамках профессионального обучения, в том числе при организации дистанционного обучения в цифровой образовательной среде.

Список использованных источников

1. Аристова И.Л., Есипенко Е.А., Шарафиева К.Р. и др. Пространственные способности: структура и этиология // Вопросы психологии. 2018. № 1. С. 118-126. URL: <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Repository/vtls:000721801> (дата обращения: 14.05.2021).
2. Василенко А.В. Систематизация задач на развитие пространственного мышления учащихся // Современные проблемы науки и образования. 2015. №2. С. 460. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24123293> (дата обращения: 14.05.2021).
3. Коногорская С.А. Прогностические возможности пространственных и вербальных тестов в диагностике возникновения трудностей обучения у младших школьников // Вестник Томского государственного педагогического университета. 2013. №5(133). С. 149-154. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=19072488> (дата обращения: 14.05.2021).
4. Alsalhi N.R.I. The representation of multiple intelligences in the science textbook and the extent of awareness of science teachers at the intermediate stage of this theory // Thinking Skills and Creativity. 2020. Vol. 38. P. 100706. DOI: 10.1016/j.tsc.2020.100706.
5. Anomal R.F., Brandão D.S., Porto S.B., de Oliveira S.S., de Souza R.F.L., de Santana Fiel J., Gomes B.D., Pires I.A.H., Pereira A. The role of frontal and parietal cortex in the performance of gifted and average adolescents in a mental rotation task // PLoS ONE. 2020. Vol. 15, no. 5. Number article e0232660. DOI: 10.1371/journal.pone.0232660.
6. Bergold S., Wirthwein L., Rost D.H., Steinmayr R. What happens if the same curriculum is taught in five instead of six years? A quasi-experimental investigation of the effect of schooling on intelligence // Cognitive Development. 2017. Vol. 44. Pp. 98-109. DOI: 10.1016/j.cogdev.2017.08.012.
7. Blazhenkova O. Vividness of object and spatial imagery // Perceptual and Motor Skills. 2016. Vol. 122, no. 2. Pp. 490-508. DOI: <https://doi.org/10.1177%2F0031512516639431>.
8. Blazhenkova O., Kozhevnikov M. Visual-object ability: A new dimension of non-verbal intelligence // Cognition. 2010. Vol. 117, no. 3. Pp. 276-301. DOI: 10.1016/j.cognition.2010.08.021.
9. Castro-Jiménez R.A., Fonseca del Pozo F.J., Jiménez Moral G., Fruet-Cardozo J.V. Analysis of health habits, vices and interpersonal relationships of Spanish adolescents, using SEM statistical model // Heliyon. 2020. Vol. 6, no. 8. Number article e04699. DOI: 10.1016/j.heliyon. 2020.e04699.

