

Национальная академия наук Беларуси  
Объединенный институт проблем информатики

**II ФОРУМ IT-АКАДЕМГРАДА  
«ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ  
В БЕЛАРУСИ»**

**12-13 октября 2023 года, Минск**

**ДОКЛАДЫ**

Минск  
ОИПИ НАН Беларуси  
2023

УДК 004.9; 338.2; 656.13; 683.324

**II Форум IT-Академграда «Искусственный интеллект в Беларуси»** : доклады, Минск, 12–13 октября 2023 г. – Минск : ОИПИ НАН Беларуси, 2023. – 276 с. – ISBN 978-985-7198-17-7.

Представлены доклады заседания «Актуальные вопросы развития искусственного интеллекта в Республике Беларусь», которое проводилось 13 октября 2023 г. в Минске в рамках II Форума IT-Академграда «Искусственный интеллект в Беларуси».

Сборник предназначен для научных работников, преподавателей, аспирантов, магистрантов, студентов и всех, кто интересуется проблемами и перспективами развития и применения методов искусственного интеллекта.

Доклады, вошедшие в настоящий сборник, представлены в авторской редакции. Печатаются по решению программного комитета II Форума IT-Академграда «Искусственный интеллект в Беларуси», а также редакционной коллегии государственного научного учреждения «Объединенный институт проблем информатики Национальной академии наук Беларуси».

#### **Научные редакторы:**

доктор военных наук, кандидат технических наук, доцент С. В. Кругликов;  
кандидат технических наук, доцент С. Н. Касанин

## Введение

В последние десятилетия искусственный интеллект все больше входит в нашу жизнь. При существующих темпах развития технологий и увеличения объемов информации человечеству необходим помощник, и не просто помощник, а разумный союзник, товарищ и друг, в роли которого должен выступить искусственный интеллект.

На сегодняшний день под понятием искусственного интеллекта ученые понимают алгоритмы, способные самообучаться, чтобы применять полученные знания для достижения поставленных человеком целей. Искусственный интеллект не работает по жестким алгоритмам, а принимает собственные решения исходя из анализа больших массивов данных, автономно выявляет закономерности и формулирует правила, самосовершенствуется. Человек при этом лишь задает критерии точности.

Кроме того, проблема искусственного интеллекта является в настоящее время одной из самых злободневных. Ею занимаются ученые различных специальностей: кибернетики, лингвисты, психологи, философы, математики, инженеры. При исследовании проблем, касающихся искусственного интеллекта, решаются многие основополагающие вопросы, связанные с путями развития научной мысли, воздействием достижений в области вычислительной техники и робототехники на жизнь будущих поколений людей.

В рамках выполнения своих функций Национальная академия наук Беларуси совместно с государственным научным учреждением «Объединенный институт проблем информатики Национальной академии наук Беларуси» ежегодно с 2022 г. проводит II Форум IT-Академграда «Искусственный интеллект в Беларуси» (Форум).

Цель Форума – демонстрация достижений в области искусственного интеллекта и робототехники, развитие и координация сотрудничества ученых и специалистов научно-исследовательских организаций, учреждений образования, занимающихся исследованиями методов искусственного интеллекта для поиска эффективных решений и практических рекомендаций по их применению в различных сферах жизнедеятельности.

Задачи Форума – ознакомление с современными разработками в области искусственного интеллекта; формирование предложений по развитию взаимодействия научно-исследовательских организаций, учреждений образования в интересах продвижения и повышения мирового рейтинга белорусской школы искусственного интеллекта; развитие инфраструктуры поддержки научно-исследовательских организаций и образовательных

учреждений, способствующей привлечению инвестиций в сферу разработки и практического применения методов искусственного интеллекта.

Сборник содержит доклады, представленные в рамках Форума на заседании «Актуальные вопросы развития искусственного интеллекта в Республике Беларусь» по следующим направлениям: теоретические и практические разработки в области искусственного интеллекта в Республике Беларусь и за рубежом, подготовка квалифицированных кадров по разработке и внедрению технологий искусственного интеллекта, перспективы развития искусственного интеллекта в Беларуси.

Авторы докладов несут ответственность за содержание своих текстов.

УДК 338.2

## **Риски применения систем искусственного интеллекта: правовая защита**

**М. С. Абламейко**

Белорусский государственный университет,  
Минск

### **Введение**

Искусственный интеллект (ИИ) повсеместно интегрировался в жизнь общества: беспилотные транспортные средства, банковские сервисы, медицинские системы и др. Использование ИИ в различных сферах жизнедеятельности положительно влияет на развитие общества, поскольку значительно упрощаются многие производственные процессы. Вместе с тем нельзя не отметить и негативные факторы внедрения ИИ: несанкционированный доступ к данным, несанкционированная модификация программ, угроза сбоев в критически важных видах деятельности [1].

Применение технологий ИИ становится всеобъемлющим (в связи с чем правовое регулирование является обязательным) и способно нанести вред как человеку в частности, так обществу и государству в целом. Во многих странах мира принимаются попытки регулирования данной сферы, основываясь на балансе интересов технологий и человека. С одной стороны, все развитые страны наращивают темпы внедрения технологий ИИ, так как это дает неоспоримое преимущество на мировой арене. С другой стороны, эта сфера не может обойтись без комплексного правового регулирования для обеспечения безопасного функционирования систем и минимизации рисков их применения.

В настоящее время правовое регулирование в сфере технологий ИИ находится на стадии становления. Отсутствуют единый подход к определению и выделению типов ИИ, а также единое понимание относительно того, как следует регулировать разработку и применение систем ИИ. Существует ряд разобщенных документов, фрагментарно регулирующих отдельные аспекты и в основном обладающих необязательным характером [2].

### **Риски применения систем искусственного интеллекта**

За последние годы все больше внимания уделяется рискам применения систем ИИ. Связано это в первую очередь с тем, что, во-первых, внедрение ИИ в разных отраслях позволяет автоматизировать рутинные процессы,

а человек становится контролером, а не исполнителем. Во-вторых, сбои работы таких систем могут привести к тяжелым последствиям, в связи с чем обеспечение безопасности их функционирования выступает одной из первоочередных задач. Классифицировать риски использования систем ИИ можно следующим образом:

1. Риск причинения вреда человеку.

Основным риском для человека принято считать вмешательство в частную жизнь. В связи с тем что за последние десятилетия многие крупные компании накопили огромное количество данных, вопрос их правомерного использования стал особенно актуальным. Впоследствии интеллектуальные системы могут использовать эти данные в своих целях.

Вторым важным аспектом является использование систем ИИ при распознавании лиц с камер видеонаблюдения. Это позволяет отследить все перемещения человека, провести полную идентификацию, реидентификацию, выявить девиантное поведение и др. Некоторые страны пошли по пути применения социального рейтинга, когда исходя из собранных данных человеку присваивается определенный статус в обществе.

На основе анализа информации, которой интересуется человек в сети, системы ИИ формируют таргетированную рекламу. Социальные сети благодаря автоматическим алгоритмам очень эффективны в целевом маркетинге. В настоящее время уже происходит так называемое предугадывание желаний человека, когда системы ИИ на основании имеющихся данных предлагают тот или иной продукт или услугу. В данном случае происходит навязывание и прогнозирование действий, что также несет угрозу для индивидуальности принятия решения.

*Общение с ИИ.* В последнее время весьма актуальной стала проблема, когда невозможно распознать, с кем общаешься: с ИИ или человеком (тест Тьюринга). В случае несоблюдения ИИ морально-этических норм это может привести к серьезным последствиям для людей (склонение к самоубийству, дезориентация и др.). Поэтому и возникают вопросы доверительного отношения ИИ и человека.

Таким образом, основным риском принято считать вмешательство в частную жизнь человека: вопрос правомерного использования накопленных данных; использование систем ИИ при распознавании лиц: идентификация; интеллектуальное видеонаблюдение, включая отслеживание перемещения человека, реидентификация, выявление девиантного поведения; таргетированная реклама (использование социальных сетей в целевом маркетинге); общение с ИИ (тест Тьюринга) и др.

2. Риски для общества.

Основным риском в данной категории можно выделить манипулирование общественным мнением и распространение пропаганды. ИИ может распространять любую информацию, которая потребуется, в любом фор-

мате, который будет выглядеть наиболее убедительным, и неважно, будет ли это правда или ложь. В качестве примера можно привести анализ прогнозирования результатов выборов или референдумов на основе данных пользователей социальных сетей.

Изменение структуры занятости связано с разработкой и внедрением автоматизированных систем (роботов) в различные сферы. Во многих профессиях поднимается вопрос замены человека роботом.

*Несовпадение целей ИИ и человека в случае постановки некорректной задачи.* Если ИИ нацелен на достижение конкретной запрограммированной цели, а человек будет пытаться ему помешать, то это может привести к конфликту интересов.

### 3. Риски для государства.

Обеспечение безопасности функционирования цифровой экосистемы государства подразумевает бесперебойную работу с выявлением возможных внешних и внутренних угроз.

В большинстве своем ИИ – это как черный ящик, т. е. принимаемые им решения непрозрачны как для пользователя, так и для оператора и разработчика. Отсюда возникает проблема интерпретируемости результатов и предвзятости систем ИИ. В настоящее время отсутствуют технические средства аудита систем ИИ, что позволяет разработчикам вносить в систему недокументированные функции при обучении (например, чужеродные объекты, которые система будет пропускать как разрешенные), обнаружить их в работающей системе нельзя.

*Использование данных для обучения нейронных сетей.* Большинство стран придерживаются политики защиты персональных данных, включая биометрические, визуальные, генетические, медицинские и др. Вместе с тем для стимулирования развития технологий ИИ требуется доступ к таким данным, что предполагает поиск баланса интересов компаний-разработчиков и государства. Также в случае недостатка данных при обучении ИИ повышается риск ошибок, что может привести к дестабилизации работы системы.

*Выход системы из-под контроля человека.* Существует вероятность, что автономная система ИИ с автоматическим принятием решений в критически важных и ответственных областях в результате ошибки или недостаточного обучения примет решение, которое нанесет ущерб людям или критической инфраструктуре.

