

ІТМО

А.А. Балканский, П.А. Белимова, А.А. Смолин

**ПРИНЦИПЫ ВОПЛОЩЕННОГО
ОБРАЗОВАНИЯ: СОЗДАНИЕ
МУЛЬТИМОДАЛЬНЫХ СЕНСОРНЫХ
ОБУЧАЮЩИХ КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМ**



**Санкт-Петербург
2024**

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

А.А. Балканский, П.А. Белимова, А.А. Смолин
ПРИНЦИПЫ ВОПЛОЩЕННОГО
ОБРАЗОВАНИЯ: СОЗДАНИЕ
МУЛЬТИМОДАЛЬНЫХ СЕНСОРНЫХ
ОБУЧАЮЩИХ КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМ

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

РЕКОМЕНДОВАНО К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ В УНИВЕРСИТЕТЕ ИТМО
по направлению подготовки 09.04.04 Программная инженерия
в качестве Учебно-методического пособия для реализации основных
профессиональных образовательных программ высшего образования
магистратуры

ИТМО

Санкт-Петербург
2024

Балканский А.А., Белимова П.А., Смолин А.А., ПРИНЦИПЫ
ВОПЛОЩЕННОГО ОБРАЗОВАНИЯ: СОЗДАНИЕ МУЛЬТИМОДАЛЬНЫХ
СЕНСОРНЫХ ОБУЧАЮЩИХ КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМ– СПб:
Университет ИТМО, 2024. – 29 с.

Рецензент(ы):

Лавров Алексей Валерьевич, старший преподаватель (квалификационная категория «старший преподаватель») факультета программной инженерии и компьютерной техники, Университета ИТМО.

Описывается педагогический подход «воплощенного образования», в рамках которого мультимодальные сенсорные компьютерные системы выступают в качестве эффективного обучающего инструмента за счет сочетания методов представления визуальной, аудиальной и тактильной информации. Приводится пример реализации мультимодальной сенсорной обучающей системы в виде аппаратно-программного комплекса «Смарт Кубики», сочетающего физическую вовлеченность и визуальный игровой контент в процессе закрепления навыков математического счета. Учебно-методическое пособие предназначено для студентов, обучающихся по направлению 09.04.04 «Программная инженерия», дисциплины «Психология человеко-компьютерного взаимодействия» и «Проектирование доступных интерфейсов» для пользователей с особыми потребностями».

The logo of ITMO University, consisting of the letters 'ITMO' in a bold, black, sans-serif font. The letter 'I' is slightly taller than the other letters.

ИТМО (Санкт-Петербург) — национальный исследовательский университет, научно-образовательная корпорация. Альма-матер победителей международных соревнований по программированию. Приоритетные направления: IT и искусственный интеллект, фотоника, робототехника, квантовые коммуникации, трансляционная медицина, Life Sciences, Art&Science, Science Communication.

Лидер федеральной программы «Приоритет-2030», в рамках которой реализуется программа «Университет открытого кода». С 2022 ИТМО работает в рамках новой модели развития — научно-образовательной корпорации. В ее основе академическая свобода, поддержка начинаний студентов и сотрудников, распределенная система управления, приверженность открытому коду, бизнес-подходы к организации работы. Образование в университете основано на выборе индивидуальной траектории для каждого студента.

ИТМО пять лет подряд — в сотне лучших в области Automation & Control (кибернетика) Шанхайского рейтинга. По версии SuperJob занимает первое место в Петербурге и второе в России по уровню зарплат выпускников в сфере IT. Университет в топе международных рейтингов среди российских вузов. Входит в топ-5 российских университетов по качеству приема на бюджетные места. Рекордсмен по поступлению олимпиадников в Петербурге. С 2019 года ИТМО самостоятельно присуждает ученые степени кандидата и доктора наук.

© Университет ИТМО, 2024

© Балканский А.А., Белимова П.А., Смолин А.А., 2024

Содержание

Введение.....	4
Раздел I. Общие представления о воплощенном образовании.....	6
Глава 1. Обзор международных теорий и методов воплощенного образования ..	6
1.1. Теоретические основы воплощенного образования.....	6
1.2. Стратегии и методы воплощенного обучения.....	8
Глава 2. Эмпирические исследования, подтверждающие эффективность воплощенного обучения.....	11
2.1. Воплощенное образование в языковом обучении.....	11
2.2. Воплощенное образование в естественных и точных науках	13
2.3. Мультимодальные сенсорные обучающие системы в воплощенном образовании	15
2.4. Воплощенное обучение в инклюзивном образовании	16
Вопросы к разделу	17
Раздел II. Пример реализации мультимодальных сенсорных систем в воплощенном образовании.....	18
Глава 3. Аппаратно-программный комплекс «Смарт Кубики» как метод реализации воплощенного обучения математике.....	18
3.1. Как «Смарт Кубики» интегрируются в систему воплощенного образования.....	18
3.2. Характеристики и функциональные возможности «Смарт Кубиков»	19
3.3. Обоснование цели и значимости использования «Смарт кубиков» в образовании	22
3.4. Применение «Смарт Кубиков» в инклюзивных образовательных средах	23
Вопросы к разделу	23
Заключение	23
Список рекомендованной литературы	25

Введение

Одной из важнейших проблем человеко-компьютерного взаимодействия является изучение рисков и преимуществ применения компьютерных технологий в образовании, а также анализ опыта пользовательского взаимодействия с данными технологиями. Современные образовательные методологии могут учитывать широкий спектр технологичных инструментов и методов, таких как виртуальная и дополненная реальность, искусственный интеллект, большие языковые модели и геймификация. Однако эффективность их использования в образовании является предметом дискуссий из-за обеспокоенности участников образовательного процесса о целесообразности и достаточности данных практик для полноценного освоения учебных материалов. В настоящий момент актуальным представляется разработка, тестирование и исследование эффективности новых образовательных аппаратно-программных комплексов и обучающих сред.

Многообещающим подходом в данной области является применение мультимодальных сенсорных систем, которые позволяют сочетать методы представления визуальной, аудиальной и тактильной обучающей информации с помощью компьютерных технологий. Мультимодальные сенсорные обучающие системы реализуют принципы педагогического подхода, определяемого как «воплощенное образование».

Воплощенное образование уделяет первостепенное внимание сенсорному опыту, движению, эмоциям и физическому контексту процесса обучения. Это помогает учащимся лучше понимать абстрактные концепции и решать сложные когнитивные задачи, опираясь на телесные ощущения.

Многочисленные экспериментальные исследования показывают положительное влияние практик воплощенного обучения. Задействование сенсорных систем, таких как слух, обоняние, осязание, а также использование тела и движения в процессе обучения может улучшить память, концентрацию и умственную активность учеников, способствуя лучшему запоминанию информации. Существуют свидетельства в пользу того, что двигательная активность, жестикуляция и манипуляции с объектами облегчают изучение математики и естественных наук. Кроме того, обращение к опыту тела и эмоций способствует воспитанию эмпатии, улучшению социальных навыков и навыков эмоционального интеллекта.

Обучение на основе методов воплощенного образования, в частности мультимодальных сенсорных обучающих систем, может быть особенно полезным для учеников с нарушениями развития, такими как функциональные ограничения, дислексия или аутизм.