10. Cuendet S., Dehler-Zufferey J., Arn Ch., Bumbacher E., Dillenbourg P. A study of carpenter apprentices' spatial skills // Empirical Research in Vocational Education and Training. 2014. Vol. 6, no. 3. Pp. 2-16. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40461-014-0003-3>.
11. Duffy G., Sorby S., Bowe B. An investigation of the role of spatial ability in representing and solving word problems among engineering students // Journal of Engineering Education. 2020. Vol. 109, no. 3. Pp. 424-442. DOI: 10.1002/jee.20349.
12. Dvoryatkina S.N., Shcherbatykh S.V. Conceptual provisions of fractal development of probabilistic thinking study in teaching mathematics and instruments for their implementation // Perspektivy Nauki I Obrazovania. 2020. Vol. 43, no. 2. Pp. 195-209. DOI: 10.32744/pse.2020.2.16.
13. Esipenko E.A., Maslennikov E.P., Budakova A.V. et al. Comparing Spatial Ability of Male and Female Students Completing Humanities vs. Technical Degrees // Psychology in Russia: State of the Art. 2018. Vol. 11, no. 4. Pp. 37-49. DOI: 10.11621/pir.2018.0403.
14. Gardner H. Of Human Potential: A 40-Year Saga // Journal for the Education of the Gifted. 2020. Vol. 43, no. 1. Pp. 12-18. DOI: 10.1177/0162353219894406.
15. Green C.T., Bunge S.A., Briones Chiongbian V., Barrow M., Ferrer E. Fluid reasoning predicts future mathematical performance among children and adolescents // Journal of Experimental Child Psychology. 2017. Vol. 157. Pp. 125-143. DOI: 10.1016/j.jecp.2016.12.005.
16. He Q., McNamara T.P., Bodenheimer B., Klippel A. Acquisition and transfer of spatial knowledge during way finding // Journal of Experimental Psychology: Learning Memory and Cognition. 2019. Vol. 45, no. 8. Pp. 1364-1386. DOI: 10.1037/xlm0000654.
17. Hegarty M. Ability and sex differences in spatial thinking: What does the mental rotation test really measure? // Psychonomic Bulletin and Review. 2018. Vol. 25, no. 3. Pp. 1212-1219. DOI: 10.3758/s13423-017-1347-z.
18. Hegarty M., Kozhevnikov M. Types of Visual-Spatial Representations and Mathematical Problem Solving // Journal of Educational Psychology. 1999. Vol. 91, no. 4. Pp. 684-689. DOI: [10.1037/0022-0663.91.4.684](https://doi.org/10.1037/0022-0663.91.4.684).
19. Hegarty M., Montello D.R., Richardson A.E., Ishikawa T., Lovelace K. Spatial abilities at different scales: individual differences in aptitude-test performance and spatial-layout learning // Intelligence. 2006. Vol. 34, no. 2. Pp. 151-176. DOI: 10.1016/j.intell.2005.09.005.
20. Ismail A.A., Sulaiman T., Roslan S. Models of relationship between emotional, spiritual, physical and social intelligence, resilience and burnout among high school teachers // Universal Journal of Educational Research. 2020. Vol. 8, no. 1A. Pp. 1-7. DOI: 10.13189/ujer.2020.081301.
21. Kuipers B. Modeling Spatial Knowledge // Cognitive Science. 1978. Vol. 2, no. 2. Pp. 129-153. DOI: https://doi.org/10.1207/s15516709cog0202_3.
22. Lang J.W.B., Kersting M., Beauducel A. Hierarchies of factor solutions in the intelligence domain: Applying methodology from personality psychology to gain insights into the nature of intelligence // Learning and individual differences. 2016. Vol. 47. Pp. 37-50. DOI: 10.1016/j.lindif.2015.12.003.
23. Likhanov M.V., Ismatullina V.I., Fenin A.Y., Wei W., Rimfeld K., Maslennikova E.P., Esipenko E.A., Sharafieva K.R., Feklicheva I.V., N.A. Chipeeva, Budakova A.V., Soldatova E.L., Zhou X., Kovas Yu.V. The Factorial Structure of Spatial Abilities in Russian and Chinese Students // Psychology in Russia: State of the Art. 2018. Vol. 11, no. 4. Pp. 96-114. DOI: 10.11621/pir.2018.0407.

