

ВИРТУАЛЬНЫЙ ТЬЮТОР НА ОСНОВЕ ИНТЕГРАЦИИ БОЛЬШОЙ ЯЗЫКОВОЙ МОДЕЛИ С КОГНИТИВНОЙ АРХИТЕКТУРОЙ

А.А. Долгих (*tolick.dolgi2013@yandex.ru*)
Д.Л. Хабаров (*vip.dima020210@mail.ru*)
А.В. Самсонович (*avsamsonovich@mephi.ru*)

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,
Москва

Биологически инспирированные когнитивные архитектуры (BICA) способны выполнять сложные когнитивные функции на уровне человека. Но для эффективного взаимодействия с социальным окружением им необходим языковой интерфейс, поддерживающий обработку как основного смысла изречений, так и их коннотаций, которые используются, например, в архитектуре eBICA. Большие языковые модели (LLM) могут эффективно выполнять роль связующего звена между внутренними представлениями eBICA и коннотациями речевых актов. Отсюда следует идея нейросимвольной интеграции нового типа. Для оценки работоспособности концепции нами был реализован прототип Виртуального Тьютора, обучающий студентов написанию эссе. Он объединяет когнитивный модуль eBICA, реализующий принципы саморегулируемого обучения через моральные схемы, и интерфейсный модуль на базе LLM GPT-4o, предоставляемый OpenAI. Эксперимент с 48 студентами показал значительное и устойчивое улучшение качества эссе, оцененное по 16 критериям. Ожидается, что подход будет эффективен и в других областях образования: математика, программирование, иностранные языки, и более широко – в интерактивных приложениях, требующих тонкого понимания аспектов социального взаимодействия.

Ключевые слова: интеллектуальные обучающие системы, человек-машинное взаимодействие, когнитивные архитектуры, большие языковые модели, многомодальный интерфейс, виртуальные интеллектуальные агенты, модели социальных взаимодействий.

Введение

Сегодня все большее внимание уделяется поиску форм интеграции когнитивного (символьного) и статистического нейросетевого подходов в искусственном интеллекте. В частности, интерес вызывает интеграция биологически инспирированных когнитивных архитектур (BICA) и больших языковых моделей (LLM). В настоящей работе исследуется одна возможность такой интеграции, при которой для LLM отводится роль «переводчика» между естественным языком и языком внутренних представлений когнитивной архитектуры eBICA [Samsonovich, 2013, 2020]. Последняя выбрана благодаря использованию в ней моральных схем, определенных в терминах **интенсий**: то есть, коннотационных характеристик речевых актов (не путать с интенцией, то есть намерением). Это качество отличает eBICA от других BICA и ставит новую задачу перед LLM: распознавание и выражение интенсий в речевых актах. Нами было ранее установлено [Nguyen et al., 2025], что современные LLM, такие как DistilBERT и GPT, способны эффективно решать данную задачу. Основной исследовательский вопрос данной работы – это вопрос о работоспособности BICA-LLM интеграции данного типа в решении практической задачи, в качестве которой выбрана задача обучения студента на основе теории саморегулируемого обучения (Self-Regulated Learning, SRL) [Zimmerman et al., 2005], воплощенной в моральных схемах eBICA. Целью не есть достижение современного уровня эффективности интеллектуальных обучающих систем (Intelligent Tutoring Systems, ITS).

Разработка ITS в последнее время стала одной из наиболее быстро развивающихся областей применения как BICA, так и LLM (ограничиваясь инжинирингом исходных промптов) [Chowdhury et al., 2024], [Scarlatos et al., 2025]. Исследуются возможности моделирования человекоподобного обучающего поведения у виртуальных агентов [García-Méndez et al., 2024], [Niu et al., 2024], [Sarker, 2022], [Schmucker et al., 2024]. Ключевая задача здесь – в создании систем, которые эффективно владеют педагогическими стратегиями. При этом важна способность таких систем распознавать и выражать эмоции, прежде всего вербально. Классические когнитивные архитектуры, такие как ACT-R [Anderson et al., 2004] или Soar, не обладают языковыми возможностями, необходимыми для ведения естественного диалога. В то же время большие языковые модели (LLM), такие как GPT-3, LLama и GPT-4, способны к пониманию и генерации произвольного человекоподобного текста, но испытывают трудности с поддержанием структурированного, целенаправленного рассуждения на протяжении длительного времени [Dong, 2023].