Концепция воплощенного образования открывает новые горизонты перед теми, кто занимается вопросами современных технологичных образовательных методологий, а также перед дизайнерами пользовательских интерфейсов, разработчиками компьютерных игр и гейм-дизайнерами, разработчиками AR/VR сред. Она позволяет по-новому взглянуть на процессы создания цифровых образовательных инструментов и вдохновить на разработку методов обучения и познания с учетом телесного опыта человека. В учебно-методическом пособии представлен обзор теорий и практик воплощенного образования, описаны эмпирические исследования, подтверждающие эффективность данного подхода, а также даны обоснования применения и принципы работы мультимодальной сенсорной обучающей системы «Смарт Кубики».

Материалы учебно-методического пособия дополняют основные компетенции по проектированию человеко-компьютерных систем, удовлетворяющих современным эстетическим и техническим требованиям, на основе знаний и навыков, полученных при изучении основ живописи, дизайна и веб-проектирования, в рамках обучения по направлению 09.04.04 «Программная инженерия».

Пособие предназначено для формирования дополнительных компетенций, связанных с теорией и практикой «воплощенного образования», которые расширяют направленность подготовки учащихся магистратуры по разработке ПО обучающих компьютерных систем с учетом человеко-ориентированности и психологии восприятия. Рекомендуется использовать информацию, представленную в пособии, в качестве лекционного и демонстрационного материала, а также для выполнения практических работ по дисциплинам «Психология человеко-компьютерного взаимодействия» и «Проектирование доступных интерфейсов для пользователей с особыми потребностями».

Данное учебно-методическое пособие написано по результатам проекта «Разработка аппаратно-программного комплекса интеллектуальной игровой среды электронного обучения на основе интерактивных коммуникационных интернет-технологии с применением материальных пользовательских интерфейсов» при поддержке ФГБУ «Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере» (Фонд содействия инновациям) в

рамках реализации федерального проекта «Цифровые технологии» национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации» (Договор No 317ГРЦТС10-D5/80692 от 06.12.2022 года). Авторы выражают благодарность участникам данного проекта: Юрию Валерьевичу Дидевичу, Михаилу Сергеевичу Климовскому, Алене Федоровне Джумагуловой, Анне Владимировне Лавровой.

Раздел I. Общие представления о воплощенном образовании

Глава 1. Обзор международных теорий и методов воплощенного образования

1.1. Теоретические основы воплощенного образования

Воплощенное образование (англ. embodied learning) — относительно новое направление в педагогике, основанное на идее о том, что процессы обучения и познания неразрывно связаны с телом и окружающей средой. Согласно концепции воплощенного познания, мысли, чувства и действия человека обусловлены особенностями его тела и взаимодействия с миром. С точки зрения воплощенного подхода, познавательные процессы не ограничиваются мозгом или разумом, а распределены по всему телу через сенсорные и моторные системы. Таким образом, мышление и обучение происходят через телесный опыт взаимодействия со средой (Gustafson D. L., 1999).

Воплощенное образование основывается на идее, что обучение происходит не только через умственное восприятие, но и через физические ощущения и действия. Этот подход акцентирует внимание на том, как телесный опыт может влиять на когнитивные процессы.

Воплощенное образование опирается на различные теоретические основы, в том числе на теорию воплощенного познания. Теория воплощенного познания утверждает, что познание формируется под влиянием взаимодействия тела с окружающей средой (Wilson M., 2002). Эта точка зрения ставит под сомнение традиционный взгляд на познание как на чисто ментальный процесс и подчеркивает роль тела в формировании наших мыслей и опыта.

Важной теорией в парадигме воплощенного образования является энактивизм Франсиско Варелы (Varela F.J. и др., 1991). Энактивизм утверждает, что когнитивные структуры возникают из взаимодействия организма со средой. Познание — это воплощенный акт, который зависит от нашего конкретного

опыта. Согласно этой теории, познавательные процессы, такие как восприятие, память, мышление, тесно связаны с ощущениями и движениями тела. Мышление зависит от чувственного опыта и не может быть отделено от телесных взаимодействий с миром. Познание возникает из сенсомоторных координаций и практической активности, а не только из ментальных репрезентаций.

Другая ключевая теория в этой области — теория динамической установки Флойда Олпорта. Согласно Олпорту, движения тела и окружающая среда влияют на наше восприятие и понимание мира. Обучение происходит через изменение наших сенсомоторных схем при взаимодействии со средой (Асмолов А.Х., 2002).

Теория ситуативного обучения утверждает, что обучение неразрывно связано с физическим и социальным контекстом, в котором оно происходит. Знания приобретаются через активное участие в реальных жизненных ситуациях и практиках в определенных сообществах (Lave J., Wenger E., 1991).

Теория множественных интеллектов Говарда Гарднера фокусируется на том, что физический опыт является одним из ключевых аспектов обучения (Gardner H. E., 2011). Теория Гарднера, предложенная в 1983 году, объясняет успешность некоторых людей, которые получили низкие баллы по стандартным тестам интеллекта. В ней утверждается, что с точки зрения устройства интеллекта мозг — это не единое целое, а множество независимых «блоков», каждый из которых отвечает за разные навыки и умения. Так, автор выделил восемь типов интеллекта: музыкальный, вербальный, межличностный, логико-математический, внутриличностный, натуралистический, визуально-пространственный и телесно-кинестический. Визуально-пространственный отвечает за воображение и способность ориентироваться в пространстве. Телесно-кинестический влияет на осязание и координацию. Людям, у которых доминирует этот тип, по словам Гарднера, важна окружающая обстановка, тактильный контакт и перерывы, чтобы свободно подвигаться.

В последние годы появление подходов к образованию, основанных на теории воплощенного обучения, привело к появлению ряда исследований, изучающих реализацию этой теории в образовании (Kosmas P., Zaphiris P., 2018).

Чтобы лучше охарактеризовать и сравнить исследования, посвященные воплощенному обучению, ученые разработали таксономию, основанную на телесной вовлеченности и интеграции задач (Skulmowski A., Rey G.D., 2018). Основными измерениями этой таксономии являются телесная активность (т. е. степень задействования физической активности) и интеграция задач (т. е. связана ли телесная деятельность с учебной задачей значимым образом или нет).

Расположив исследования на этой сетке 2×2 и оценив соответствующие результаты обучения, исследователи могут определить возможности, проблемы и потенциальные области для дальнейших исследований методов воплощенного обучения (рис. 1).

Интеграция задач	Комплексная	<ul style="list-style-type: none"> • Физическая активность в контексте обучающей задачи; • Сидячие активности. 	<ul style="list-style-type: none"> • Физическая активность в контексте обучающей задачи; • Выполнение телесных движений и передвижение.
	Случайная	<ul style="list-style-type: none"> • Физические подсказки; • Сидячие активности. 	<ul style="list-style-type: none"> • Физические подсказки; • Выполнение телесных движений и передвижение.
		Низкая	Высокая
		Телесная вовлеченность	

Рисунок 1. Таксономии воплощенного образования¹.

1.2. Стратегии и методы воплощенного обучения

Воплощенное образование включает в себя широкий спектр методов и практик, направленных на интеграцию тела и окружающей среды в процесс обучения.