24. Lin H. Influence of design training and spatial solution strategies on spatial ability performance // *International Journal of Technology and Design Education*. 2016. Vol. 26(1). Pp. 123-131. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10798-015-9302-7>.
25. Linn M.C., Petersen A.C. Emergence and characterization of sex differences in spatial ability: a meta-analysis // *Child development*. 1985. Vol. 56, no. 6. Pp. 1479-1498. DOI: 10.1111/j.1467-8624.1985.tb00213.x.
26. Majid N.A., Zainol F.A., Afthanorhan A. Does school cooperative program increase entrepreneurial intention? A structural equation modelling approach // *Humanities and Social Sciences Reviews*. 2020. Vol. 8, no. 2. Pp. 645-651. DOI: 10.18510/hssr.2020.8272.
27. McGrew K.S. CHC theory and the human cognitive abilities project: Standing on the shoulders of the giants of psychometric intelligence research // *Intelligence*. 2009. Vol. 37, no. 1. Pp. 1-10. DOI: 10.1016/j.intell.2008.08.004.
28. Nordin M.N.B., Mustafa M.Z.B., Razzaq A.R.B.A. Relationship between headmasters' leadership, task load on special education integration programme teachers' job satisfaction // *Universal Journal of Educational Research*. 2020. Vol. 8, no. 8. Pp. 3398-3405. DOI: 10.13189/ujer.2020.080813.
29. Pishchik V.I., Molokhina G.A., Petrenko E.A., Milova Y.V. Features of mental activity of students – Esport players // *International Journal of Cognitive Research in Science, Engineering and Education*. 2019. Vol. 7, no. 2. Pp. 67-76. DOI: 10.5937/IJCRSEE1902067P.
30. Pujawan I.G.N., Suryawan I.P.P., Prabawati D.A.A. The effect of van hiele learning model on students' spatial abilities // *International Journal of Instruction*. 2020. Vol. 13, no. 3. Pp. 461-474. DOI: 10.29333/iji.2020.13332a.
31. Rafique, H., Almagrabi A.O., Shamim A., Anwar F., Bashir A.K. Investigating the Acceptance of Mobile Library Applications with an Extended Technology Acceptance Model (TAM) // *Computers and Education*. 2020. Vol. 145. Number article 103732. DOI: 10.1016/j.compedu.2019.103732.
32. Selim H.M., Eid R., Agag G. Understanding the role of technological factors and external pressures in smart classroom adoption // *Education and Training*. 2020. Vol. 62, no. 6. Pp. 631-644. DOI: 10.1108/ET-03-2020-0049.
33. Shearer B. Multiple intelligences in teaching and education: Lessons learned from neuroscience // *Journal of Intelligence*. 2018. Vol. 6, no. 3. Number article 38. Pp. 1-8. DOI: 10.3390/jintelligence6030038.
34. Shearer C.B., Karanian J.M. The neuroscience of intelligence: Empirical support for the theory of multiple intelligences? // *Trends in Neuroscience and Education*. 2017. Vol. 6. Pp. 211-223. DOI: 10.1016/j.tine.2017.02.002.
35. Shepard R.N., Metzler J. Mental rotation of three-dimensional objects // *Science*. 1971. Vol. 171, no. 3972. Pp. 701-703. DOI: 10.1126/science.171.3972.701.
36. Sjölander M., Höök K., Nilsson L.-G., Andersson G. Age differences and the acquisition of spatial knowledge in a three-dimensional environment: Evaluating the use of an overview map as a navigation aid // *International Journal of Human Computer Studies*. 2005. Vol. 63, no. 6. Pp. 537-564. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2005.04.024>.
37. Sorby S.A. Educational research in developing 3-D spatial skills for engineering students // *International Journal of Science Education Engineering*. 2009. Vol. 31, no. 3. Pp. 459-480. DOI: 10.1080/09500690802595839.

38. Waller D., Hunt E., Knapp D. The transfer of spatial knowledge in virtual environment training // *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*. 1998. Vol. 7, no. 2. Pp. 129-143. DOI: [10.1162/105474698565631](https://doi.org/10.1162/105474698565631).