*Использование иностранных платформ.* Большинство востребованных систем ИИ находятся на иностранных платформах, что дает возможность удаленного управления со стороны разработчика системы.

Таким образом, для государства можно выделить следующие риски: бесперебойная работа цифровой экосистемы государства с выявлением возможных внешних и внутренних угроз; проблема интерпретируемости

результатов и предвзятости систем ИИ; отсутствие технических средств аудита систем ИИ, что позволяет разработчикам вносить в систему недокументированные функции при обучении, обнаружить которые в работающей системе нельзя; использование данных для обучения нейронных сетей, включая персональные; выход системы из-под контроля человека; использование иностранных платформ и др.

Мировое сообщество призывает к введению правил и норм применения ИИ в связи с возрастающими рисками для человека, общества и государства.

Полагаем, что на уровне подготовки актов законодательства в сфере ИИ следует фокусироваться на риск-ориентированном подходе, что позволит внести правовую определенность для различных сфер применения ИИ при установлении требований для их использования, включая технические НПА, и минимизировать риски для человека, общества и государства. Считаем целесообразным провести классификацию систем в соответствии с европейским подходом, отраженным в Белой книге по ИИ, опубликованной Европейской комиссией (*A White paper on Artificial Intelligence – A European approach to excellence and trust*) [3]: неприемлемый риск (удаленная биометрическая идентификация в режиме реального времени в общественных местах за исключением случаев, когда такое использование необходимо для достижения строго поставленных целей); высокий риск (критическая инфраструктура, которая может подвергнуть риску жизнь и здоровье граждан); ограниченный риск (ИИ со специфическими требованиями к прозрачности); минимальный риск.

### **Заключение**

Подход, основанный на оценке рисков, позволит обеспечить соразмерность регуляторного вмешательства, включая и степень ответственности субъектов. Определение четких критериев отнесения системы ИИ к той или иной категории риска (неприемлемого, высокого, ограниченного и минимального) предоставит возможность классифицировать системы ИИ и принимать отраслевые стандарты исходя из общих требований.

Особое внимание следует уделить отнесению систем ИИ к степени неприемлемого и высокого риска. В данном случае повышенные требования должны предъявляться: к данным, на которых обучается система; хранению информации (исключительно на территории государства); предоставлению информации (в строго регламентированном законодательством порядке); безопасности функционирования, обеспечения устойчивости (в соответствии с требованиями сертификации и лицензирования); обеспечению постоянного надзора со стороны человека и возможности вмешательства вплоть до полной принудительной остановки системы. Такие си-

стемы ИИ должны быть подвержены предварительной оценке: на этапе разработки, при работе в тестовом режиме, при введении в эксплуатацию, функционировании системы ИИ.

В качестве критериев оценки рисков, исходя из международного опыта, можно определить следующие: оценка цели и сферы применения системы ИИ; степень автономности системы и механизмы контроля со стороны человека; сложность системы, включая прозрачность и объяснимость; технология, лежащая в основе системы, и др.

### **Список использованных источников**

1. Абламейко, С. В. Искусственный интеллект в междисциплинарной перспективе: философско-правовые аспекты / С. В. Абламейко, М. С. Абламейко // Философские науки. – 2021. – Т. 64, № 5. – С. 57–70.

2. Марченко, А. Ю. Правовой анализ новейшего законодательства ЕС о применении технологий искусственного интеллекта : дис. ... канд. юрид. наук : 12.00.10 / А. Ю. Марченко. – М., 2022. – 208 л.

3. Regulation of the European Parliament and of the Council laying down harmonised rules on artificial intelligence (artificial intelligence act) and amending certain union legislative acts [Electronic resource] // An official web-site of the European Union. – 2021. – Mode of access: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52021PC0206>. – Date of access: 15.03.2023.

УДК 340

## **Модельный закон «Об искусственном интеллекте»: цель, предмет правового регулирования и основные положения**

**С. В. Абламейко, А. М. Белоцерковский, С. Н. Касанин, С. В. Кругликов**  
Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси,  
Минск

**М. С. Абламейко, Т. Н. Михалева**  
Белорусский государственный университет,  
Минск

**В. В. Голенков**  
Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники,  
Минск

**Н. С. Минько**  
Институт экономики НАН Беларуси,  
Минск

### **Введение**

Использование систем искусственного интеллекта (ИИ) влияет на инфраструктуру политических, экономических, социальных и иных отношений, ее наполнение и вектор развития. ИИ выступает важнейшим элементом Четвертой промышленной революции. Всеобъемлющая информатизация экономики и общества обеспечит формирование качественно нового технологического уклада, увеличение спроса на наукоемкую продукцию, привлечение инвестиций и интеграцию национальных инновационных систем государств – участников СНГ.

В области ИИ настоятельным требованием времени являются разработка и принятие программного документа, задающего основные векторы политики в данной области и определяющего концептуальные направления развития правового регулирования, безусловным приоритетом которого должна стать защита прав человека и его основных свобод перед лицом технологического прогресса.

Правовое регулирование в сфере ИИ должно быть направлено на определение его основных подходов – создание и применение технологий ИИ в различных сферах экономики и социальной жизни при условии соблюдения прав граждан и обеспечения их безопасности.

Исследователи отмечают ряд аспектов, обусловленных внедрением ИИ, а также то, что остаются нерешенными многие вопросы [1]:

1. Собственность в отношении больших данных, их конфиденциальность и защита. Высказано дискуссионное предложение о защите работы ИИ в формате служебного произведения, если такая работа будет опубликована под именем работодателя.

2. Задачи в части антимонопольного законодательства. С учетом того что регулирование этого вопроса отсутствует, государственные органы будут следить за отраслями, основанными на информации, на предмет нечестной торговли и конкуренции, а правительство объявило, что будет раскрывать публичные данные и представлять средства для доступа и использования данных, содержащих частную информацию, принадлежащую государственным органам.

3. Проблема управления данными, которая включает обеспечение их высокого качества на протяжении жизненного цикла и предложение о совершенствовании системы управления данными национальной статистики: независимость национального статистического управления; реинжиниринг бизнес-процессов; создание основы и системы использования частных данных в национальной статистике; сбор и объединение административных документов, находящихся в ведении правительства и органов местного самоуправления; создание автономной системы обеспечения качества для частных данных, чтобы осуществить стандартизацию и достоверность, эффективную защиту данных и их конфиденциальность.

4. Задачи государственного вмешательства и охрана личной информации. Анонимные данные не должны интерпретироваться как личные. Устанавливаются сложные правила для комбинации псевдонимных данных, принадлежащих двум различным контролерам персональных данных (такое действие может выполняться только профессиональными агентствами). Разрешается обработка псевдонимных данных для целей статистики, научных исследований или учета интересов общественности с освобождением от основных обязательств, применимых к типичным персональным данным (без согласия пользователя).

5. Гражданско-правовая ответственность: компенсации ущерба или убытков, причиненных ИИ. В гражданском праве урегулированы различные механизмы возложения ответственности за причиненный вред, однако они не применимы к ИИ, поскольку ИИ не является человеком. Сделан вывод о недостаточности общепринятых принципов гражданской ответственности систем ИИ и необходимости разработки специальных новых принципов.

6. Уголовная ответственность ИИ. В законодательстве уже предусмотрена уголовная ответственность юридических лиц. Соответственно, поднимается вопрос об ответственности ИИ за совершение преступного

деяния. Разумеется, лицо, которое использует ИИ в качестве способа совершения преступления, будет нести уголовную ответственность. Однако могут ли программист или пользователь нести ответственность за автономное преступное поведение ИИ? Ответ на этот и другие вопросы возможен только в случае совершенствования уголовного законодательства.

7. Нейтральность и непредвзятость ИИ. Исследователи высказывают опасения, что ИИ может стать дискриминационным и несправедливым, если машинное обучение будет осуществляться с использованием предвзятой базы данных. Требования об отсутствии социальной предвзятости – один из элементов этической составляющей ИИ.

8. Использование ИИ в деле защиты национальной безопасности.

### **Цель и предмет правового регулирования**

Целью подготовки модельного закона «Об искусственном интеллекте» является содействие формированию единых подходов к системе правового регулирования общественных отношений, возникающих в связи с использованием технологий ИИ. Система ориентирована на человека и направлена на улучшение качества жизни населения, заслуживает доверия при обеспечении высокого уровня безопасности функционирования, а также повышает эффективность экономики и социальной сферы за счет стимулирования разработки, внедрения и использования ИИ.

Основными задачами модельного закона «Об искусственном интеллекте» могут выступить:

1) создание благоприятных правовых и организационных условий для развития технологий ИИ, содействие инвестициям в исследования и разработки для стимулирования инноваций в области надежного ИИ;

2) формирование и развитие единого рынка безопасных и заслуживающих доверия систем ИИ;

3) содействие развитию доступных экосистем ИИ с цифровой инфраструктурой, современными технологиями и механизмами для обмена данными и знаниями;

4) осуществление трансграничного и межсекторального сотрудничества на пространстве СНГ в целях достижения прогресса ИИ;

5) повышение доступности и качества данных, необходимых для развития технологий ИИ;

6) рост цифровой грамотности и информированности населения,

7) обеспечение рынка технологий ИИ квалифицированными кадрами;

8) реализация справедливого и оптимального баланса интересов между всеми участниками общественных отношений в области ИИ, который сочетает механизмы государственного регулирования и саморегулирования, основывается на оценке рисков, которые создают значительную опасность для здоровья и безопасности или основных прав человека;

9) гарантирование безопасности использования и размещения систем ИИ, их соответствие принятым нормам и правилам, соблюдение прав человека;

10) создание гибких механизмов, позволяющих динамически адаптировать правовую основу по мере развития технологий и возникновения новых правоотношений, включая установление экспериментальных и (или) специальных правовых режимов, в том числе «регуляторных песочниц».