Кинестетический подход к образованию подчеркивает значимость активного участия учащихся, когда обучение происходит через движения тела. Здесь идет речь о важности взаимодействия с учеником, а также с инструментами обучения (Francesconi D., Tarozzi M., 2019). Кинестетическое обучение может

¹ Источник: Skulmowski A., Rey G. D. Embodied learning: introducing a taxonomy based on bodily engagement and task integration //Cognitive research: principles and implications. – 2018. – Т. 3. – №. 1. – С. 1-10.

способствовать развитию моторных навыков, улучшению концентрации и повышению мотивации учащихся (Kontra и др., 2015). Поскольку физическая активность усиливает когнитивные процессы, в частности память, внимание и мышление, такие практики, как жестикуляция, ролевые игры, имитация действий, помогают лучше понять и запомнить материал (Jensen E., 2005). Например, жесты активно привносят действие в ментальные репрезентации говорящего, и эти ментальные репрезентации затем влияют на поведение. Таким образом, жест может служить уникальным мостом между действием и абстрактным мышлением. (Goldin-Meadow и др., 2001).

Показано, что изучение предметов и явлений в естественных условиях, а не в классе, стимулирует интерес и вовлеченность. Это помогает лучше понять связи между знаниями и их применением на практике (Brown, J. S., Collins, A., & Duguid, P., 2000). Применение знаний для решения реальных проблем в жизни повышает мотивацию и глубину понимания изучаемого материала (Jonassen D.H., 1997).

Также существует ряд специфических методов воплощенного обучения, которые используют телесную вовлеченность.

Например, мнемонический метод заключается в использовании движений тела для запоминания и вспоминания информации. Мнемотехники могут помочь развить краткосрочную память и логику для оперирования большими объемами информации (Putnam A.L., 2015).

Метод сенсорной интеграции предполагает использование целенаправленных сенсорных стимулов для улучшения восприятия и когнитивных функций. Данный метод применяется при расстройствах аутистического спектра, СДВГ и др. (Smith M.C., 2019). Сенсорная интеграция — это индивидуальное вмешательство, предназначенное для решения конкретных основных сенсомоторных проблем, которые могут влиять на успеваемость детей в повседневной жизни и деятельности (Айрес Э.Дж., 2009). Вмешательство происходит в контексте игры, подчеркивая активное участие ребенка (Ayres A. J., Robbins J., 2005).

Метод воплощенных симуляций подразумевает использование технологий виртуальной реальности для создания симуляций, погружающих учащихся в реалистичный сенсомоторный опыт по изучаемой теме. Эффект присутствия при этом играет важную роль в обучении и оказывает положительный эффект на усвоение информации (Mikropoulos T.A, Natsis A., 2011).

Еще одним методом является мультисенсорное обучение. Вовлечение в образовательный процесс органов чувств — зрения, слуха, осязания, обоняния, вкуса — улучшает восприятие информации и помогает сформировать многогранные ассоциативные связи с изучаемым материалом (Shams L., Seitz A.R., 2008).

Таким образом, подход воплощенного образования опирается на тесную взаимосвязь познания, действия и опыта и использует различные активные методы обучения для стимуляции когнитивных процессов через работу органов чувств и телесные взаимодействия с миром. Примеры применения воплощенного обучения представлены в таблице 1.

Таблица 1. Примеры применения воплощенного обучения на практике.

Область знаний	Методологический подход
Естественные науки	<i>Использование моделей и физических экспериментов для объяснения научных концепций.</i>
Математика и инженерия	<i>Использование физических моделей и конструкций для демонстрации математических принципов и инженерных концепций.</i>
Языковое обучение	<i>Интеграция жестов и мимики в процесс изучения иностранных языков для улучшения понимания и запоминания.</i>

Внедрение воплощенного обучения в классе требует тщательного планирования и учета конкретных потребностей и способностей учащихся. Учителя могут использовать различные стратегии, чтобы внедрить подходы воплощенного обучения в свое преподавание, например, использовать физические упражнения, манипуляторы и сенсорные материалы, чтобы вовлечь учеников в процесс обучения. Кроме того, учителя могут использовать технологии для поддержки воплощенного обучения, такие как виртуальная реальность и инструменты дополненной реальности, которые позволяют учащимся взаимодействовать с цифровой средой физическим и сенсорным способом.

Глава 2. Эмпирические исследования, подтверждающие эффективность воплощенного обучения

Существуют доказательства связи различных результатов обучения в школе с моторными навыками, а также связанными с ними когнитивными процессами: координацией, исполнительными функциями (ИФ) и визуально-пространственными навыками (Cameron С.Е., 2016). За счет того, что двигательная активность и ощущения играют важную роль в развитии когнитивных функций, таких как восприятие, память и мышление, физическая активность с использованием крупной и мелкой моторики может привести к улучшению когнитивных функций и оказать положительное влияние на обучение (Tompaniari К. и др., 2015). При этом моторные навыки с акцентом на визуально-моторную интеграцию являются основополагающими для обучения и развиваются синергетическим образом (McClelland М.М., Cameron С.Е., 2019). В различных образовательных контекстах, включая изучение второго языка, пространственное мышление и математику, были проведены эмпирические исследования вмешательств на основе воплощенного образования.

2.1. Воплощенное образование в языковом обучении

Воплощенное обучение показало свою эффективность при изучении второго языка, поскольку оно помогает учащимся моделировать язык и ощущать его более конкретным образом. Первая попытка интегрировать тело в обучение второму языку была предпринята в рамках техники “Total Physical Response” (ТПР), разработанного Дж. Ашером в 1960-х годах (Asher J., 1969). В ТПР учитель давал команды на языке, который изучали учащиеся. Учащиеся слушали, понимали и выполняли команды. ТПР не требовал от учащихся говорить на раннем этапе. Это было сделано для того, чтобы снять нагрузку со стороны языкового производства. Изучение второго языка с помощью команд было призвано имитировать освоение родного языка. ТПР не уделял внимания синтаксису и использовал в основном повелительные глаголы, связанные со словарным запасом. Критики называли этот метод подходящим для ранних этапов освоения второго языка, в котором основной лексический корпус можно освоить посредством действий (Skulmowski A., Rey G.D., 2018). Несмотря на это, на протяжении десятилетий ТПР нашел свое применение на практике, поскольку был эффективен в обучении распознаванию слов (Asher J., 1977).

В то время как в ТПР связь обучения второму языку осуществлялась посредством действий, выполняемых по инструкциям учителя, в других подходах

для изучения языка используются жесты. Обратите внимание, что действие и жест связаны с языком, но они не равны (Cartmill E.A. др., 2012). Действия – это движения тела с собственной целью. Например, действие передвижения из А в Б можно обозначить как «идти» или «бежать» в зависимости от скорости выполнения. Два пальца, имитирующие движение ног вперед, сами по себе не имеют цели движения. Они не выполняют действия по перемещению от А к Б. Скорее, движущиеся пальцы представляют собой понятие, которое может быть глаголом «идти, бежать, прогуливаться», но также и существительным «прогулка, движение» и т. д. в этом случае пальцы выполняют жест, который относится к мысли. Жесты веками использовались при освоении языка. Например, Де Радонвилье в 1807 году описал методы преподавания латыни уроженцам Франции. Таким образом, репрезентативные жесты могут использоваться для пояснения понятий, когда ассоциация между вторым (изучаемым) и первым языком невозможна, а также во избежание объяснений на родном языке.