Современные подходы к интеграции LLM с когнитивными архитектурами стремятся использовать сильные стороны обеих технологий. Тем не менее, гибридные системы сталкиваются с рядом сложностей. Во-первых,

согласование выходных данных LLM с когнитивно-обоснованным поведением нетривиально: модель может выдавать грамматически правильные, но с точки зрения логики – неподходящие ответы. Во-вторых, координация в реальном времени между вероятностной природой LLM и логикой, основанной на правилах когнитивных моделей, порождает как технические, так и концептуальные трудности [Crompton et al., 2023], [Steinert et al., 2024].

Для преодоления этих ограничений в развиваемом здесь подходе когнитивной архитектуре отводится роль контроллера, который направляет и ограничивает поведение LLM. Это можно представить как рациональное управление «красноречивым говорящим»: когнитивная архитектура отслеживает и направляет диалог, генерируемый LLM, обеспечивая педагогически обоснованное взаимодействие со студентом.

В рамках настоящего исследования мы реализуем предложенный подход, разработав модульную систему, направленную на развитие навыков написания эссе. В данной системе GPT-4o выполняет функции разговорного «движка», в то время как когнитивная архитектура eBICA, воплощающая механизмы SRL, отвечает за рассуждение, извлечение информации из памяти и принятие педагогически обоснованных решений.

В отличие от классических ITS с жесткими правилами, современные подходы обеспечивают динамичную и глубоко персонализированную адаптацию. Примерами таких систем может служить Carnegie Learning Systems (включая MATHia) [Ritter et al., 2016], TECH8 [Dolenc et al., 2015] и SCOPE-IT [Nye et al., 2018]. Предлагаемая система на основе когнитивной архитектуры eBICA и GPT-4o расширяет возможности ITS за счет синтеза когнитивно-эмоционального моделирования и передовых языковых технологий.

Данная работа исследует следующий вопрос: может ли система, основанная на указанном типе интеграции когнитивной архитектуры eBICA и GPT-4o, способствовать улучшению навыков написания эссе?

Представленные результаты демонстрируют положительный эффект. Согласно оценке по 16 критериям, экспериментальные данные указывают на значительное улучшение навыков написания эссе у студентов, взаимодействующих с системой, сохраняющееся в последующих сессиях.

1. Материалы и методы

1.1. Когнитивная архитектура eBICA

Отличительной особенностью данной когнитивной архитектуры является использование моральных схем. Понятие моральной схемы [Samsonovich, 2013], [Samsonovich, 2018], [Samsonovich, 2020] моделирует высший уровень социально-эмоционального рассуждения у когнитивных агентов. Моральная схема представляет собой структурированное пред-

ставление аффективных отношений, охватывающее нормативные состояния и эмоциональные реакции в социальных контекстах (например, доверие, предательство, сожаление). Отклонения от нормативного состояния инициируют когнитивную или поведенческую коррекцию.

Каждая схема включает три компонента: Интерфейс, Фабула и Агентность. Формальная структура выглядит следующим образом:

- **Простая схема:** *Интерфейс* = <Акторы, Домен, Ограничения>, *Фабула* = <Перспектива, Условия>, *Агентность* = <Перспектива, Цель, Средства, Настроение>.
- **Сложная схема:** *Интерфейс* = <Символы, Домен, Условия>, *Фабула* = <Перспективы, Связи, План>, *Агентность* = <Перспектива*, Цель, Средства, Настроение>.