References

1. Aristova I.L., Esipenko E.A., SHarafieva K.R. i dr. Spatial abilities: structure and etiology. *Voprosy psihologii*, 2018, no. 1, pp. 118-126. Available at: <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Repository/vtls:000721801> (accessed: 14.05.2021). (In Russ.)
2. Vasilenko A.V. Systematization of tasks for the development of spatial thinking of students. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*, 2015, no. 2, p. 460. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24123293> (accessed: 14.05.2021). (In Russ.)
3. Konogorskaya S.A. Predictive capabilities of spatial and verbal tests in the diagnosis of learning difficulties in primary schoolchildren. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta*, 2013, no. 5(133), pp. 149-154. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=19072488> (accessed: 14.05.2021). (In Russ.)
4. Alsalhi N.R.I. The representation of multiple intelligences in the science textbook and the extent of awareness of science teachers at the intermediate stage of this theory. *Thinking Skills and Creativity*, 2020, vol. 38, p. 100706, doi: 10.1016/j.tsc.2020.100706.
5. Anomal R.F., Brandão D.S., Porto S.B., de Oliveira S.S., de Souza R.F.L., de Santana Fiel J., Gomes B.D., Pires I.A.H., Pereira A. The role of frontal and parietal cortex in the performance of gifted and average adolescents in a mental rotation task. *PLoS ONE*, 2020, vol. 15, no. 5, number article e0232660, doi: 10.1371/journal.pone.0232660.
6. Bergold S., Wirthwein L., Rost D.H., Steinmayr R. What happens if the same curriculum is taught in five instead of six years? A quasi-experimental investigation of the effect of schooling on intelligence. *Cognitive Development*, 2017, vol. 44, pp. 98-109, doi: 10.1016/j.cogdev.2017.08.012.
7. Blazhenkova O. Vividness of object and spatial imagery. *Perceptual and Motor Skills*, 2016, vol. 122, no. 2, pp. 490-508, doi: <https://doi.org/10.1177%2F0031512516639431>.
8. Blazhenkova O., Kozhevnikov M. Visual-object ability: A new dimension of non-verbal intelligence. *Cognition*, 2010, vol. 117, no. 3, pp. 276-301, doi: 10.1016/j.cognition.2010.08.021.
9. Castro-Jiménez R.A., Fonseca del Pozo F.J., Jiménez Moral G., Fruet-Cardozo J.V. Analysis of health habits, vices and interpersonal relationships of Spanish adolescents, using SEM statistical model. *Heliyon*, 2020, vol. 6, no. 8, number article e04699, doi: 10.1016/j.heliyon.2020.e04699.
10. Cuendet S., Dehler-Zufferey J., Arn Ch., Bumbacher E., Dillenbourg P. A study of carpenter apprentices' spatial skills. *Empirical Research in Vocational Education and Training*, 2014, vol. 6, no. 3, pp. 2-16, doi: <https://doi.org/10.1186/s40461-014-0003-3>.
11. Duffy G., Sorby S., Bowe B. An investigation of the role of spatial ability in representing and solving word problems among engineering students. *Journal of Engineering Education*, 2020, vol. 109, no. 3, pp. 424-442, doi: 10.1002/jee.20349.
12. Dvoryatkina S.N., Shcherbatykh S.V. Conceptual provisions of fractal development of probabilistic thinking study in teaching mathematics and instruments for their implementation. *Perspektivy Nauki I Obrazovaniya*, 2020, vol. 43, no. 2, pp. 195-209, doi: 10.32744/pse.2020.2.16.