Помимо разъяснения семантики слов при изучении второго языка, жесты выполняют еще одну задачу: они помогают запоминать словарный запас лучше, чем просто читая или слушая его. Линда Куинн-Аллен провела первое эмпирическое исследование влияния жестов на запоминание слов (Allen L.Q., 1995). В ходе межпредметного исследования она научила 112 студентов-носителей английского языка французским выражениям. Треть группы учила выражения, читая их и ни разу не используя жесты. Вторая треть группы запоминала выражения, одновременно читая их и выполняя символические жесты. Третья подгруппа видела жесты только на этапе тестирования. Группа, которая обучалась с помощью символических жестов, показала лучшие результаты в запоминании слов. Что еще более интересно, эта группа забыла меньше слов, чем группа, которая обучалась без жестов.

Почему тело и жесты поддерживают память в краткосрочной и долгосрочной перспективе? В исследовании поведения с помощью функциональной магнитно-резонансной томографии (фМРТ) М. Македония и К. Мюллер позволили испытуемым слышать и читать слова, которые они выучили ранее с помощью жестов (Macedonia M., Mueller K., 2016). Этой стимуляции было достаточно, чтобы активировать несколько областей мозга, отвечающих за память, но наиболее поразительно — моторную кору, мозжечок и базальные ганглии, то есть структуры, участвующие в цепях процедурной памяти. Другими словами, тело не только представляет собой знание, но и является мощным инструментом дополнительного хранения знаний.

Показано, что подход воплощенного обучения в виде физических активностей может помочь учащимся улучшить произношение, словарный запас и грамматические навыки (Singh A. K., V H. N., 2021), а также способствовать пониманию при чтении текстов (Sadoski M., 2018). Другие исследования продемонстрировали преимущества интерактивных цифровых медиа в изучении языка (Jusslin S. и др., 2022).

2.2. Воплощенное образование в естественных и точных науках

Воплощенное обучение применяется для улучшения навыков пространственного мышления, которое играет значимую роль в освоении естественных наук, поскольку оно позволяет учащимся ощущать и моделировать пространственные отношения (Macedonia M., 2019). Так, эксперименты показали важность телесного вовлечения при изучении физики. Пониманию учащимися таких научных понятий, как крутящий и угловой момент, способствует активация сенсомоторных систем мозга. Данный механизм лежит в основе целостности понимания физических явлений и является предпосылкой к учебным практикам, в которых опыт взаимодействия с физическим миром является неотъемлемой частью обучения (Kontra C. и др., 2015).

Моторные навыки, требующие визуально-пространственной обработки, могут быть задействованы и в обучении математике (Cameron C.E. и др., 2015). Около двух десятилетий назад когнитивная наука начала систематически исследовать влияние жестов на усвоение математических понятий, наблюдая за жестами, которые спонтанно производятся учителями (Goldin-Meadows S. и др., 1999). Учителя были проинструктированы устно предлагать стратегии выполнения математических операций, выполняя жест, который либо совпадал (подкреплял сообщение), либо не совпадал (отличался от вербального сообщения). Как и предполагалось, дети значительно чаще усваивали предложенную учителем стратегию, если она сопровождалась соответствующим жестом, чем вообще без жеста. Исследователи связали эти результаты с возможным «вторым репрезентативным форматом», который может обеспечить жест. Другими словами, когда речь и жесты сочетаются друг с другом, математические концепции легче усваиваются из-за физической модальности, которая добавляется к общению.

В экспериментах В. Кролла и М. Ноэля с участием детей в возрасте от 5 до 9 лет была продемонстрирована связь между движениями пальцев рук и математическим счетом (Crollen V., Noël M. P., 2015). Учитывая, что в детстве

приобретение навыков счета тесно связано со счетом на пальцах, такие результаты не удивляют. В другом исследовании с помощью фМРТ взрослым представляли цифры от 1 до 9 только визуально, пока они без движений лежали в сканере. В зависимости от привычек участников считать на пальцах (начиная слева или справа), при предъявлении чисел наблюдалась гемодинамическая активность в контралатеральной моторной коре (Tschemtscher N. и др., 2012.). Эти нейробиологические данные подтверждают точку зрения о воплощенной природе математического знания.

М. Натан и С. Уокингтон разработали теорию обоснованного и воплощенного математического познания (англ. «grounded and embodied mathematical cognition»), которая предлагает действия и жесты в качестве инструментов для понимания свойств концепций, связанных с наукой, технологиями, инженерией и математикой (Nathan M. J., Walkington C., 2017). Они исследовали геометрические доказательства — область, в которой необходимо концептуальное понимание абстракции, а также математические процедуры. По данным исследователей, практика доказательства включает в себя обозначения, речь, жесты и применение математических концепций. В поведенческом исследовании 120 студентам бакалавриата было предложено придумать доказательства, размышляя вслух над двумя математическими задачами перед интерактивной доской. Перед началом доказательства участники выполняли либо релевантные, либо нерелевантные действия. Например, для задания, касающегося треугольника, соответствующим действием было прикосновение к цветным точкам на доске, расположенным симметрично, чтобы воплотить ключевую идею треугольника. Также в случайном порядке выполнялись нерелевантные действия, такие как постукивание по маленьким ромбикам на доске без какой-либо концептуальной связи. Релевантные действия оказали благотворное влияние на экспериментальную задачу: участники лучше справлялись с математическими выводами, если дополнительно использовали речь для описания доказательства (Nathan M. J. и др., 2014).

Методы воплощенного обучения помогают развивать исполнительные функции, которые являются элементом модели непрерывного сенсомоторного взаимодействия с окружающей средой (Koziol L. F., Budding D. E., Chidekel D., 2012). Они позволяют планировать текущие действия в соответствии с целью, изменять реакцию в зависимости от контекста, избирательно уделять внимание нужным стимулам. Исполнительные функции и их компоненты тесно и последовательно связаны с математическими навыками детей на протяжении

всего обучения в начальной школе (Purpura D.J., Schmitt S.A., Ganley C.M., 2017). Тормозной контроль и рабочая память помогают детям манипулировать и сравнивать количественные понятия, изучать новые понятия и тормозить неправильные ответы или процессы (Bull R., Espy K.A., & Wiebe S.A., 2008). Подобно тому, как исполнительные функции поддерживают процесс декодирования текста у детей и понимание у взрослых, они участвуют в изучении тех дидактических единиц, которые еще не автоматизированы. Исследования показывают, что развитые визуально-пространственные навыки трехлетних детей при выполнении задания на копирование модели в трех измерениях объясняют успеваемость по математике в возрасте 4 лет (Verdine B.N. и др., 2014).