В нарративных терминах фабула задает граф временно- или причинно-связанных перспектив. В то время как простые схемы предполагают наличие единой перспективы (единой точки зрения), сложные схемы поддерживают множественные перспективы агентов, разветвленные сюжетные линии и противоречивые цели.

Эмоциональные оценки агента в рамках схемы кодируются в семантическом пространстве в виде вектора $X_n = (x_1, \dots, x_n, y_1, \dots, y_n)$, где обозначает положительное намерение, а — его антоним.

Архитектура eBICA выделяется тем, что в отличие от классических когнитивных архитектур, которые заточены на моделирование мыслительного процесса, фокусируется на коннотационных социально-эмоциональных аспектах взаимодействия, что позволяет повысить когнитивный уровень взаимодействия с обучаемым.

1.2. Саморегулируемое обучение (SRL)

SRL представляет собой циклический процесс, включающий три основные фазы: (1) предварительное планирование (forethought), (2) выполнение задания (performance), и (3) самоанализ (self-reflection) [Panadero, 2017], [Zimmerman et al., 2005].

Первая фаза охватывает подготовительные действия, предшествующие учебной задаче. К ним относятся постановка целей, стратегическое планирование и анализ задачи. Во второй фазе учащиеся применяют запланированные стратегии, одновременно осуществляя контроль и наблюдение за собственными действиями. В этой фазе может осуществляться контроль времени выполнения, а также организацию учебной среды. Третья фаза включает анализ результатов, эффективности примененных стратегий, а также принятие решений о будущих действиях.

Подобные практики позволяют учащимся вносить осознанные корректировки в свои подходы, способствуя непрерывному улучшению в последующих учебных заданиях.

1.3. Эксперимент

1.3.1 Участники эксперимента. Ими были 48 студентов бакалавриата Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», обучающихся по программе «Программная инженерия». В пул испытуемых вошли 7 женщин и 41 мужчина. Все участники являются носителями русского языка в возрасте от 21 до 28 лет. Студенты-участники были набраны из трех учебных групп четвертого курса обучения на Кафедре кибернетики. Участники не имели предыдущего опыта участия в подобных экспериментах с использованием тьюторов или написанием эссе. Все участники предоставили согласие на участие в эксперименте, обработку результатов и их последующее использование.

1.3.2. Организация эксперимента. Эксперимент проводился в аудиториях университета под наблюдением преподавателей. Студенты использовали свои личные ноутбуки, подключенные к университетской Wi-Fi сети, и могли пользоваться только текстовым редактором и браузером, в котором по предоставленной ссылке открывался диалог с тьютором, развернутым на удаленном сервере (Debian 12 Bookworm, 3.3 ГГц, 2 Гб). Использование других приложений, интернет-ресурсов, а также взаимодействие с другими участниками было строго запрещено.

1.3.3. Процедура эксперимента. Участники были случайным образом разделены на четыре равные по величине экспериментальные группы, каждая из которых получила свою уникальную конфигурацию задания, причем условия проведения эксперимента, подлежащие сравнению, были сбалансированы. Каждый студент написал два эссе на следующие темы: Тема 1, «Роль open-source проектов в развитии программных экосистем», и Тема 2, «Важность документирования кода и проектов». Каждое эссе писалось в одном из двух условий: с использованием Виртуального Тьютора или самостоятельно. Порядок выбора тем эссе и использования Виртуального Тьютора четырьмя группами показан в табл. 1.

Таблица 1

Группа	Задание	Тема эссе	Тьютор
1	1	Тема 1	С тьютором
	2	Тема 2	Без тьютора
2	1	Тема 1	Без тьютора
	2	Тема 2	С тьютором
3	1	Тема 2	С тьютором
	2	Тема 1	Без тьютора
4	1	Тема 2	Без тьютора
	2	Тема 1	С тьютором

1.4. Детали взаимодействия модулей системы

Реализованная система состоит из четырех модулей (рис. 1). **Модуль визуализации** обеспечивает отображение интерактивной, учебной среды с помощью специально разработанного веб-приложения, созданного на базе стандартных веб-технологий (HTML, CSS, JavaScript). **Модуль взаимодействия** координирует обмен данными между основными компонентами системы и внешними источниками посредством RESTful API. **Модуль генерации** выполняет две ключевые функции: формирование текстовых ответов, соответствующих контексту, и выполнение вычислительных задач в рамках когнитивной модели. **Модуль рассуждений**, реализованный в виде автономного Python-приложения на выделенном сервере, выступает ядром тьютора, объединяя архитектуру eBICA и механизмы саморегулируемого обучения (SRL).