ИИ – это свойство интеллектуальных систем выполнять творческие функции, которые традиционно считаются прерогативой человека. Кроме того, это наука и технология создания интеллектуальных машин, особенно интеллектуальных компьютерных программ, способных самообучаться. В свою очередь, интеллектуальная система – это техническая или программная система, способная решать задачи, традиционно считающиеся творческими, принадлежащие конкретной предметной области, знания о которой хранятся в памяти такой системы. Структура интеллектуальной системы включает три основных блока: базу знаний, механизм вывода (принятия) решений и интеллектуальный интерфейс.

В технологиях принятия решений интеллектуальная система – это информационно-вычислительная система с интеллектуальной поддержкой, решающая задачи без участия человека – лица, принимающего решение (ЛПР), в отличие от интеллектуализированной системы, в которой оператор присутствует.

К предмету правового регулирования будет относиться не просто условная компьютерная программа (технология), производство и применение которой может регулироваться действующим законодательством, а программа, которая может самообучаться, и в этом процессе не участвует человек (ЛПР).

ИИ – это комплекс технологических решений в виде сложной кибернетической системы, которая может имитировать когнитивные свойства человека, способна самообучаться и может действовать автономно.

Кроме того, следует обратить внимание на то, что необходимо рассматривать вопросы не только создания или применения, но и производства систем с ИИ, поскольку на стадии их выпуска также могут быть заложены неверные алгоритмы действий.

Предмет правового регулирования – совокупность общественных отношений, на которые направлено воздействие правовых средств и методов. В сферу правового регулирования должны входить все те отношения, которые уже урегулированы правом, они составляют собственно предмет, а также те, которые только нуждаются в таком регулировании. В целом правовое регулирование в сфере ИИ должно быть направлено:

на создание основ правового регулирования новых общественных отношений, складывающихся в связи с разработкой и применением техноло-

гий ИИ и систем на их основе, имеющих стимулирующий характер и способствующих их развитию и применению;

определение основных подходов к правовому регулированию создания и применения технологий ИИ в различных сферах экономики и социальной жизни при условии соблюдения конституционных прав граждан и обеспечения высокого уровня защиты общественных интересов и безопасности функционирования;

определение правовых барьеров, затрудняющих и препятствующих разработке и применению систем ИИ в различных отраслях экономики и социальной сферы;

определение рисков применения систем ИИ и формирование системы стандартизации и сертификации систем ИИ.

Круг общественных отношений, составляющих предмет правового регулирования многообразен, поскольку включает в себя различные виды деятельности, широкий перечень субъектов, обусловлен оценкой степени рисков и нуждается в развернутом обосновании. Наиболее общей является концепция, сформулированная Н. Петитом, которая предполагает формальный и технологический подходы при определении предмета правового регулирования. Согласно первому подходу следует исходить из общих особенностей правовой системы и ее институтов, обеспечивая последовательную трансформацию правовых норм, составляющих институты юридической ответственности, конфиденциальности, кибербезопасности, которые могут быть применены к любому ИИ. Второй подход – технологический, он строится на решении отдельных отраслевых вопросов, возникающих применительно к каждой категории ИИ в разных сферах [2].

Внедрение и использование ИИ может осуществляться применительно к широкому перечню видов экономической деятельности, при этом последствия развертывания систем ИИ значительно различаются и требуют учета ряда особенностей:

1. Масштаб развертывания технологических продуктов с ИИ, как правило, определяемый количеством лиц, на которых воздействует или будет влиять система: пилотный проект, узкое развертывание (на уровне одной компании или одной страны), широкое развертывание (на уровне одного сектора), широкое распространение (на уровне нескольких стран или секторов).

2. Степень зрелости используемой системы ИИ. Уровни готовности технологий (Technology readiness level, TRL) могут использоваться для классификации ИИ. Так, самый низкий уровень технологической готовности предполагает перевод исследований в прикладные НИОКР, формализуется такой результат обычно в виде научной статьи о принципах новой технологии. Второй уровень отличается тем, что сформулирована технологическая концепция и (или) приложение на основе предположений, которые еще не доказаны и не проанализированы, могут быть оформлены в ви-

де публикации или справочника, освещающего особенности новой технологии. Третий уровень включает аналитические и лабораторные исследования для эмпирической проверки гипотез, может быть выражен в виде системы показателей, полученных в лаборатории. На четвертом уровне основные технологические компоненты интегрированы (например, интеграция специального программного или аппаратного обеспечения в лаборатории). На пятом уровне обеспечиваются базовые требования безопасности, а основные технологические компоненты интегрированы со вспомогательными элементами, которые можно протестировать в смоделированной среде. Шестой уровень – репрезентативная модель или прототип системы. Седьмой включает тестирование прототипа на операционных платформах для тестирования (например, в реальных полевых условиях). На восьмом уровне доказано, что технология работает в ее окончательной форме и при ожидаемых условиях. В большинстве случаев этот уровень представляет собой завершение разработки системы. Наконец, девятый уровень предполагает фактическое применение технологических решений в реальных условиях. Для дальнейшего улучшения системы критически важны строгие процессы мониторинга и обновления.

3. Степень выбора, которую имеют пользователи в отношении того, будут ли они подвергаться воздействию системы ИИ автоматически или нет. Так, например, существуют системы ИИ, которые предполагают либо не предполагают возможность пользователей отказаться от вывода системы ИИ. Существуют системы, в которых пользователи могут отменять или корректировать вывод системы ИИ.

4. Характеристики пользователей системы ИИ, которые могут определяться различными профессиональными навыками и квалификацией экспертов ИИ. Например, системы ИИ, развернутые в таких секторах, как здравоохранение или сельское хозяйство, часто используются практиками или экспертами в предметной области, которые обычно не являются экспертами в области ИИ. Поэтому в общем можно выделить: пользователей, которые не проходили специального обучения; обученных практиков, не являющихся экспертами в области ИИ; пользователей, прошедших специальную подготовку по использованию данной системы ИИ; эксперт-практиков по ИИ, т. е. пользователей со специальной подготовкой и знаниями в области ИИ (эксперт по ИИ или системный разработчик). К этой группе также примыкают характеристики иных заинтересованных сторон, чьи интересы затрагиваются при внедрении и эксплуатации ИИ, например потребители, рабочие (служащие), бизнес, государственные агентства (регулирующие) органы, дети или другие уязвимые либо маргинализованные группы.

5. Бизнес-модель, в рамках которой осуществляется использование ИИ: «использование в коммерческих целях – модель абонентской платы,

использование в коммерческих целях – рекламная модель, использование в коммерческих целях», а также «некоммерческое использование или использование в режиме публичной услуги».

6. Функции системы ИИ и ее использование в критическом секторе или инфраструктуре. Так, система ИИ может выполнять важную функцию независимо от сектора, например, проведение выборов, поддержание цепочек поставок, обеспечение правопорядка, оказание медицинской помощи, поддержка финансовой системы. Кроме того, система ИИ может быть использована в критическом секторе или инфраструктуре (например, в энергетике, транспорте, водоснабжении, здравоохранении, цифровой инфраструктуре и финансах), что значительно повышает риски и объем регуляторного бремени [3].

Субъектами в области ИИ определяются любые субъекты, участвующие хотя бы в одном этапе жизненного цикла системы ИИ, и могут относиться как к физическим, так и юридическим лицам, в том числе исследователи, программисты, инженеры, специалисты по обработке данных, конечные пользователи, коммерческие структуры, предприятия, учреждения образования, иные государственные и частные организации и др.

Вопрос о сознательно-волевом характере отношений в области ИИ уже не раз становился предметом дискуссии, в особенности применительно к отношениям machine-to-machine (M2M), а возможность их действия как моральных агентов детально рассматривается в рамках акторно-сетевой теории, этики ИИ и других областей научного знания. Тем не менее с учетом уровня науки и техники однозначно ответить на вопрос о субъектности ИИ нельзя, однако с уверенностью можно утверждать, что отношения по моделям взаимодействия human-to-machine (H2M), human-to-human (H2H), возникающие при исследованиях, проектировании, разработке, выпуску на рынок и использовании, будут также включены в исконный предмет правового регулирования.

Наконец, последний признак общественных отношений, выступающих в качестве предмета правового регулирования, состоит в доступности для внешнего контроля, что также является проблемным в области ИИ, поскольку последний может функционировать по принципу «черного ящика», что в ряде случаев исключает объяснимость используемых им моделей рассуждения, следовательно, и внешний контроль. Это означает, что принципы и действия, заложенные в них, не в полной мере поддаются пониманию и контролю даже со стороны специалистов. В то же время, несмотря на неопределенность в процессе их использования, подобные алгоритмы уже очень прочно вошли в жизнь человека и применяются в различных сферах: при трудоустройстве, страховании, медицинском обслуживании, а также при оказании ряда иных услуг.

Предлагаемая к обсуждению структура модельного закона «Об искусственном интеллекте»: преамбула, главы и статьи. В преамбуле содержится отсылка к действующим актам СНГ в сфере ИИ и инновационного развития, представлено обоснование важности и перспективы развития общего потенциала ИИ систем в СНГ, обозначена приоритетность национального регулирования при высокой степени согласованности подходов к развитию и безопасности ИИ, гармонизации понятий, принципов, пределов правового регулирования на уровне СНГ.

#### ГЛАВА 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Статья 1. Основные термины, используемые в настоящем Законе, и их определения.

Статья 2. Законодательство в области искусственного интеллекта.

Статья 3. Предмет регулирования настоящего Закона.

Статья 4. Сфера действия настоящего Закона.

Статья 5. Субъекты отношений в сфере искусственного интеллекта.

Субъекты отношений в сфере искусственного интеллекта – исследователи, разработчики, производители систем искусственного интеллекта, владельцы (собственники), операторы, пользователи систем искусственного интеллекта, иные лица, взаимодействующие в сфере искусственного интеллекта, в том числе уполномоченные государственные органы.

Статья 6. Объекты отношений в сфере искусственного интеллекта.

#### ГЛАВА 2. ГОСУДАРСТВЕННОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ В СФЕРЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Статья 7. Цели и задачи государственной политики в сфере искусственного интеллекта.

Статья 8. Государственное регулирование в сфере искусственного интеллекта.