2.3. Мультимодальные сенсорные обучающие системы в воплощенном образовании

Концептуальную основу воплощенного обучения с использованием технологий составляют три основных измерения: физическое, сенсорное и когнитивное. Вклад в эти измерения вносят восемь факторов: средства воплощения, количество двигательных движений, точка зрения, медиа-эффекты, тактильные эффекты, операционная конгруэнтность, конгруэнтность обучения и персонализация (Xu X., Kang J., Yan L., 2022). Мультимодальные сенсорные обучающие системы реализуют технологичный подход к воплощенному образованию и включают в себя различные инструменты, такие как технологии виртуальной реальности, контактные и бесконтактные сенсорные контроллеры, технологии отслеживания движений, адаптивные системы обучения.

Технологии виртуальной реальности (VR), дополненной реальности (AR) и смешанной реальности (MR) позволяют создавать иммерсивные среды, которые имитируют реальный мир, позволяя учащимся взаимодействовать с контентом в трехмерном пространстве. Например, виртуальные экскурсии и симуляции позволяют исследовать различные исторические периоды или научные концепции, создавая богатый и динамичный контекст для воплощенного обучения (Lindgren R., Johnson-Glenberg M., 2013).

Воплощенные среды обучения могут быть оснащены системами отслеживания движений или бесконтактными сенсорными игровыми контроллерами (например, Wii, Xbox Kinect или Leap Motion), которые позволяют улавливать движения учащихся, преобразуя их во взаимодействие с цифровым контентом. Эти среды обучения обычно включают в себя большие экраны, напольные проекции, 360-градусные носимые дисплеи (HMD), а также комнаты

виртуальной реальности или смешанной реальности (Georgiou Y., Ioannou A., 2019). Такой подход способствует физическому вовлечению, создавая динамичный и инклюзивный учебный опыт, который соответствует принципам воплощенного обучения.

Образовательные приложения и игры могут быть разработаны таким образом, чтобы предлагать индивидуальные пути обучения, адаптируясь к потребностям и прогрессу отдельных учеников. Адаптивные системы обучения используют алгоритмы для настройки образовательного контента на основе индивидуальной успеваемости учащихся, обеспечивая необходимый уровень сложности. Преподаватели могут использовать адаптивные системы для отслеживания прогресса учащихся и выявления областей, которые могут потребовать дополнительной поддержки или обогащения. Интерактивные технологии могут обеспечивать обратную связь в режиме реального времени, помогая учащимся понять свои результаты и прогресс в различных видах деятельности (Volta E., Volpe G., 2018).

2.4. Воплощенное обучение в инклюзивном образовании

Методы воплощенного обучения актуальны для детей с ограниченными возможностями, которые часто сталкиваются с уникальными проблемами в традиционной образовательной среде. В ряде исследований рассматривается потенциал воплощенного обучения в специальном образовании для детей с ограниченными возможностями, подчеркиваются его преимущества, применение и последствия для создания инклюзивной и эффективной среды обучения.

Для детей с ограниченными возможностями, которые могут сталкиваться с трудностями восприятия абстрактных и сложных идей, осязаемая природа воплощенного обучения может сделать образовательный контент более доступным. Воплощенное обучение привлекает внимание и интерес детей с нарушениями развития, способствуя повышению вовлеченности в процесс обучения (Jensen T.W., 2013). Мультисенсорный подход, используемый в парадигме воплощенного обучения, позволяет учащимся воспринимать материал с помощью осязания, зрения, звука и движения. Такая инклюзивность позволяет использовать различные стили обучения и учитывать предпочтения детей с ограничениями (Macrine S.L., 2020).

Было показано, что интерактивные игровые технологии на основе физической вовлеченности демонстрируют положительное влияние на навыки кратковременной памяти и эмоциональный уровень детей с особыми

образовательными потребностями (нарушения интеллекта, речи, эмоциональные расстройства, расстройства аутистического спектра) (Kosmas P., Ioannou A., Retalis S., 2018).

Кроме того, эмпирические исследования использования мультимодальных сенсорных обучающих систем на базе Kinect (бесконтактного сенсорного игрового контроллера) для улучшения двигательных способностей детей с трудностями обучения и двигательными нарушениями выявили улучшение психомоторных способностей и скорости психомоторных движений (Kosmas P., Ioannou A., Retalis S., 2017).

Многие дети с ограниченными возможностями сталкиваются с проблемами социального взаимодействия и общения. Воплощенное обучение часто предполагает совместную деятельность, способствуя развитию навыков работы в команде и общения. Это не только способствует академическому развитию, но и поддерживает социальный и эмоциональный рост учащихся (Trowsdale J., Nayhow R., 2015).

Таким образом, методы воплощенного обучения и мультимодальные сенсорные обучающие системы показали свою эффективность в различных образовательных контекстах. Такие когнитивные структуры, как координация, исполнительные функции и пространственное мышление, оказывают влияние как на общее развитие ребенка, так и на развитие навыков, необходимых для усвоения точных дисциплин. Поскольку исследования в этой области продолжают расти, важно учитывать таксономию и принципы проектирования, предложенные исследователями, чтобы обеспечить постоянное развитие и эффективность методов воплощенного обучения.

Вопросы к разделу

- 1. За счет чего мультимодальные сенсорные обучающие системы интегрируются в парадигму воплощённого образования?*
- 2. Перечислите 3-4 причины, по которым воплощенное образование особенно важно в современном мире.*
- 3. Какую позицию в таксономии воплощенного образования (Skultowski, Rey) можно определить для образовательной методологии, использующей VR/AR среду?*

4. *Каким образом подход воплощенного образования может быть полезен учащимся с нарушением слуха? Зрения? Физической подвижности? Приведите примеры того, как технологии могут способствовать методологическому решению данной задачи.*

Раздел II. Пример реализации мультимодальных сенсорных систем в воплощенном образовании

Глава 3. Аппаратно-программный комплекс «Смарт Кубики» как метод реализации воплощенного обучения математике

3.1. Как «Смарт Кубики» интегрируются в систему воплощенного образования

В данном разделе рассмотрен пример мультимодальной сенсорной системы, а именно аппаратно-программный комплекс «Смарт Кубики» совместно с игрой «Planets»², который реализует принципы воплощенного образования. «Смарт Кубики» — это игра, которая поможет ребенку закрепить навык математического счета. В отличие от обычных кубиков, которые используются для игры и обучения, «Смарт Кубики» подключаются к компьютеру, что позволяет ребенку вовлекаться в интерактивную игру, используя для управления привычный для него объект — кубик. Такой подход к игровому обучению позволяет ребенку весело и с интересом закрепить основы математического счета путем телесного вовлечения.

«Смарт Кубики» являются мультимодальной сенсорной обучающей системой и реализуют идею воплощенного образования за счет физического взаимодействия ребенка с материальными объектами (кубиками) в качестве инструмента управления игровым контентом на экране компьютера. Физические объекты воплощаются на мониторе, позволяя учащемуся погрузиться в предметную область путем минимизации разрыва между абстракцией и

² АПК «Смарт Кубики», включающий игру для изучения математики «Planets», разработаны в рамках проекта «Разработка аппаратно-программного комплекса интеллектуальной игровой среды электронного обучения на основе интерактивных коммуникационных интернет-технологии с применением материальных пользовательских интерфейсов» при поддержке ФГБУ «Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере» (Фонд содействия инновациям) в рамках реализации федерального проекта «Цифровые технологии» национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации» (Договор № 317ГРЦТС10-D5/80692 от 06.12.2022 года).