Взаимодействие между студентом и виртуальным тьютором структурировано вокруг фабулы сложной моральной схемы eBICA, включающей четыре уровня. Каждый уровень содержит несколько этапов.

Уровень 1 определяет управление взаимодействием на макроуровне. Система регулирует общее взаимодействие между студентом и тьютором, акцентируя внимание на ключевых аспектах отношений, таких как уважение, иерархия, лидерство и соблюдение правил.

Уровень 2 задает фазы совместной работы студента и тьютора. Этот уровень описывает этапы выполнения учебного задания.

Уровень 3 отвечает за этапы написания эссе. Здесь представлены фазы написания эссе, включая «План», «Историю» и «Детализацию». Данный уровень может рассматриваться как уточнение второго уровня.

Уровень 4 отражает саморегулируемое обучение (SRL). Стандартный цикл SRL, включающий три фазы, может быть применен как явно, так и неявно к любому из этапов трех вышеперечисленных уровней. Он концептуализируется как внутренний цикл рассуждения, выполняемый виртуальным тьютором, невидимый для студента и организованный в виде набора процедурных инструкций.

1.5. Сбор и обработка данных системой

В процессе эксперимента пользователь отправляет реплику через специальное текстовое поле в браузере. Модуль визуализации передает это сообщение на сервер посредством POST-запроса. На сервере модуль взаимодействия принимает запрос, возвращает модулю визуализации статус, а затем пересылает сообщение в модуль рассуждений. В модуле рассуждений сообщение записывается в историю диалога, после чего формируется запрос к модулю генерации – основанному на GPT-4o – с целью получения оценочного вектора. Каждое сообщение оценивается по нескольким аттитудным шкалам, определенным моральной схемой, что

приводит к формированию оценочного вектора, который, в свою очередь, влияет на процесс генерации ответа. Оценки производятся посредством GPT-4o после каждого обмена и сохраняются для последующего анализа.

В России обращение к средствам OpenAI через API ограничено. Поэтому для быстрого доступа к возможностям GPT-4o было реализовано собственное проху-приложение, которое было размещено на хостинге DreamHost.com за пределами Российской Федерации.

После получения вектора оценок архитектура eBICA определяет текущее состояние диалога и формирует индивидуализированный запрос для генерации ответа тьютора с учетом механизмов SRL. Завершающий API-запрос отправляется в OpenAI для генерации ответа тьютора, который затем передается обратно пользователю через модули взаимодействия и визуализации. Весь алгоритм представлен диаграммой на рис. 1.

Валидация оценок по аттитудным шкалам проводилась на 140 высказываниях путем сравнения оценок, полученных с помощью GPT-4o, и оценок, выданных десятью экспертами (в качестве которых были выбраны студенты старших курсов НИЯУ МИФИ). Результаты показали высокий уровень согласованности: 95%-ный доверительный интервал для коэффициента корреляции Пирсона r составил от 0,84 до 0,87. Этот факт подтверждает приемлемую надежность оценок, выданных моделью GPT.