Статья 9. Государственные меры по поддержке научной, научно-технической и инновационной деятельности в сфере искусственного интеллекта.

Статья 10. Координационный совет в сфере искусственного интеллекта. Компетенция уполномоченного государственного органа в сфере искусственного интеллекта.

Статья 11. Возможность и порядок установления экспериментального правового режима, его основные элементы.

Статья 12. Нормативные «песочницы» в сфере искусственного интеллекта.

#### ГЛАВА 3. ПРИНЦИПЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ОТНОШЕНИЙ В СФЕРЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Статья 14. Принципы правового регулирования отношений в сфере искусственного интеллекта.

Статья 15. Специальные принципы разработки систем искусственного интеллекта, обладающих различной степенью риска.

Статья 16. Оценка воздействия технологий и систем искусственного интеллекта на все сферы жизни человека.

#### ГЛАВА 4. ПРАВОВОЙ РЕЖИМ СИСТЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Статья 19. Виды систем искусственного интеллекта.

Статья 20. Критерии оценки функционирования систем искусственного интеллекта и их соответствия законодательству.

Статья 21. Риски в сфере функционирования систем искусственного интеллекта.

Статья 22. Тестирование, управление рисками, документация и надзор со стороны человека на протяжении всего жизненного цикла систем искусственного интеллекта.

#### ГЛАВА 5. ПРАВА И ОБЯЗАННОСТИ СУБЪЕКТОВ ОТНОШЕНИЙ В СФЕРЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Статья 23. Права и обязанности уполномоченных государственных органов в сфере искусственного интеллекта.

Статья 24. Права и обязанности разработчиков систем искусственного интеллекта.

Статья 25. Права и обязанности производителей систем искусственного интеллекта.

Статья 26. Права и обязанности владельцев систем искусственного интеллекта.

Статья 27. Права и обязанности операторов систем искусственного интеллекта.

Статья 28. Права и обязанности пользователей систем искусственного интеллекта.

Статья 29. Права и обязанности субъектов по обеспечению безопасности и соблюдения существующего законодательства, защищающего основные права на протяжении всего жизненного цикла систем искусственного интеллекта.

#### ГЛАВА 6. ОСОБЕННОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ОТДЕЛЬНЫХ ОТРАСЛЯХ И СФЕРАХ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Статья 30. Особенности функционирования систем искусственного интеллекта в промышленности.

Статья 31. Особенности функционирования систем искусственного интеллекта в строительстве.

Статья 32. Особенности функционирования систем искусственного интеллекта в области экологии и энергетики.

Статья 33. Особенности функционирования систем искусственного интеллекта в сфере образования и науки.

Статья 34. Особенности функционирования систем искусственного интеллекта в сфере здравоохранения.

Статья 35. Особенности функционирования систем искусственного интеллекта в области государственного управления.

Статья 36. Особенности функционирования систем искусственного интеллекта в области денежно-кредитной и бюджетной политики.

Статья 37. Особенности функционирования систем искусственного интеллекта в области дорожного движения и транспортной деятельности.

Статья 38. Исключительность военной сферы

Статья 39. Право интеллектуальной собственности на произведения, созданные системами искусственного интеллекта.

#### ГЛАВА 7. ОТВЕТСТВЕННОСТЬ ЗА НАРУШЕНИЕ ТРЕБОВАНИЙ ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВА В СФЕРЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА. СТРАХОВАНИЕ. ЗАЩИТА ПРАВ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

Статья 39. Ответственность государственных органов за принятие и реализацию решений в сфере искусственного интеллекта.

Статья 40. Ответственность за нарушение законодательства о создании, изготовлении и эксплуатации систем искусственного интеллекта.

Статья 41. Ответственность разработчиков и пользователей систем искусственного интеллекта.

Статья 42. Страхование ответственности за вред, причиненный системами искусственного интеллекта, и рисков, связанных с созданием и функционированием систем искусственного интеллекта.

Статья 43. Защита прав потребителей в сфере искусственного интеллекта. Право знать о том, что товары изготовлены, работы, услуги выполняются, решение принимается системой искусственного интеллекта.

Статья 44. Обеспечение возможности проверки уполномоченным субъектом решения, принятого системой искусственного интеллекта.

#### ГЛАВА 8. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ, ОБРАБОТКА, ХРАНЕНИЕ И ЗАЩИТА ДАННЫХ

Статья 45. Принципы использования данных для систем искусственного интеллекта

Статья 46. Предоставление данных для обучения систем искусственного интеллекта

Статья 47. Хранение данных в системах искусственного интеллекта

Статья 48. Защита данных в системах искусственного интеллекта

#### ГЛАВА 9. ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Статья 49. Международные соглашения в сфере искусственного интеллекта.

Статья 50. Меры по реализации положений настоящего Закона.

## Заключение

Таким образом, спецификой модельного закона «Об искусственном интеллекте» является необходимость построения концепции опережающего правового моделирования и включения в нормотворческий процесс вопросов оценки технологического воздействия, позволяющих свести к минимуму риски необоснованных решений и избежать отрицательного воздействия технологических достижений на человечество.

Подводя итог сказанному, к предмету правового регулирования в рассматриваемой сфере можно отнести сам ИИ, технологии (системы) ИИ, отношения производства и применения систем ИИ, а также предметом выступают регуляторные государственно-властные отношения, направленные как на стимулирование развития технологий ИИ, так и на обеспечение безопасности и установление ответственности за неправомерное создание, изготовление и применение систем ИИ, повлекшие определенные, в том числе отрицательные, последствия для общественной и личной безопасности.

Отметим, что в модельном законе «Об искусственном интеллекте» должны быть определены не только состав законодательства в области ИИ, но и установлено, в каком объеме может применяться смежное законодательство: о персональных данных, об информации, техническом регулировании и др.; закреплены общие права и обязанности каждого из субъектов правоотношений. За счет улучшения прогнозирования, оптимизации операций и распределения ресурсов, а также персонализации предоставления услуг использование ИИ может поддерживать социально и экологически выгодные результаты и обеспечивать ключевые конкурентные преимущества компаниям и экономике. Такие действия особенно необходимы в секторах с высоким уровнем воздействия, включая изменение климата, окружающую среду и здоровье, государственный сектор, финансы, мобильность, внутренние дела и сельское хозяйство. Субъектами указанных общественных отношений выступают физические и юридические лица. В зависимости от сферы регулирования, субъектами права могут выступать: государство; физическое лицо – гражданин как носитель прав и обязанностей; юридическое лицо – соответствующим образом зарегистрированная организация; субъект международного права – участник международных отношений; субъект международного частного права.

## Список использованных источников

1. Globallegalinsights [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.globallegalinsights.com/practice-areas/ai-machine-learning-and-big-data-laws-and-regulations/korea#chaptercontent1>. – Date of access: 28.08.2023.
2. Petit, N. Law and Regulation of Artificial Intelligence and Robots: Conceptual Framework and Normative Implications [Electronic resource] /

N. Petit. – Mode of access: [https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=2931339](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2931339). – Date of access: 28.08.2023.

3. OECD framework for the classification of AI systems – public consultation on preliminary findings [Electronic resource]. – Mode of access: <https://oecd.ai/en/classification>. – Date of access: 28.08.2023.

УДК 004.896

## **Искусственный интеллект как платформа: развитие и применение технологии ИИ в практике подготовки данных для цифрового госуправления и автоматизации бизнес-процессов**

**Р. И. Алигаджиев, И. С. Веригин**  
ООО «Биорг»,  
Москва, Россия  
*E-mail: info@beorg.ru*

### **Введение**

Проекты с применением технологий искусственного интеллекта (ИИ) – это всегда работа с неопределенностью, но есть ряд прикладных задач, где от ИИ нужен предсказуемый результат. Доклад посвящен проблеме практического применения технологии ИИ для актуальных задач по обработке данных для государства и бизнеса. Представлены виды внедрения ИИ-решений для оцифровки аналоговых данных, оценен экономический эффект.

Анализ возможностей ИИ для прикладных задач показывает, что нейросети хорошо справляются с типовыми рутинными задачами, которые от человека требуют монотонных повторяющихся действий. Пример в бизнесе – обработка данных для банковских процедур в процессе выдачи кредитов или идентификации личности в приложении. Пример в цифровом госуправлении – повторяющиеся рутинные операции по проверке стандартных комплектов документов, необходимых для оказания госуслуг.

### **Проблема при использовании ИИ**

Ключевая проблема, характерная для всех областей оцифровки аналоговых данных с помощью ИИ, – это неизбежность ошибки, если делать ставку только на чистые технологии. Сюда входят все случаи, когда нейросетевое распознавание сталкивается с отклонениями в документах: новой структурой, рукописными данными, нестандартными шрифтами, просто с некачественными изображениями документов и т. д. Причина этому – нейросеть знает только то, чему ее уже обучили. ИИ нужно обучать непрерывно, самостоятельно он не создает новых знаний.

Есть и такие сферы обработки данных, где ИИ совсем не справляется, например сложные задачи типа оцифровки пространственных и архивных данных.

### Решение проблемы

Для перспективы развития ИИ без потерь в сфере практических задач предлагается использовать платформенный подход, когда возможности ИИ сочетаются с человеческим потенциалом. Подход реализуется с применением облачных (SaaS) технологий. Тогда оцифровка любых видов данных с высоким качеством происходит благодаря сочетанию возможностей ИИ и человеческого потенциала в рамках единого решения. Люди работают над проблемой вместе с ИИ, постоянно совершенствуя качество нейросетей. Например: автоматизация банковского конвейера, идентификация личности и создание цифрового помощника регистратора, где финальное решение всегда принимает человек.

Там, где ИИ совсем не справляется (сложные задачи типа оцифровки пространственных данных), платформа (рис. 1) дает возможность бесшовно переключаться на ручную разметку данных силами операторов-людей. Это, в частности, актуально в процессе подготовки сложных данных для нужд цифрового развития государства.