физическим миром. Тем самым ребенку предоставляется возможность усвоить дидактические единицы, связанные с числами, через телесную вовлеченность и интерактивную игру. Движение помогает связывать информацию с конкретными действиями и ощущениями, что способствует закреплению изучаемого материала.

Помимо закрепления навыков математического счета, в процессе взаимодействия со «Смарт Кубиками» задействуется крупная и мелкая моторика, а также развивается визуально-пространственное мышление при участии исполнительных функций. Способ взаимодействия с абстрактным игровым содержанием путем манипулирования физическими объектами является неординарным подходом к учебно-игровому процессу. Так, при использовании «Смарт Кубиков», дети научаются соотносить модель и ее динамичное физическое воплощение посредством усвоения пространственных закономерностей.

Игра «Смарт Кубики» интегрируются в систему воплощенного образования также за счет того, что ее физические и абстрактные модели подчиняются закономерностям естественного мира. Например, такие механики взаимодействия, как собирание чисел в «стакан», смешивание чисел в нем для получения результата математической операции, а затем «выливание» получившегося числа, как если бы оно было жидкостью, соотносят абстрактные вычисления с естественным и прикладным смыслом. Данная симуляция позволяет ребенку вовлечься в учебный процесс, используя знакомые действия и понятные представления.

Для детей младшего возраста область пространственного мышления является важной областью изучения математики. К сожалению, геометрия и пространственное мышление часто игнорируются или сводятся к минимуму в раннем образовании. «Смарт Кубики» позволяют тренировать визуально-пространственные навыки и развивать навык математического счета в игровом контексте с учетом сложности заданий (сложение и умножение однозначных и двузначных чисел), что делает данную методику полезной как для младших школьников, так и для более старших классов.

3.2. Характеристики и функциональные возможности «Смарт Кубиков»

«Смарт Кубики» представляют собой набор из шести кубиков, которые подключаются к персональному компьютеру. Таким образом, кубики являются инструментом управления игровым контентом на мониторе компьютера.

Особенностью «Смарт Кубиков» является отсутствие проводов: это дает возможность свободно и естественно манипулировать кубиками в игровом процессе (рис. 2).



Рисунок 2. Физические манипуляторы «Смарт Кубики» (слева) и кейс для их хранения и зарядки (справа).

Игра «Planets», разработанная специально для управления с помощью «Смарт Кубиков», предлагает игрокам закрепление навыка сложения однозначных и двузначных чисел. Игра представляет собой иммерсионную среду, в которой воплощенные объекты («планета» и «стакан») управляются двумя интерактивными кубиками: «планета» — левым кубиком, «стакан» — правым (рис. 3).

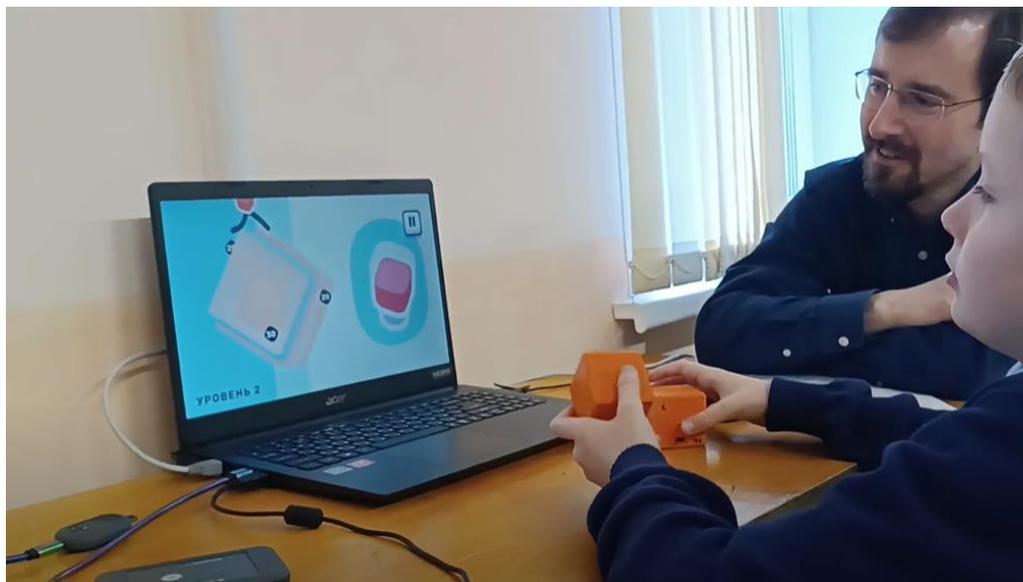


Рисунок 3. Процесс игрового взаимодействия с компьютерной игрой «Planets»: управление игрой с помощью «Смарт Кубиков».

Игроку предлагается вращать «планету» для того, чтобы персонаж мог собирать числа, расположенные на ней. В процессе собирания чисел игрок может столкнуться с относительными трудностями, так как числа, которые необходимо собрать, часто оказываются расположены близко друг к другу. Именно это является предпосылкой включения мелкой моторики и развития визуально-пространственных навыков.

Собранные игроком числа должны складываться в определенную сумму, обозначенную на «планете» как цель. Как только игрок собрал необходимые числа, в процесс взаимодействия вступает правый кубик — «стакан». Игрок должен встряхнуть стакан, чтобы числа внутри него смешались (т. е. сложились) и в результате получилось число, идентичное целевому. Данная механика смешивания представляет собой интуитивное и привязанное к материальному миру действие, что соответствует принципам воплощенного обучения.

Теперь персонаж на планете держит нужное число, которое нужно отнести и «вылить» в цель, таким образом закрепив правильный ответ. Механика «выливания» выполняется также с помощью правого кубика — «стакана».

Переключение между кубиками и их механиками взаимодействия во время игры служит почвой для развития исполнительных функций ребенка за счет активации и торможения психомоторных процессов.

В процессе прохождения уровней игроку предлагается собирать различные целевые числа, которые состояются из различных числовых комбинации. Комбинации и целевые числа усложняются в процессе игры с каждым новым уровнем.

Комплектация аппаратной части комплекса включает в себя:

- 6 интерактивных кубиков;
- точку доступа для передачи данных от кубиков к компьютеру;
- шнур питания для точки доступа;
- сетевой провод для подключения точки доступа к компьютеру;
- 6 шнуров питания для зарядки интерактивных кубиков.

ПО комплекса состоит из двух частей:

- приложение-бридж для передачи данных от кубиков в игру, а также для обработки данных, полученных из игры;
- математическая игра «Planets».

3.3. Обоснование цели и значимости использования «Смарт Кубиков» в образовании

Математический счет является базовым навыком, который стоит в основе бытовых ситуаций, а также является фундаментом для более глубокого математического обучения. Навык быстрого выполнения математических операций (сложения, вычитания, умножения, деления) является обязательным для среднего и старшего школьного образования. «Смарт кубики» предлагают метод, который развивает навыки счета, начиная с дошкольного и младшего школьного возраста.