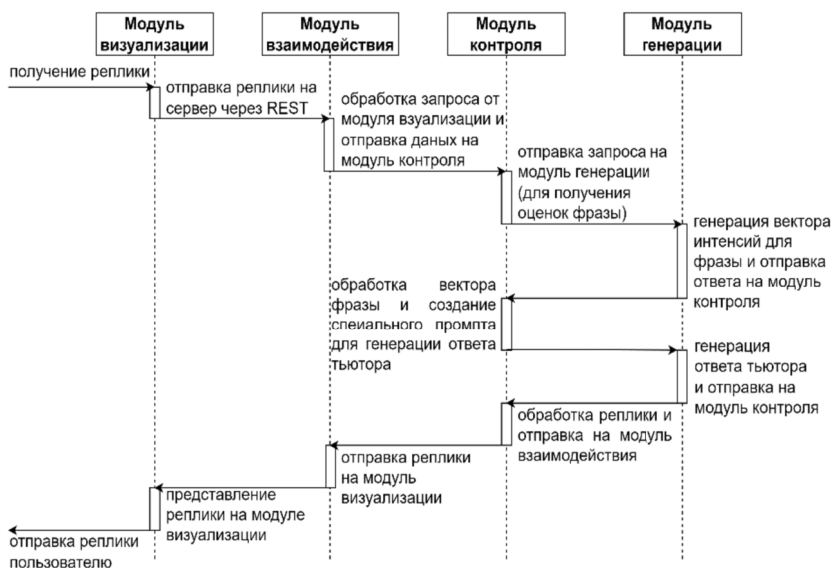


Рис. 1. Диаграмма последовательности виртуального тьютора

Критерии оценок эссе. В данном исследовании для оценки качества написанных студентами эссе были использованы две группы критериев. Критерии первой группы оценивали глобальные характеристики эссе; они определялись следующим образом.

- а) Содержание эссе соответствует его заголовку.
- б) Тема раскрыта в достаточной степени.
- с) Основные положения подобраны удачно.
- д) Аргументация обоснована.
- е) Работа завершена.
- ф) Структура эссе адекватна.
- г) Текст логичный, связный и последовательный.
- h) Собственная точка зрения автора выражена.

Вторая группа критериев проверяла наличие в эссе конкретно следующих элементов.

- і) Определение предмета с интуитивными пояснениями.
- ј) Обсуждение предыстории и смежных тем.
- к) Рассмотрение вопросов или проблем и существующих решений.
- l) Характеристика современного состояния области.
- m) Изложение методик или технических деталей.
- п) Обсуждение широкого влияния на технологии и общество.
- о) Обсуждение будущих тенденций и перспектив.
- р) Выводы, ключевой итог или «take-home message».

2. Результаты, анализ и обсуждение

Основной целью эксперимента, описанного в секции 1.3, было проверить гипотезу о том, что использование виртуального тьютора способствует улучшению качества эссе, написанных студентами. Для проверки гипотезы все эссе были оценены по 101-бальной шкале Лайкерта (от 0 до 100) с использованием модели GPT-4o на основе специально разработанного промпта, в котором были определены 16 критериев оценки. Для каждого эссе модель возвращала 16 отдельных целых чисел, по одному для каждого критерия. Этот метод автоматизированной оценки был валидирован тремя экспертами и показал высокую согласованность с независимыми оценками экспертов, что также соответствует результатам других недавних работ [Jauhainen et al., 2024], [Quah et al., 2024]. Эссе оценивались в случайном порядке. Число сессий взаимодействия с GPT для оценки одного эссе в разных типах тестов варьировалось от 1 до 100.

Для анализа результатов была проведена трехфакторная дисперсионная оценка (ANOVA). Исследовалось влияние трех независимых факторов: **порядка** написания эссе, **тем** эссе и наличие виртуального **тьютора**. Только фактор тьютора показал значимое влияние на качество эссе

($p < 0,011$). Ни тема эссе, ни порядок их написания не продемонстрировали значимого эффекта. Данные результаты продемонстрированы в таблице ниже (табл. 2).

Для сравнения оценок эссе между условиями **с тьютором и без тьютора** был также отдельно проведен двухвыборочный независимый t-тест. Анализ выявил значимую разницу в средних значениях ($M_{\text{Тьютор}}=79,48$; $M_{\text{NoТьютор}}=76,13$; $t(df)=2,63$; $p < 0,011$), при этом эссе, написанные с тьютором, показали более высокие оценки: зафиксирована разница в 3,35 балла.