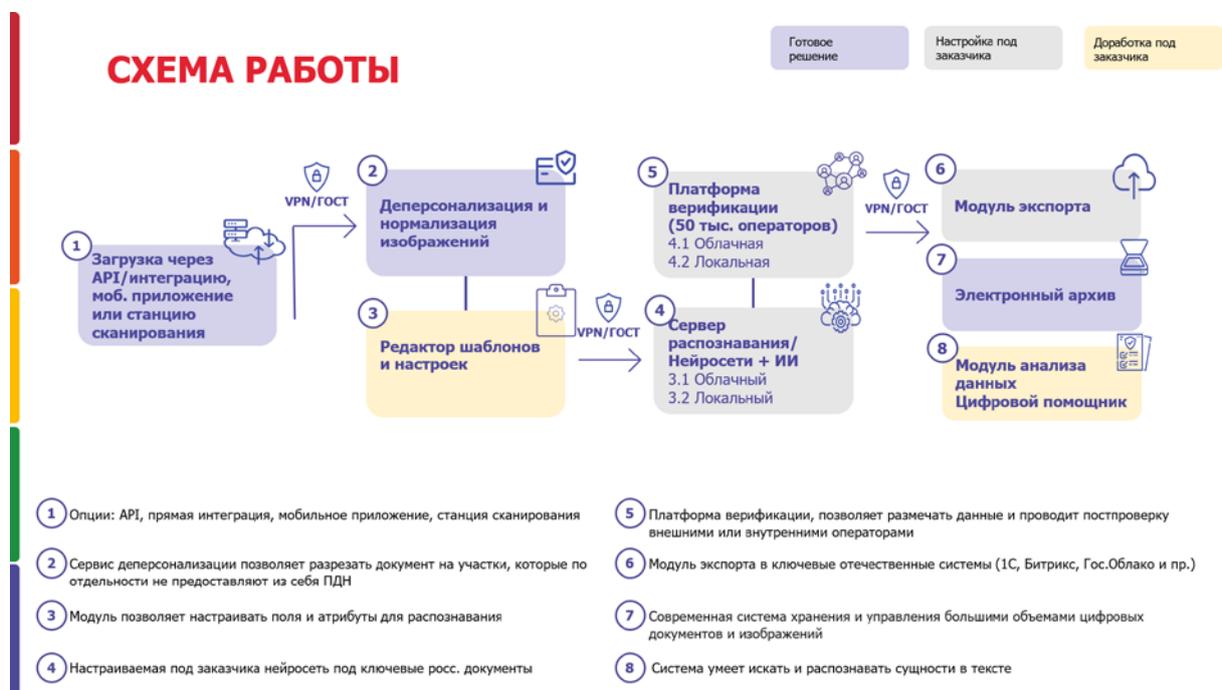


Рис. 1. Схема работы ИИ-платформы

Пользоваться ИИ в системе цифрового госуправления можно только при условии высокой точности и полноты электронной информации.





Рис. 3. Результат внедрения ИИ-платформы в бизнес-процесс

### Заключение

В настоящий момент очевидно, что применение чистых ИИ-технологий не дает желаемого эффекта в сфере таких практических задач, как перевод аналоговых данных в электронный вид – основополагающего процесса при переходе к экономике данных. Достичь желаемого эффекта, т. е. получать массив полных, качественных и непротиворечивых данных, возможно за счет применения комбинированных платформенных решений облачного типа. Такая платформа, объединяя возможности ИИ и контроль за технологией со стороны человека, может стать универсальной площадкой для перевода любых типов аналоговых данных в электронный вид и одновременного обучения нейросетей, которые с каждым разом будут показывать более высокое качество обработки данных.

В докладе были использованы собственные проекты компании «Биорг» в области оцифровки данных с применением технологий компьютерного зрения, машинного обучения и обработки естественного языка.

УДК 683.324

## Искусственный интеллект в науке и мироздании

В. А. Артамонов✉, Е. В. Артамонова  
Международное научное общественное объединение «МАИТ»,  
Минск, Беларусь  
E-mail: artamonov@itzashita.ru

### Введение

Технологии искусственного интеллекта (ИИ) проникают во все сферы жизни. Наука – не исключение. Ученые начинают использовать машинное обучение все активнее, и за ним уже есть реальные научные достижения. Но это лишь прелюдия: ИИ появился не для того, чтобы просто помочь с расчетами, текстами и ответами на запросы пользователей. Его роль в будущем масштабнее – он усилит наше мышление, указывая на взаимосвязи, которые человеческому уму на первый взгляд не видны. Это приведет к изменению самой науки как способа познания мира. Ученые полагают, что у нее появится новый способ проникнуть в еще неизведанные тайны мироздания [1].

Условия для таких перемен уже почти созрели. Поток данных, который скоро захлестнет науку, поставит ученых в положение, в котором прежние поколения не оказывались, ведь раньше данных всегда не хватало. Теперь же, например, в космологии и физике в ближайшее десятилетие появятся огромные массивы данных от ускорителей, токамаков и телескопов. Один только радиотелескоп *Square Kilometer Array*, запуск которого запланирован на вторую половину 2020-х гг., будет ежегодно генерировать примерно столько же трафика, сколько недавно давал весь Интернет. Еще один растущий поток данных пойдет из биоинформатики и нейробиологии.

Другая тенденция – вал научных публикаций. Сегодня один ученый не в силах отследить и прочесть все статьи, выходящие по его (ее) узкой тематике. Приходится выбирать только те, которые на виду и активно цитируются. Поскольку так поступают все, то лавина новых публикаций лишь укрепляет наиболее цитируемые статьи, фактически замедляя научный прогресс. Для человека уже невозможно физически разобрать большую долю работ и оценить изложенные в них идеи, даже если тратить все время только на чтение.

Но и сама научная инфраструктура (ускорители, симуляции процессов, базы данных) вскоре достигнет таких масштабов и сложности, что

управлять ею в реальном времени с помощью простых правил и процедур не получится. Кроме того, ученые исследуют климат, экономику, экосистемы, психику человека. Иными словами, то, над чем работают ученые, и то, на чем они работают, становится чрезвычайно сложным и запутанным. Препрежные методы науки не рассчитаны на такую сложность. Поэтому когнитивные технологии ИИ в виде нейронных сетей пришли как раз вовремя.

### **ИИ в решении проблем математики**

На протяжении большей части XX столетия в «чистой» платоновской математике<sup>1</sup> царило замечательное единодушие относительно того, как нужно представлять результаты. Весь предмет сводился к комплексу теорем, каждая из которых, в конечном счете, выводилась из фиксированного набора аксиом путем строгого логического доказательства. В отдельных разделах математики справедливость аксиоматики выглядела самоочевидной, однако во многих случаях аксиомы попросту очерчивают рассматриваемую область вопросов. Для математиков, если только они не выходили за рамки математики, выступая в роли философов-любителей, принципиального различия между изобретением и открытием новых концепций не было.

Однако в настоящее время в математической науке полного единодушия не наблюдается: конструктивисты признают лишь строгое, алгоритмически доказуемое понятие существования, которое более приемлемо с точки зрения прикладной математики, математического анализа, теории числовых методов и математической логики, нежели с точки зрения «чистой» абстрактной математики.

Работы Курта Геделя<sup>2</sup> в 1930-е гг. привели к первому кризису платоновской математики, о которой речь шла выше [2]. Он продемонстрировал, что в рамках любой достаточно богатой системы аксиом найдутся утверждения, которые невозможно ни доказать, ни опровергнуть. Он же установил недоказуемость непротиворечивости арифметики. Им было доказано, что континуум-гипотеза либо истинна, либо ложна вне зависимости от нашей способности доказать или опровергнуть ее. Теоремы Геделя носят чисто технический характер и не проводят принципиальной границы между истиной и доказуемостью в чисто математическом понимании, без при-

---

<sup>1</sup> Платонизм в философии математики (или математический платонизм) – это метафизическая точка зрения, согласно которой существуют абстрактные математические объекты, существование которых не зависит от нас, нашего языка, мышления и практики. Как электроны и планеты существуют независимо от нас, так и числа, и множества. Концепция платонизма принадлежит античному философу и математику Платону (428/427 или 424/423 – 348/347 до н. э.).

<sup>2</sup> Курт Фридрих Гедель (1906–1978) – австрийский логик, математик и философ математики, автор фундаментального открытия, показавшего ограниченность аксиоматического метода.

внесения элемента внешних философских предпосылок использования ИИ для разрешения данного противоречия. Вместе с тем в 1970-х гг. в математике произошли новые кризисы, столь же непредсказуемые, как и кризис, вызванный работой Геделя. Новые кризисы связаны с проблемой переусложненности: доказательства стали настолько длинными и сложными, что ни один ученый не взял бы на себя смелость однозначно подтвердить или оспорить их правильность. Например, более двух сотен страниц доказательства одной теоремы из теории групп проверяли нейросетью *Coq*.

Математика становится сложнее, длина доказательств растет, и неизвестно, справится ли разум человека с такой нарастающей сложностью в будущем. Эти кризисы в философской литературе широко не обсуждались, хотя как раз именно они сказались на математическом мышлении и отношении математиков к своей науке значительно серьезнее, чем кризис, вызванный теоремами Геделя. Наконец-то апологеты платоновской математики осознали необходимость кибернетического подхода в виде применения нейронных сетей глубокого машинного обучения для решения проблем переусложненности доказательств. Вполне вероятно, что ИИ станет не просто помощником, но и коллегой – будет открывать и затем доказывать новые теоремы.

### **ИИ в решении фундаментальных проблем физики**

Что касается физики, то ученые уже используют машинное обучение для анализа данных, полученных в ходе экспериментов на Большом адронном коллайдере, от нейтринных детекторов и наблюдений темной материи, и открыто признают, что ИИ должен им помочь в поисках концепций новой фундаментальной физики. Здесь потребуются «ловить иголки в стоге сена», т. е. в огромном объеме многомерных данных замечать очень редкие и тонкие аномалии. Они и приведут к новой физике за пределами существующей стандартной модели.

Также ИИ играет все более важную роль в ядерной физике. Он используется для анализа данных, теоретического моделирования и проведения экспериментов, способствуя продвижению технологических инноваций и ускорению фундаментальных исследований, например, в области сбора и анализа ядерных и атомных данных.