Процессы обучения и познания неразрывно связаны с телом и окружающей средой. «Смарт Кубики» реализуют принципы воплощенного образования, которое уделяет первостепенное внимание сенсорному опыту, движению, эмоциям и физическому контексту процесса обучения. Это помогает учащемуся лучше понимать абстрактные математические концепции и решать задачи, опираясь на телесные ощущения. Кроме того, в процессе воплощенного взаимодействия развиваются визуально-пространственные навыки и исполнительные функции, которые играют основополагающую роль в дальнейшем обучении ребенка естественным и точным наукам.

3.4. Применение «Смарт Кубиков» в инклюзивных образовательных средах

Методы воплощенного обучения, такие как «Смарт Кубики», актуальны для детей с различными возможностями, в том числе с ограниченными возможностями здоровья (нарушениями интеллекта, речи, слуха, опорно-двигательного аппарата, эмоциональными расстройствами, расстройствами аутистического спектра). Мультисенсорный подход, используемый в «Смарт Кубиках», позволяет учащимся воспринимать материал с помощью осязания, зрения и движения, что оказывает положительное влияние на навыки кратковременной памяти и эмоциональное состояние. Воплощенное обучение привлекает внимание и интерес детей с нарушениями развития, способствуя повышению вовлеченности в процесс обучения, а также улучшению психомоторных способностей и скорости психомоторных движений.

Вопросы к разделу

- 1. Каким образом можно задействовать игровую механику «Смарт Кубиков» для обучения другим математическим операциям?*
- 2. Каким образом можно задействовать игровую механику «Смарт Кубиков» для обучения другим дисциплинам?*
- 3. Каким группам пользователей с ограниченными возможностями здоровья может быть полезна мультимодальная сенсорная система вроде «Смарт Кубиков»?*
- 4. Подумайте над собственной идеей разработки мультимодальной сенсорной обучающей системы. В процессе ответьте на вопросы: на изучение какой области будет направлена система? Является ли система обучающей, либо подкрепляющей изучение предмета? Как система может быть полезна людям с нарушением зрения/слуха/подвижности?*

Заключение

Подход воплощенного обучения основан на идее о том, что познание неотделимо от телесного опыта: люди учатся не только с помощью абстрактных понятий и вербальных инструкций, но и благодаря физическому взаимодействию с окружающим миром. Включая в процесс обучения движение, сенсорный опыт и

практические занятия, воплощенное обучение стремится создать целостный и инклюзивный образовательный опыт.

Подход к учебному процессу на основе воплощенного обучения помогает улучшить понимание и запоминание материала, повысить учебную мотивацию, развить моторику и пространственные навыки учащихся. Методы и стратегии воплощенного обучения предлагают разнообразные способы для активизации учебного процесса и могут быть эффективно интегрированы в различные образовательные контексты.

В настоящее время такие технологии, как мультимодальные сенсорные обучающие системы, играют важную роль в расширении опыта обучения, предоставляя инструменты и платформы, которые способствуют интерактивным, увлекательным и персонализированным образовательным мероприятиям. Виртуальная реальность, дополненная реальность, интерактивные приложения и другие цифровые инструменты могут обеспечить индивидуальный опыт обучения, предлагая безопасную и контролируемую среду для обучения и развития навыков.

Воплощенное обучение позволяет адаптировать материалы учебной программы для удовлетворения специфических потребностей детей с различными возможностями. Преподаватели могут разрабатывать мероприятия, учитывающие индивидуальные стили обучения, обеспечивая активное участие каждого ученика в учебном процессе. Включение физической активности, практических занятий и сенсорных ощущений в учебную программу, способствует удовлетворению различных образовательных потребностей учащихся. Сотрудничество между учителями и специалистами, такими как эрготерапевты, физиотерапевты и специальные педагоги, может дать ценные знания о том, как адаптировать занятия для учащихся с ограниченными возможностями.

Интеграция мультимодальных сенсорных обучающих систем, таких как «Смарт Кубики», в образовательный процесс позволяет дополнить и обогатить школьное образование путем развития физической и когнитивной сфер учащихся, которые играют основополагающую роль в усвоении знаний и навыков. Мультисенсорный подход и интерактивный игровой процесс способствуют эмоциональному вовлечению и подкрепляют интерес учащихся к обучению.

Воплощенное обучение открывает огромные перспективы для революции в образовании. Признавая неразрывную связь между телом и разумом, педагоги совместно с разработчиками ПО и исследователями человеко-компьютерного

взаимодействия могут создать инклюзивную и динамичную среду обучения, которая будет отвечать разнообразным потребностям каждого ученика. Продолжая изучать и использовать потенциал телесного обучения, мы делаем значительный шаг на пути к созданию более справедливой и доступной системы образования для всех.

Список рекомендованной литературы

1. Айрес, Э. Дж. Ребенок и сенсорная интеграция. Понимание скрытых проблем развития / Э. Дж. Айрес; [пер. с англ. Юлии Даре]. - М.: Теревинф, 2009. - 272 с. ISBN 978-5-901599-90-7
2. Асмолов А.Х. По ту сторону сознания. Методологические проблемы неклассической психологии. - М.: «Смысл», 2002, 480 с.
3. Allen L. Q. The effects of emblematic gestures on the development and access of mental representations of French expressions //The Modern Language Journal. – 1995. – Т. 79. – №. 4. – С. 521-529.
4. Asher J. J. Learning another language through actions // Sky Oaks Productions, 5th ed. – 1993.
5. Asher J. J. The total physical response technique of learning //The Journal of Special Education. – 1969. – Т. 3. – №. 3. – С. 253-262.
6. Ayres A. J., Robbins J. Sensory integration and the child: Understanding hidden sensory challenges. – Western psychological services, 2005.
7. Brown J., Collins A., Duguid P. Situated Cognition and the Culture of Learning //Psychology of Education: Major Themes: Pupils and Learning. – 2000. – Т. 2. – С. 207-230.
8. Bull R., Espy K. A., Wiebe S. A. Short-term memory, working memory, and executive functioning in preschoolers: Longitudinal predictors of mathematical achievement at age 7 years //Developmental neuropsychology. – 2008. – Т. 33. – №. 3. – С. 205-228.

9. Cameron C. E. и др. Visuomotor integration and inhibitory control compensate for each other in school readiness // *Developmental Psychology*. 2015. Т. 51. С. 1529–1543.
10. Cameron C. E. et al. How are motor skills linked to children's school performance and academic achievement? // *Child Development Perspectives*. – 2016. – Т. 10. – №. 2. – С. 93-98.
11. Cartmill E. A., Beilock S., Goldin-Meadow S. A word in the hand: action, gesture and mental representation in humans and non-human primates // *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. – 2012. – Т. 367. – №. 1585. – С. 129-143.
12. Crollen V., Noël M. P. The role of fingers in the development of counting and arithmetic skills // *Acta Psychologica*. – 2015. – Т. 156. – С. 37-44.
13. Francesconi D., Tarozzi M. Embodied education and education of the body: The phenomenological perspective // *Leib–Leiblichkeit–Embodiment: Pädagogische Perspektiven auf eine Phänomenologie des Leibes*. – 2019. – С. 229-247.
14. Gardner H. E. *Frames of mind: The theory of multiple intelligences*. – Basic books, 2011.
15. Georgiou Y., Ioannou A. Embodied learning in a digital world: A systematic review of empirical research in K-12 education // *Learning in a digital world: Perspective on interactive technologies for formal and informal education*. – 2019. – С. 155-177.
16. Goldin-Meadow S., Beilock S. L. Action's influence on thought: The case of gesture // *Perspectives on psychological science*. – 2010. – Т. 5. – №. 6. – С. 664-674.
17. Goldin-Meadow S., Kim S., Singer M. What the teacher's hands tell the student's mind about math // *Journal of educational psychology*. – 1999. – Т. 91. – №. 4. – С. 720.
18. Gustafson D. L. *EMBODIED LEARNING* // *Meeting the challenge: Innovative feminist pedagogies in action*. – Psychology Press, 1999. – С. 249.
19. Jensen E. *Teaching with the brain in mind*. – ASCD, 2005.
20. Jensen T. W. Embodied emotional communication in learning activities involving children with intellectual disabilities // *Journal of Interactional Research in Communication Disorders*. – 2013. – Т. 4. – №. 2. – С. 185-210.