Таблица 2

Источник вариации	Сумма квадратов	Степени свободы	Средний квадрат	F-score	p-value
Тьютор	273.75	1	273.753	6.76	0.0109*
Тема	31.98	1	31.978	0.79	0.3766
Порядок	48.61	1	48.611	1.20	0.2762
Тьютор:Тема	22.31	1	22.310	0.55	0.4599
Тьютор:Порядок	0.47	1	0.472	0.01	0.9142
Тема:Порядок	18.47	1	18.475	0.46	0.5012

Примечательно, что в группах, начавших писать эссе без тьютора, второе эссе (написанное с поддержкой тьютора) оказалось лучше первого ($p < 0.013$ с поправкой Бонферрони). Это указывает на то, что вмешательство тьютора оказало существенное влияние при его использовании после первоначальной самостоятельной попытки. В то же время в группах, писавших первое эссе с тьютором, второе эссе (написанное самостоятельно) оказалось по качеству не хуже первого. Это указывает на то, что эффект тьютора сохранился после его однократного использования.

Было также проанализировано влияние тьютора на оценки по индивидуальным критериям. Наибольший положительный эффект (15,2%) был получен для критерия (о): наличие в эссе выводов, основной мысли или заключительного утверждения ($p < 0.0094$). Это свидетельствует о том, что Виртуальный Тьютор играет ключевую роль в стимулировании студентов к более аналитическому и ориентированному на вывод подходу при написании эссе. Несколько других критериев также продемонстрировали значимое улучшение в диапазоне от 7% до 10%, включая критерии (е), (i), (j), (l), (n) и (p). Данные результаты проиллюстрированы на рисунке ниже.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что наибольшую эффективность Виртуальный Тьютор демонстрирует при повышении глубины и структурированности эссе – особенно в тех аспектах, которые требуют интеграции знаний, технической проработки и учета широкого социального или перспективного контекста.

Работа системы была стабильной. Максимальная задержка ответа Виртуального Тьютора составила не более 10 секунд, при этом в среднем на формирование ответа уходило 3.8 секунд.

Индивидуальные различия между обучаемыми учитываются путем анализа интенсий ответов студента, определения на этой основе его ати-тюдных и мотивационных характеристик, и выбора адекватной модели поведения Виртуального Тьютора на основе моральных схем eBICA. Система работает со студентом в режиме один-на-один, что делает возможной индивидуальную подстройку. При этом внесение априорной дополнительной информации об обучающемся (например, уровень исходных знаний) могло бы помочь повысить эффективность системы.

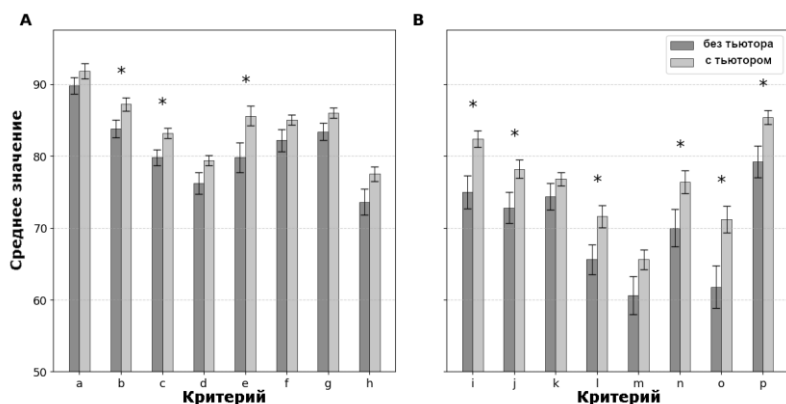


Рис. 2. Сравнение средних значений по каждому критерию

Для сравнения были проведены два контрольных эксперимента с другой группой студентов, отличавшиеся отсутствием в системе модуля рассуждений на базе eBICA: вместо этого LLM получала изначальный промпт, описывающий весь сценарий взаимодействия, и далее действовала самостоятельно. Причем в одном из этих экспериментов вместо GPT-4o использовался DeepSeek. Результаты, которые в силу ограничений объема не могут быть представлены здесь, не показали значимого улучшения качества эссе по выбранным критериям.