«Есть вещи, которые мы, люди, просто не можем сделать», – признает Брант Робертсон, профессор астрономии и астрофизики из UCSC (Калифорнийский университет). Вместе с аспирантом он создал нейросетевую программу *Morpheus*, обучив ее на снимках глубокого космоса от телескопа Хаббл. Программа сканирует новые космические снимки высокого разрешения и выделяет на них звезды и разные типы галактик. Даже на небольшом участке неба рассыпаны миллионы объектов, и опять же – нейросеть различает их все. Помимо классификации галактик, машинное

обучение в астрофизике уже используют для поиска пульсаров и сверхновых звезд, а также для изучения свойств звезд. Для того чтобы проанализировать неисчислимое количество объектов на снимках глубокого космоса, нужен искусственный разум – обычного человеческого уже недостаточно.

Смотреть можно не только с Земли на небо, но и в обратном направлении. Спутники шлют снимки поверхности планеты, и тогда желательно очистить их от шума вроде облаков, теней, дыма и разных артефактов. Компании «Роскосмоса» («Российские космические системы», НИИ ТП и ТЕРРА ТЕХ) разработали программу на основе нейросетей, которая удаляет все подобные шумы, оставляя на снимках информацию, важную для навигации, изучения недр и прочих нужд.

Подобные примеры использования ИИ, а их будет все больше, строятся на одной ключевой особенности нейросетей глубокого машинного обучения – они исключительно хорошо учатся находить взаимосвязи и закономерности, скрытые в данных, а также сопоставлять одни паттерны с другими. Для исследователей это настоящая находка.

Есть и другое ожидание. Как пишут российские исследователи, рассуждая о роли ИИ в науке, он мог бы взять на себя вопросы, которыми ученые пренебрегают просто в силу сложившегося научного мышления. Как подметил физик Константин Новоселов<sup>3</sup>: «Физики в целом не любят задач, которые не описываются небольшим количеством красивых уравнений. Поэтому, если возникает необходимость написать уравнение в полстраницы, физик скорее всего решит, что в его рассуждении что-то пошло не так». Здесь ИИ как раз может помочь в работе с «некрасивыми» громоздкими уравнениями математической физики.

### **ИИ как стимулятор новых открытий в биологии, кристаллографии и неорганической химии**

Вероятно, первым крупным успехом нейросетей глубокого машинного обучения в науке стало предсказание трехмерной структуры белка. Любой белок – это замысловато свернутая цепочка аминокислот, от чего и зависит его функция. Вычислить 3D-форму, зная только цепочку, трудно и дорого. В компании *DeepMind* обучили нейросеть *AlphaFold* на структурах, которые уже были решены экспериментально, а затем использовали ее для белков, по которым решения нет. По сути, *AlphaFold* предсказывает расстояния между парами аминокислот и углы между их связями и таким образом дает прогноз пространственной структуры с точностью до атома. И если в 2021-м г. *DeepMind* отчиталась предсказанием по 350 тысячам

<sup>3</sup> Константин Новоселов (род. в 1974 г., Нижний Тагил, Россия) – российский и британский физик, лауреат Нобелевской премии по физике 2010 г.

белков, что стало громким научным событием, то в 2023 г. уже получены вероятные структуры почти всех известных науке белков, а это свыше 200 миллионов молекул. Авторы разместили их в открытой базе данных, поэтому теперь биологи всего мира могут легко найти 3D-структуру любого белка, что ценно не только для фундаментальных исследований, но и, например, для разработки лекарств.

Глубокое обучение нейронных сетей также используют в российском Центре искусственного интеллекта НИУ ВШЭ для изучения вторичных структур ДНК. Основная задача – найти расположение функциональных элементов на двойной спирали. Это ключ к пониманию работы генома, ведь именно с такими участками ДНК связываются активные молекулы, влияющие на экспрессию генов. Также в Центре искусственного интеллекта используют нейросети для предсказания трехмерных структур антител.

Похожим образом в неорганической химии ученые пытаются предсказывать кристаллические структуры. Знание структуры вещества позволяет судить о его свойствах, но для этого нужно найти расположение его атомов, которое обладает наименьшей энергией, оно и будет стабильной формой вещества. Артем Оганов<sup>4</sup>, профессор Сколтеха и РАН (он создал в МФТИ лабораторию компьютерного дизайна материалов), занимается дизайном материалов и использует машинное обучение, чтобы избежать громоздких квантово-механических расчетов. ИИ находит стабильные структуры гораздо быстрее, порой ускоряя поиск в тысячи раз. В лаборатории Оганова нейросеть обучают на данных о кристаллических структурах, для которых расчет уже произведен и их энергия известна. По мере обучения ИИ улавливает связь между расположением атомов и энергией и далее использует это «понимание» для предсказания энергии любых новых структур. Это открывает возможность изучать свойства веществ в условиях, которых никто не наблюдал (например, если они находятся глубоко в мантии Земли), и «сочинять» новые материалы с заданными свойствами.

Тот же принцип работает и в квантовых технологиях. Например, физики из МФТИ, ФТИАН и Университета ИТМО создали нейронную сеть, которая предсказывает, «глядя» на схему узлов и связей системы, будет ли та обладать квантовым преимуществом. Проще говоря, подходит ли ее конфигурация (граф) для создания на ее основе квантовых систем. Если чуть сложнее, дадут ли квантовые блуждания внутри этой схемы выигрыш в скорости вычислений.

Почему нейросетям удастся получать такие результаты? Ответ прост: прогноз будет надежен, если в данных содержится устойчивый паттерн,

---

<sup>4</sup> Артем Ромаевич Оганов (род. 3 марта 1975 г.) – российский кристаллограф-теоретик, минералог, химик, педагог, профессор Сколтеха и РАН. Наиболее известен работами по созданию методов компьютерного дизайна новых материалов и предсказания кристаллических структур, а также по химии высоких давлений и изучению вещества планетных недр.

который отражает некую фундаментальную закономерность. Скажем, за свертыванием всех белков стоит одна и та же биофизика, поэтому корреляции, пойманные ИИ в обучающей выборке, актуальны и для всех прочих белковых молекул. За счет этого, оказалось, удается решать множество самых разных задач в физике, кристаллографии или химии, не решаемых путем прямого использования формул и вычислений.

### **Искусственный интеллект на службе исторической науки**

Историческая наука в силу своей гуманитарной направленности долгое время находилась в некотором отдалении от современных информационно-компьютерных технологий (ИКТ). Однако четвертая промышленная революция (Индустрия 4.0.) и сопутствующая ей цифровая трансформация (ЦТ) социума внесли свои коррективы в эту, несомненно, важную для общества отрасль знания.

Рассмотрим данный вопрос на конкретном историческом примере расшифровки рукописей Императора Петра I, о котором рассказал директор Санкт-Петербургского института истории РАН Алексей Сиренов<sup>5</sup>: «В 2022 г. Россия отпраздновала 350 лет со дня рождения первого российского императора – Петра Великого. Личность и наследие выдающегося реформатора по сей день вызывают интерес историков, а юбилейная дата позволила глубже всмотреться в прошлое императора и тщательнее изучить его рукописное наследие. Последнее не так просто поддается пониманию, поскольку Петр Великий писал быстро, не ограничивая себя использованием только кириллицы или латиницы. Когда мы начинали работать над проектом «*Digital Peter*», я был искренне уверен, что почерк Петра I сложен для восприятия. Ранее я никогда не занимался его рукописями. Сфера моих интересов – более ранние документы и источники. Но еще со студенческих времен я встречал автографы Петра I и его трудночитаемый почерк. И в процессе работы над проектом «*Digital Peter*» я убедился, что почерк Петра I действительно достаточно неразборчив (рис. 1), но особой проблемы для историков это не представляет в связи с использованием современных ИКТ.

Петр I не страдал дисграфией. Он был человеком, который много и быстро писал. В этом и состоит своего рода культурный феномен. В рукописях Петра проявляется культура Нового времени. И в этом отношении автографы Петра I вызывают большой интерес. Конечно, большая часть источников – это не документы, написанные самим Петром. В основном это комментарии к чужому тексту, но они не менее интересны.

---

<sup>5</sup> Алексей Владимирович Сиренов – доктор исторических наук, член-корреспондент Российской академии наук, директор Санкт-Петербургского института истории РАН.

Что нового мы узнали о личности Петра благодаря проекту «*Digital Петр*»? Проект был инициирован Российским историческим обществом и «Сбером», который хотел преподнести подарок стране к юбилею Петра I. Российское историческое общество пригласило для участия в проекте сотрудников Санкт-Петербургского института истории РАН. С одной стороны, нам было интересно принять в нем участие, но, с другой стороны, мы понимали, что шансов на успех мало.

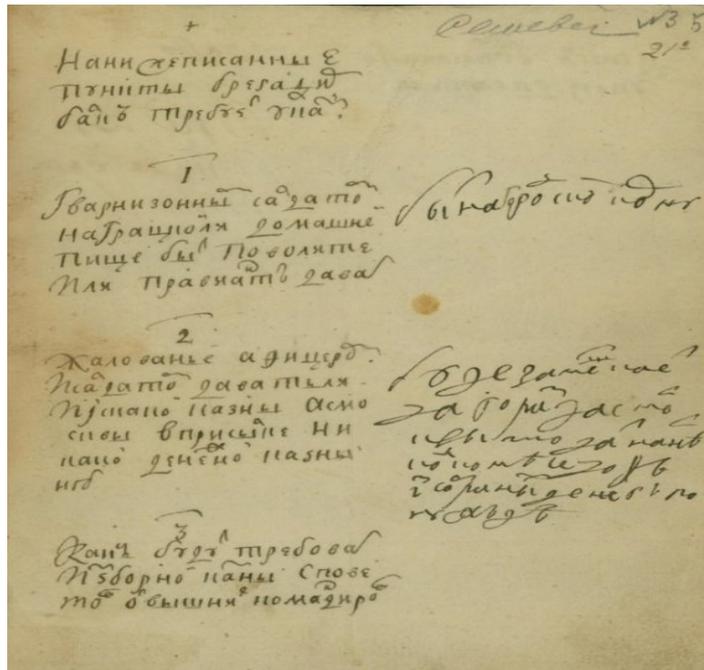


Рис. 1. Образец подчерка Петра I

В мире уже существуют аналогичные программы по чтению рукописных текстов, и некоторые из них адаптированы для анализа кириллических текстов. При этом степень точности остается невысокой. Те же автографы Петра I практически не воспринимаются этими программами. Поэтому мы были готовы к тому, что результат будет отрицательным.