21. Jonassen D. H. Instructional design models for well-structured and III-structured problem-solving learning outcomes //Educational technology research and development. – 1997. – T. 45. – №. 1. – C. 65-94.
22. Jusslin S. et al. Embodied learning and teaching approaches in language education: A mixed studies review //Educational Research Review. – 2022. – C. 100480
23. Kontra C. et al. Physical experience enhances science learning //Psychological science. – 2015. – T. 26. – №. 6. – C. 737-749.
24. Kosmas P., Zaphiris P. Embodied cognition and its implications in education: An overview of recent literature //International Journal of Educational and Pedagogical Sciences. – 2018. – T. 12. – №. 7. – C. 970-976.
25. Kosmas P., Ioannou A., Retalis S. Moving bodies to moving minds: A study of the use of motion-based games in special education //TechTrends. – 2018. – T. 62. – C. 594-601.
26. Kosmas P., Ioannou A., Retalis S. Using embodied learning technology to advance motor performance of children with special educational needs and motor impairments //Data Driven Approaches in Digital Education: 12th European Conference on Technology Enhanced Learning, EC-TEL 2017, Tallinn, Estonia, September 12–15, 2017, Proceedings 12. – Springer International Publishing, 2017. – C. 111-124.
27. Koziol L. F., Budding D. E., Chidekel D. From movement to thought: executive function, embodied cognition, and the cerebellum //The Cerebellum. – 2012. – T. 11. – №. 2. – C. 505-525.
28. Lave J., Wenger E. Situated learning: Legitimate peripheral participation. – Cambridge university press, 1991.
29. Lindgren R., Johnson-Glenberg M. Emboldened by embodiment: Six precepts for research on embodied learning and mixed reality //Educational researcher. – 2013. – T. 42. – №. 8. – C. 445-452.
30. Macedonia M. Embodied learning: Why at school the mind needs the body //Frontiers in psychology. – 2019. – T. 10. – C. 2098.

31. Macedonia M., Mueller K. Exploring the neural representation of novel words learned through enactment in a word recognition task //Frontiers in psychology. – 2016. – T. 7. – C. 953.
32. Macrine S. L., Fugate J. M. B. Embodied cognition //Oxford Research Encyclopedia of Education. – 2020.
33. McClelland M. M., Cameron C. E. Developing together: The role of executive function and motor skills in children’s early academic lives // Early Childhood Research Quarterly. 2019. T. 46. C. 142–151.
34. Mikropoulos T. A., Natsis A. Educational virtual environments: A ten-year review of empirical research (1999–2009) //Computers & education. – 2011. – T. 56. – №. 3. – C. 769-780.
35. Nathan M. J. et al. Actions speak louder with words: The roles of action and pedagogical language for grounding mathematical proof //Learning and Instruction. – 2014. – T. 33. – C. 182-193.
36. Nathan M. J., Walkington C. Grounded and embodied mathematical cognition: Promoting mathematical insight and proof using action and language //Cognitive research: principles and implications. – 2017. – T. 2. – C. 1-20.
37. Purpura D. J., Schmitt S. A., Ganley C. M. Foundations of mathematics and literacy: The role of executive functioning components //Journal of experimental child psychology. – 2017. – T. 153. – C. 15-34.
38. Putnam A. L. Mnemonics in education: Current research and applications //Translational Issues in Psychological Science. – 2015. – T. 1. – №. 2. – C. 130.
39. Sadoski M. Reading comprehension is embodied: Theoretical and practical considerations //Educational Psychology Review. – 2018. – T. 30. – C. 331-349
40. Shams L., Seitz A. R. Benefits of multisensory learning //Trends in cognitive sciences. – 2008. – T. 12. – №. 11. – C. 411-417.
41. Singh A. K., V H. N. Embodied education: A pathway towards more integrated learning //Contemporary Education Dialogue. – 2021. – T. 18. – №. 2. – C. 202-225.
42. Skulmowski A., Rey G. D. Embodied learning: introducing a taxonomy based on bodily engagement and task integration //Cognitive research: principles and implications. – 2018. – T. 3. – №. 1. – C. 1-10.

43. Smith M. C. Sensory integration: Theory and practice. – FA Davis, 2019.
44. Toumpaniari K. и др. Preschool Children’s Foreign Language Vocabulary Learning by Embodying Words Through Physical Activity and Gesturing // Educ Psychol Rev. 2015. Т. 27. № 3. С. 445–456.
45. Trowsdale J., Hayhow R. Psycho-physical theatre practice as embodied learning for young people with learning disabilities //International Journal of Inclusive Education. – 2015. – Т. 19. – №. 10. – С. 1022-1036.
46. Tschentscher N. et al. You can count on the motor cortex: finger counting habits modulate motor cortex activation evoked by numbers //Neuroimage. – 2012. – Т. 59. – №. 4. – С. 3139-3148.
47. Varela F. J. et al. The embodied mind //(No Title). – 2017.
48. Verdine B. N. и др. Contributions of executive function and spatial skills to preschool mathematics achievement // J Exp Child Psychol. 2014. Т. 126. С. 37–51.
49. Volta E., Volpe G. Exploiting multimodal integration in adaptive interactive systems and game-based learning interfaces //Proceedings of the 5th International Conference on Movement and Computing. – 2018. – С. 1-4.
50. Wilson M. Six views of embodied cognition //Psychonomic bulletin & review. – 2002. – Т. 9. – С. 625-636.
51. Xu X., Kang J., Yan L. Understanding embodied immersion in technology-enabled embodied learning environments //Journal of Computer Assisted Learning. – 2022. – Т. 38. – №. 1. – С. 103-119.

Белимова Полина Андреевна
Балканский Андрей Александрович
Смолин Артем Александрович

**ПРИНЦИПЫ ВОПЛОЩЕННОГО ОБРАЗОВАНИЯ:
СОЗДАНИЕ МУЛЬТИМОДАЛЬНЫХ СЕНСОРНЫХ
ОБУЧАЮЩИХ КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМ**

Учебно-методическое пособие

В авторской редакции

Редакционно-издательский отдел Университета ИТМО

Зав. РИО

Н.Ф. Гусарова

Подписано к печати

Заказ №

Тираж
Отпечатано на ризографе

Редакционно-издательский отдел
Университета ИТМО
197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49, литер А