Целью данной работы было не сравнение эффективности системы с уровнем развития ITS технологий, а подтверждение работоспособности новой концепции нейро-символьной интеграции. В то же время, перспективным видится проведение более масштабных экспериментов, включая расширение набора тем эссе и разнообразие контрольных групп.

Таким образом, детальный анализ демонстрирует, что Виртуальный Тьютор способствует развитию аналитической насыщенности, технической точности и стратегической полноты в студенческих эссе. Это полностью соответствует заложенной в систему когнитивной функции: не столько корректировать язык, сколько направлять мышление и углублять аргументацию в процессе написания.

Заключение

Результаты исследования подтверждают работоспособность прототипа предложенного варианта нейро-символьной интеграции, обеспечившей в данном случае эффективное применение SRL в образовательном процессе. В то же время ограниченность проведенного эксперимента не позволяет делать обобщения на основе данного результата.

Ограниченный объем статьи не позволил раскрыть все детали воплощенной системы и контрольных экспериментов. Это будет сделано в более обстоятельной журнальной публикации.

Выбор когнитивной архитектуры eBICA обусловлен тем, что данное исследование продолжает предыдущие работы авторов на эту тему. Отличительные черты eBICA – это наличие в ней моральных схем, благодаря чему предложенная интеграция становится нетривиальной.

Преимущество предложенного общего подхода в том, что он позволяет установить связь когнитивной архитектуры с реальным социальным окружением (в данном случае, со студентом) на уровне тонких коннотационных характеристик социального взаимодействия, что позволяет использовать более продвинутые модели вроде eBICA для реализации полноценного социального контакта агента с пользователем.

Среди недостатков следует назвать ограниченность созданного прототипа и проведенного с ним исследования. Целью работы была лишь проверка работоспособности предложенной концепции. В то же время бесспорно, что представленная система имеет существенные ограничения.

В дальнейших исследованиях планируется внедрение нейросетевой системы для более точного и независимого определения интенсий высказываний, что может повысить социально-эмоциональный интеллект Виртуального Тьютора и улучшить его взаимодействие с обучающимися.

Список литературы

- [Anderson et al., 2004] Anderson J.R. et al. An integrated theory of the mind // *Psychological Review*. – 2004. – Vol. 111(4). – P. 1036. – doi: 10.1037/0033-295X.111.4.1036.
- [Chowdhury et al., 2024] Chowdhury S.P., Zouhar V., and Sachan M. AutoTutor meets large language models: A language model tutor with rich pedagogy and guardrails // *arXiv preprint*. – 2024. – doi: 10.48550/arXiv.2402.09216.