13. Esipenko E.A., Maslennikov E.P., Budakova A.V. et al. Comparing Spatial Ability of Male and Female Students Completing Humanities vs. Technical Degrees. *Psychology in Russia: State of the Art*, 2018, vol. 11, no. 4, pp. 37-49, doi: 10.11621/pir.2018.0403.
14. Gardner H. Of Human Potential: A 40-Year Saga. *Journal for the Education of the Gifted*, 2020, vol. 43, no. 1, pp. 12-18, doi: 10.1177/0162353219894406.
15. Green C.T., Bunge S.A., Briones Chiongbian V., Barrow M., Ferrer E. Fluid reasoning predicts future mathematical performance among children and adolescents. *Journal of Experimental Child Psychology*, 2017, vol. 157, pp. 125-143, doi: 10.1016/j.jecp.2016.12.005.
16. He Q., McNamara T.P., Bodenheimer B., Klippel A. Acquisition and transfer of spatial knowledge during way finding. *Journal of Experimental Psychology: Learning Memory and Cognition*, 2019, vol. 45, no. 8, pp. 1364-1386, doi: 10.1037/xlm0000654.
17. Hegarty M. Ability and sex differences in spatial thinking: What does the mental rotation test really measure? *Psychonomic Bulletin and Review*, 2018, vol. 25, no. 3, pp. 1212-1219, doi: 10.3758/s13423-017-1347-z.
18. Hegarty M., Kozhevnikov M. Types of Visual-Spatial Representations and Mathematical Problem Solving. *Journal of Educational Psychology*, 1999, vol. 91, no. 4, pp. 684-689, doi: [10.1037/0022-0663.91.4.684](https://doi.org/10.1037/0022-0663.91.4.684).
19. Hegarty M., Montello D.R., Richardson A.E., Ishikawa T., Lovelace K. Spatial abilities at different scales: individual differences in aptitude-test performance and spatial-layout learning. *Intelligence*, 2006, vol. 34, no. 2, pp. 151-176, doi: 10.1016/j.intell.2005.09.005.
20. Ismail A.A., Sulaiman T., Roslan S. Models of relationship between emotional, spiritual, physical and social intelligence, resilience and burnout among high school teachers. *Universal Journal of Educational Research*, 2020, vol. 8, no. 1a, pp. 1-7, doi: 10.13189/ujer.2020.081301.
21. Kuipers B. Modeling Spatial Knowledge. *Cognitive Science*, 1978, vol. 2, no. 2, pp. 129-153, doi: https://doi.org/10.1207/s15516709cog0202_3.
22. Lang J.W.B., Kersting M., Beauducel A. Hierarchies of factor solutions in the intelligence domain: Applying methodology from personality psychology to gain insights into the nature of intelligence. *Learning and individual differences*, 2016, vol. 47, pp. 37-50, doi: 10.1016/j.lindif.2015.12.003.
23. Likhanov M.V., Ismatullina V.I., Fenin A.Y., Wei W., Rimfeld K., Maslennikova E.P., Esipenko E.A., Sharafieva K.R., Feklicheva I.V., N.A. Chipeeva, Budakova A.V., Soldatova E.L., Zhou X., Kovas Yu.V. The Factorial Structure of Spatial Abilities in Russian and Chinese Students. *Psychology in Russia: State of the Art*, 2018, vol. 11, no. 4, pp. 96-114, doi: 10.11621/pir.2018.0407.
24. Lin H. Influence of design training and spatial solution strategies on spatial ability performance. *International Journal of Technology and Design Education*, 2016, vol. 26(1), pp. 123-131, doi: <http://dx.doi.org/10.1007/s10798-015-9302-7>.
25. Linn M.C., Petersen A.C. Emergence and characterization of sex differences in spatial ability: a meta-analysis. *Child development*, 1985, vol. 56, no. 6, pp. 1479-1498, doi: 10.1111/j.1467-8624.1985.tb00213.x.
26. Majid N.A., Zainol F.A., Afthanorhan A. Does school cooperative program increase entrepreneurial intention? A structural equation modelling approach. *Humanities and Social Sciences Reviews*, 2020, vol. 8, no. 2, pp. 645-651, doi: 10.18510/hssr.2020.8272.