Тем не менее в результате тестирования нейросетевая программа проекта «*Digital Петр*» смогла правильно прочесть 97 % рукописей. Впоследствии, когда специалисты стали загружать больше документов, выяснилось, что процент правильного прочтения более ранних документов ниже. Во многом это связано с тем, что мы работали с документами второй половины царствования Петра.

Проект создавался также в помощь тем археографам, которые готовят документы Петра I к изданию в честь 350-летия. В процессе работы рукописи Петра I стал читать весь коллектив проекта, в том числе молодые ученые и аспиранты. В какой-то момент подключились студенты Высшей школы экономики. На мой взгляд, этот проект важен для решения серьез-

ной прикладной задачи. Сообщество историков нуждается в программах машинного чтения скорописного текста. В настоящее время архивы, библиотеки, музеи выкладывают на своих сайтах десятки, а то и сотни исторических документов. Как правило, это сканы или фотографии рукописей, которые в лучшем случае сопровождаются кратким описанием. Искать в подобном формате информацию весьма затруднительно. Как мне кажется, подобные документы необходимо дополнять научной информацией. И программы машинного чтения документов, на мой взгляд, – лучший инструмент для реализации этой задачи. Любой пользователь сможет найти интересующую его информацию с помощью этой программы.

Когда звучат аргументы в пользу методов искусственного интеллекта, приводится контраргумент, что, дескать, не для каждого почерка можно разработать программу и что сложные почерки ИИ не по зубам. Но мы сами убедились, что одни из самых сложнейших документов с точки зрения почерка – автографы Петра I – читаются нейросетевой программой с легкостью» [3].

### Когнитивные технологии ИИ

Какие же новые технологии принес ИИ в научное познание мира. Трендом последнего времени стала нейросеть глубокого машинного обучения *ChatGPT*, разработанная компанией *Open AI* [4]. *ChatGPT* представляет собой инновационную технологию, которая может быть использована в различных приложениях для улучшения пользовательского опыта и повышения эффективности работы. Благодаря использованию глубокого обучения и технологии трансформеров *Chat GPT* может генерировать точные и качественные ответы на вопросы и является важным инструментом для автоматизации различных задач.

Нейросеть *ChatGPT* – это большая языковая модель, обученная OpenAI, которая использует глубокое обучение для генерации текста и ответов на вопросы. Языковая модель – это алгоритм, который предсказывает следующее слово по предыдущим. Большие языковые модели демонстрируют так называемые эмерджентные способности – умение решать задачи, с которыми они раньше не встречались.

Данная модель была создана на основе технологии трансформеров, которая позволяет модели обрабатывать большие объемы текста и понимать связи между словами и предложениями.

Основная цель *ChatGPT* – предоставление пользователю качественных и точных ответов на заданные вопросы. Для этого модель использует огромный объем текстовых данных, который был подвергнут тщательной предварительной обработке. Это позволяет модели учитывать контекст вопроса и генерировать ответы, которые максимально соответствуют запросу пользователя.

Чат-бот может использоваться для решения различных задач, таких как поиск информации, ответы на вопросы, генерация текста и многих других. Эта модель может быть использована как на больших, так и на малых масштабах, она может быть адаптирована к различным типам приложений. *ChatGPT* обеспечивает множество преимуществ для пользователей и разработчиков.

Главные достоинства чат-бота:

– Высокая точность ответов на вопросы. Благодаря использованию глубокого обучения *ChatGPT* может генерировать ответы, которые точно соответствуют запросу пользователя.

– Быстрота и эффективность работы. *ChatGPT* может быстро обрабатывать большие объемы данных и генерировать ответы в режиме реального времени.

– Автоматическое обучение. *ChatGPT* может автоматически обучаться на основе новых данных, что позволяет модели постоянно улучшаться и адаптироваться к новым условиям.

*ChatGPT* представляет собой инновационную технологию, которая может быть использована в различных приложениях для улучшения пользовательского опыта и повышения эффективности работы. Благодаря использованию глубокого обучения и технологии трансформеров *ChatGPT* может генерировать точные и качественные ответы на вопросы и является важным инструментом для автоматизации различных задач.

Что особенного в *ChatGPT*? Прежде всего это то, что большая языковая модель обучалась с использованием большого количества обратных связей от пользователей, чтобы выполнять широкий спектр запросов на решение поставленного круга научных (и не только) задач. Ниже приведены основные характеристики *Chat GPT*:

- содержит 175 миллиардов параметров (объем порядка 800 Gb);
- обучающих данных порядка 45 Тб;
- стоимость обучения нейросети 4,5 млн. \$;
- эксплуатационные расходы 3 млн \$ в месяц.

### Вопросы безопасности научных данных

Как видно из предыдущего анализа использования технологий ИИ в задачах научных исследований, мы имеем дело с большим объемом информации (*Big Date*), которую нужно защищать, соблюдая при этом требования «триады безопасности» – конфиденциальность, целостность и доступность. Как правило, такие задачи возлагаются на центры обеспечения безопасности (англ. – *Security Operations Center, SOC*).

Основные задачи, выполняемые *SOC*:

– осуществлять мониторинг, искать и анализировать вторжения в режиме реального времени;

– предотвращать киберугрозы, действуя на опережение: непрерывно сканировать системы обработки и хранения данных и компьютерные сети на уязвимости и анализировать инциденты безопасности;

– быстро реагировать на подтвержденные инциденты и исключать ложные срабатывания;

– формировать отчеты о состоянии безопасности, киберинцидентах и паттернах поведения нарушителя.

Самое трудоемкое в работе *SOC* – постоянно анализировать большие объемы данных. Центр обеспечения безопасности собирает, хранит и анализирует от десятков до сотен миллионов событий безопасности ежедневно. Не забываем, что все это контролируют эксперты: они включаются в работу, когда нужно решить, что делать с найденной угрозой.

Типовая структура организации *SOC* показана на рис. 2.



Рис. 2. Организация обнаружения угроз на базе SOC

## Заключение

В данной работе сделан краткий анализ состояния исследований и разработок в области искусственного интеллекта на современном этапе и проанализированы основные актуальные направления развития в этой области, которые, по мнению авторов, определяют ближайшее будущее искусственного интеллекта как информационной технологии и дорожной карты научных исследований и прикладных проблем мироздания.

## Список использованных источников

1. Артамонов, В. А. Искусственный интеллект в науке, медицине и кино // Создание информационных технологий : сб. науч. тр. / В. А. Артамонов, Е. В. Артамонова ; под ред. В. А. Сычика. – Минск : ГП «Информационно-вычислительный центр Белстата», 2023. – Вып. 33. – С. 20–26.

2. Демидов, С. С. «Математические проблемы» Гильберта и математика XX века / С. С. Демидов // Историко-математические исследования. – 2001. – № 41 (6). – С. 84–99.

3. Сиренов, А. В. Искусственный интеллект на службе Петра I. О проекте расшифровки рукописей императора [Электронный ресурс] / А. В. Сиренов // Электр. период. изд-е «Научная Россия». – 2022. – Режим доступа: <https://scientificrussia.ru/articles/iskusstvennyj-intellekt-na-sluzbe-petra-i-o-proekte-rassifrovki-rukopisej-imperatora-clen-korrespondent-ran-aleksej-sirenov>. – Дата доступа: 06.07.2023.

4. Подробный обзор GPT-4. Как пользоваться новым ChatGPT [Электронный ресурс]. – 2023. – Режим доступа: <https://gpt-chatbot.ru/podrobnyj-obzor-gpt-4-kak-polzovatsya-novym-chatgpt>. – Дата доступа: 06.07.2023.

УДК 004.83

## Современное состояние искусственного интеллекта

А. Д. Атрошкина  
ОАО «Гипросвязь»,  
Минск, Беларусь  
*E-mail: atroshkina@giprosvjaz.by*

### Введение

Искусственный интеллект (далее ИИ) – это одна из самых эмблематичных и волнующих технологических разработок нашего времени. Он представляет собой область компьютерных наук, направленную на создание и развитие систем, способных имитировать и моделировать человеческое мышление и поведение [1].

Сегодня ИИ все больше внедряется в различные сферы нашей жизни, от медицины и финансов до автоматизации производства и транспортировки. При этом возникает ряд вопросов и дилемм, связанных с этическими и социальными аспектами использования ИИ, его влиянием на рабочие места и безопасность данных.

Интеллектуальные системы, обученные на основе обширных данных и способные принимать решения посредством анализа информации, предоставленной ими, представляют собой новую эру в человеческом развитии. Они открывают неограниченные возможности для улучшения процессов, оптимизации ресурсов и делают нашу жизнь удобнее [2].

Изучение ИИ имеет ключевое значение по ряду причин:

Во-первых, ИИ является одной из самых перспективных и быстро развивающихся технологий. Понимание ИИ позволяет нам оценивать и внедрять его потенциал в различных сферах жизни, включая здравоохранение, транспорт, финансы, производство и многое другое.

Во-вторых, ИИ имеет значительное экономическое влияние, которое сложно недооценивать или отрицать. Он способен создавать новые возможности и преобразовывать традиционные отрасли, повышая производительность, автоматизируя процессы и снижая затраты.

В-третьих, использование ИИ может полностью освободить человека от рутинных задач и тем самым повысить безопасность и эффективность работы. Однако при этом также поднимаются вопросы о занятости и социальной адаптации, что в свою очередь доказывает неоспоримое значение изучения ИИ. Исследование ИИ позволяет нам взглянуть в будущее

и успешно адаптироваться к быстро меняющемуся миру, в котором ИИ имеет все большее влияние на нашу повседневную жизнь [1].