- [**Crompton et al., 2023**] Crompton H., Burke D. Artificial intelligence in higher education: The state of the field // *International Journal of Educational Technology in Higher Education*. – 2023. – Vol. 20(1). – P. 22. – doi:10.1186/s41239-023-00392-8.
- [**Dolenc et al., 2015**] Dolenc K., Aberšek B. TECH8 intelligent and adaptive e-learning system: Integration into Technology and Science classrooms in lower secondary schools // *Computers & Education*. – 2015. – Vol. 82. – P. 354-365.
- [**Dong, 2023**] Dong C. How to build an AI tutor that can adapt to any course and provide accurate answers using large language model and retrieval-augmented generation // *arXiv preprint arXiv:2311.17696*. – 2023. – doi: 10.48550/arXiv.2311.17696.
- [**García-Méndez et al., 2024**] García-Méndez S., Arriba-Pérez F. de, Somoza-López M. del C. A review on the use of large language models as virtual tutors // *Science & Education*. – 2024. – P. 1-16. – doi: 10.1007/s11191-024-00530-2.
- [**Jauhiainen et al., 2024**] Jauhiainen J.S., Guerra A.G. Generative AI in education: ChatGPT-4 in evaluating students' written responses // *Innovations in Education and Teaching International*. – 2024. – P. 1-18. – doi: 10.1080/14703297.2024.2422337.
- [**Nguyen et al., 2025**] Nguyen T.M. and Samsonovich A.V. Developing a general-purpose system for intentionality detection in dialogue using neural networks // *Lecture Notes in Artificial Intelligence*. – 2025. – Vol. 16058. – P. 12-22. – doi: 10.1007/978-3-032-00800-8_2.
- [**Niu et al., 2024**] Niu Q. et al. Large language models and cognitive science: A comprehensive review of similarities, differences, and challenges // *arXiv preprint arXiv:2409.02387*. – 2024. – doi: 10.48550/arXiv.2409.02387.
- [**Nye et al., 2018**] Nye B. et al. SKOPE-IT (Shareable Knowledge Objects as Portable Intelligent Tutors): overlaying natural language tutoring on an adaptive learning system for mathematics // *International journal of STEM education*. – 2018. – Vol. 5(1). – P. 12. – doi: 10.1186/s40594-018-0109-4.
- [**Panadero, 2017**] Panadero E. A review of self-regulated learning: Six models and four directions for research // *Frontiers in Psychology*. – 2017. – Vol. 8. – P. 422. – doi: 10.3389/fpsyg.2017.00422.
- [**Quah et al., 2024**] Quah B. et al. Reliability of ChatGPT in automated essay scoring for dental undergraduate examinations // *BMC Medical Education*. – 2024. – Vol. 24 (1). – P. 962. – doi: 10.1186/s12909-024-05881-6.
- [**Ritter et al., 2016**] Ritter S., Fancsali S. MATHia X: The Next Generation Cognitive Tutor // *EDM*. – P. 624-625.
- [**Samsonovich, 2013**] Samsonovich A.V. Emotional biologically inspired cognitive architecture // *Biologically Inspired Cognitive Architectures*. – 2013. – Vol. 6. – P. 109-125. – doi: 10.1016/j.bica.2013.07.009.
- [**Samsonovich, 2018**] Samsonovich A.V. Schema formalism for the common model of cognition // *Biologically Inspired Cognitive Architectures*. – 2018. – Vol. 26. – P. 1-19. – doi: 10.1016/j.bica.2017.12.002.
- [**Samsonovich, 2020**] Samsonovich A.V. Socially emotional brain-inspired cognitive architecture framework for artificial intelligence // *Cognitive Systems Research*. – 2020. – Vol. 60. – P. 57-76. – doi: 10.1016/j.cogsys.2019.12.002.
- [**Sarker, 2022**] Sarker I.H. AI-based modeling: techniques, applications and research issues towards automation, intelligent and smart systems // *SN Computer Science*. – 2022. – Vol. 3(2). – P. 158. – doi: 10.1007/s42979-022-01043-x.

- [**Scarlatos et al., 2025**] Scarlatos A., Liu N., Lee J., Baraniuk R., and Lan A. Training llm-based tutors to improve student learning outcomes in dialogues // arXiv preprint arXiv:2503.06424. – doi: 10.48550/arXiv.2503.06424.
- [**Schmucker et al., 2024**] Schmucker R. et al. Ruffle&Riley: Insights from designing and evaluating a large language model-based conversational tutoring system. International Conference on Artificial Intelligence in Education. – Springer, 2024. – P. 75-90. – doi: 10.1007/978-3-031-64302-6_6.
- [**Steinert et al., 2024**] Steinert S. et al. Harnessing large language models to develop research-based learning assistants for formative feedback // Smart Learning Environments. – 2024. – Vol. 11(1). – P. 62. – doi: 10.1186/s40561-024-00354-1.
- [**Zimmerman et al., 2005**] Zimmerman B.J., Kitsantas A. The Hidden dimension of personal competence: Self-Regulated Learning and Practice. – 2005.