27. McGrew K.S. CHC theory and the human cognitive abilities project: Standing on the shoulders of the giants of psychometric intelligence research. *Intelligence*, 2009, vol. 37, no. 1, pp. 1-10, doi: 10.1016/j.intell.2008.08.004.
28. Nordin M.N.B., Mustafa M.Z.B., Razzaq A.R.B.A. Relationship between headmasters' leadership, task load on special education integration programme teachers' job satisfaction. *Universal Journal of Educational Research*, 2020, vol. 8, no. 8, pp. 3398-3405, doi: 10.13189/ujer.2020.080813.
29. Pishchik V.I., Molokhina G.A., Petrenko E.A., Milova Y.V. Features of mental activity of students – Esport players. *International Journal of Cognitive Research in Science, Engineering and Education*, 2019, vol. 7, no. 2, pp. 67-76, doi: 10.5937/IJCRSEE1902067P.
30. Pujawan I.G.N., Suryawan I.P.P., Prabawati D.A.A. The effect of van hiele learning model on students' spatial abilities. *International Journal of Instruction*, 2020, vol. 13, no. 3, pp. 461-474, doi: 10.29333/iji.2020.13332a.
31. Rafique, H., Almagrabi A.O., Shamim A., Anwar F., Bashir A.K. Investigating the Acceptance of Mobile Library Applications with an Extended Technology Acceptance Model (TAM). *Computers and Education*, 2020, vol. 145, number article 103732, doi: 10.1016/j.compedu.2019.103732.
32. Selim H.M., Eid R., Agag G. Understanding the role of technological factors and external pressures in smart classroom adoption. *Education and Training*, 2020, vol. 62, no. 6, pp. 631-644, doi: 10.1108/ET-03-2020-0049.
33. Shearer B. Multiple intelligences in teaching and education: Lessons learned from neuroscience. *Journal of Intelligence*, 2018, vol. 6, no. 3, number article 38, pp. 1-8, doi: 10.3390/jintelligence6030038.
34. Shearer C.B., Karanian J.M. The neuroscience of intelligence: Empirical support for the theory of multiple intelligences? *Trends in Neuroscience and Education*, 2017, vol. 6, pp. 211-223, doi: 10.1016/j.tine.2017.02.002.
35. Shepard R.N., Metzler J. Mental rotation of three-dimensional objects. *Science*, 1971, vol. 171, no. 3972, pp. 701-703, doi: 10.1126/science.171.3972.701.
36. Sjölander M., Höök K., Nilsson L.-G., Andersson G. Age differences and the acquisition of spatial knowledge in a three-dimensional environment: Evaluating the use of an overview map as a navigation aid. *International Journal of Human Computer Studies*, 2005, vol. 63, no. 6, pp. 537-564. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2005.04.024>.
37. Sorby S.A. Educational research in developing 3-D spatial skills for engineering students. *International Journal of Science Education Engineering*, 2009, vol. 31, no. 3, pp. 459-480, doi: 10.1080/09500690802595839.
38. Waller D., Hunt E., Knapp D. The transfer of spatial knowledge in virtual environment training. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 1998, vol. 7, no. 2, pp. 129-143, doi: [10.1162/105474698565631](https://doi.org/10.1162/105474698565631).

© Чикова О.А., Золотавин В.С., Каменев Р.В., Максимова Л.А., 2021

Информация об авторах

Чикова Ольга Анатольевна – доктор физико-математических наук, доцент, главный научный сотрудник, Уральский государственный педагогический университет, Екатеринбург, Российская Федерация; профессор, Новосибирский государственный педагогический университет, Новосибирск, Российская Федерация, ORCID:0000-0002-3347-

9148, e-mail: Chik63@mail.ru.

Золотавин Владимир Сергеевич – учитель информатики, МАОУ Гимназия №11 «Гармония», Новосибирский государственный педагогический университет, Новосибирск, Российская Федерация, ORCID: 0000-0002-5584-7220, e-mail: mrdiszy38@gmail.com.

Каменев Роман Владимирович – кандидат педагогических наук, доцент, и.о. директора института физико-математического, информационного и технологического образования, Новосибирский государственный педагогический университет, Новосибирск, Российская Федерация, ORCID: 0000-0002-9367-3997, e-mail: romank54.55@gmail.com.

Максимова Людмила Александровна – кандидат педагогических наук, доцент, директор института психологии, Уральский государственный педагогический университет, Екатеринбург, Российская Федерация, ORCID: 0000-0003-0017-5321, e-mail: maximova70@mail.ru.

Information about the authors

Chikova Olga A. – Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Chief Researcher, Ural State Pedagogical University, Yekaterinburg, Russian Federation; Professor, Novosibirsk State Pedagogical University, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3347-9148>, e-mail: Chik63@mail.ru.

Zolotavin Vladimir S. – teacher of Computer Science, MAOU Gymnasium No. 11 "Harmony", Novosibirsk State Pedagogical University, Novosibirsk, Russian Federation, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5584-7220>, e-mail: mrdiszy38@gmail.com.

Kamenev Roman V. – Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Acting Director of the Institute of Physics and Mathematics, Information and Technological Education, Novosibirsk State Pedagogical University, Novosibirsk, Russian Federation, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9367-3997>, e-mail: romank54.55@gmail.com.

Maksimova Lyudmila A. – Candidate of Pedagogical Sciences, associate Professor, Ural State Pedagogical University, Yekaterinburg, Russian Federation, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0017-5321>, e-mail: maximova70@mail.ru.

Поступила в редакцию: 04.06.2021

Принята к публикации: 02.10.2021

Опубликована: 12.11.2021