Правительства государств всего мира осознают важность исследования и внедрения ИИ. Несмотря на то что к вопросу развития технологий на основе ИИ приковано много внимания, по большей части этот интерес ориентирован на достижение военного, политического и экономического преимущества перед другими странами путем внедрения технологии в уже запатентованную систему работы различных органов [3]. Таким образом, предполагается извлечь максимальную выгоду для своего государства из лидирующего положения среди других.

### **Оценка современного состояния ИИ**

На данный момент не существует однозначного и всеобъемлющего рейтинга стран по развитию ИИ. Так как это поле активно развивается, то оценка может меняться со временем. Однако некоторые исследования и индексы могут дать общее представление о состоянии развития ИИ в различных странах. Мы предлагаем оценить уровень развития ИИ с помощью GAI Global AI Index (Индекс развития искусственного интеллекта). Индекс разработан в сотрудничестве Института искусственного интеллекта П. Аллена и Технологического института Массачусетса (MIT). Он предназначен для оценки и ранжирования стран по развитию ИИ в различных категориях. GAI Global AI Index был запущен в 2017 году и регулярно обновляется для отражения последних изменений и трендов в сфере ИИ [4].

Методология GAI Global AI Index включает в себя сбор и анализ данных, основанных на множестве источников, в том числе академические публикации, патентную деятельность, рабочую силу ИИ и другие факторы. Информация из этих источников оценивается и используется для присвоения показателей каждой стране в различных категориях.

Категории, включенные в GAI Global AI Index:

1. Инвестиции и интенсивность исследований и разработок ИИ.
2. Качество и влияние научных исследований в области ИИ.
3. Коммерческое развитие и применение ИИ.
4. Человеческий потенциал и образование в области ИИ.
5. Государственная политика и регулирование [4].

Полученные данные и оценки в каждой категории затем суммируются для каждой страны, чтобы определить ее общий показатель развития ИИ. Индекс предоставляет ранжирование стран по их результатам, что позволяет сравнивать и анализировать развитие ИИ в различных регионах мира.

Так, в 2023 году Стэнфордский институт искусственного интеллекта, ориентированного на человека, опубликовал отчет о заметных тенденциях и достижениях в области ИИ, что может помочь государственным органам,

принимающим решения, ответственно и с соблюдением этических норм использовать ориентированный на человека подход к развитию ИИ [5].

Мы предлагаем проанализировать некоторые главы представленного отчета с целью представления основных выводов, а также выработки рекомендаций по развитию изучаемого явления в Республике Беларусь.

Отчет включает восемь глав, которые посвящены исследованиям и разработкам, техническим характеристикам, технической этике ИИ, экономике, образованию, политике и управлению, многообразию и общественному мнению. Исходя из этого мы и будем строить свой анализ.

### Исследование и разработка

Первая глава начинается с изучения публикаций по ИИ, включая статьи, материалы конференций и т. д. Далее рассматриваются данные о значимых системах машинного обучения, включая большие языковые модели. Глава завершается анализом частоты проведения конференций в сфере ИИ. Отмечен тот факт, что, хотя США и Китай продолжают доминировать в сфере исследования и разработки ИИ, количество исследований ИИ возрастает по всему миру и становится все более географически рассредоточенным [5].

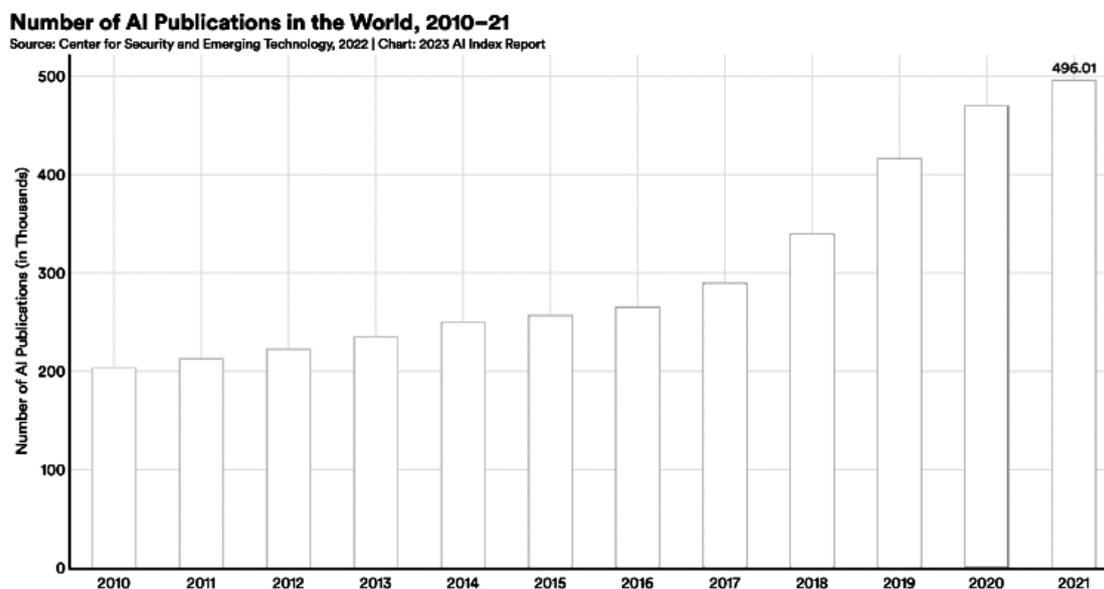


Рис. 1. Количество публикаций про ИИ по всему миру, 2010–2021 гг. [5]

С 2010 года общее количество публикаций, посвященных ИИ, увеличилось более чем вдвое (рис. 1). Темы, которые продолжают преобладать в исследованиях, включают машинное обучение и компьютерное зрение.

Кроме того, было отмечено, что наиболее значимые модели машинного обучения выпускались академическими кругами вплоть до 2014 года. Однако с тех пор коммерческие организации взяли верх, выпустив 32 зна-

чимые промышленные модели машинного обучения (в сравнении с тремя разработанными моделями из некоммерческих организаций). Это можно объяснить тем, что данного вида разработки требуют больших финансовых затрат, которыми, очевидно, в большем количестве обладают коммерческие организации.

Также в статье было отмечено, что модели ИИ быстро растут и их обучение становится все дороже. Выпущенная в 2019 году модель GPT-2 считалась первой моделью большого языка (LLM) с 1,5 миллиардами параметров, а ее обучение стоило около 50,000 2022 долларов. PaLM – одна из флагманских моделей больших языков, запущенная в 2022 году, имела 8 миллиардов параметров и стоила примерно 360 миллионов долларов – примерно в два раза больше, чем GPT-160. LLM и мультимодальные модели растут быстрее и становятся дороже по всем направлениям [5].

В главе «Технические показатели» дан анализ технического прогресса в области ИИ в течение 2022 года. К этому году в данной главе представлены анализ воздействия ИИ на окружающую среду, обсуждение того, каким образом ИИ способствовал научному прогрессу, и краткий обзор некоторых наиболее значимых последних разработок в области ИИ.

Вначале было отмечено, что ИИ одновременно и помогает, и наносит вред окружающей среде. Новое исследование предполагает, что системы ИИ могут оказывать серьезное воздействие на окружающую среду. Согласно данным, в 2022 году тренировочный рейс BLOOM выбросил в 25 раз больше углерода, чем один авиапутешественник во время перелета из Нью-Йорка в Сан-Франциско (рис. 2). Тем не менее новые модели обучения с подкреплением, такие как COOLER, показывают, что системы ИИ можно использовать для оптимизации энергопотребления.

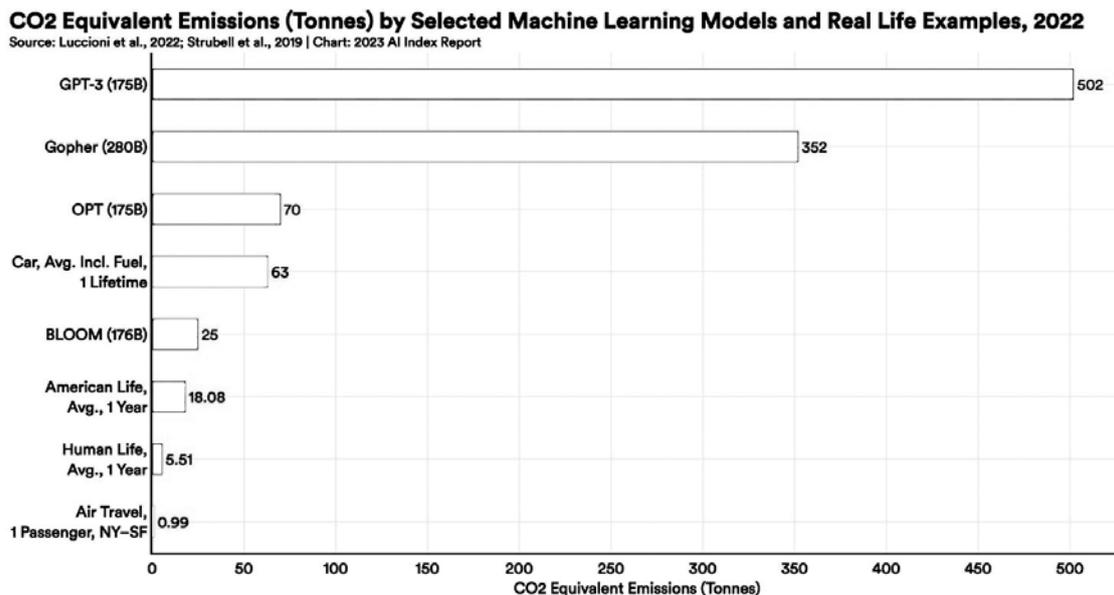


Рис. 2. Эквивалентные выбросы углекислого газа (тонны) по отдельным моделям машинного обучения, 2022 г. [5]

Более того, в главе было отмечено, что модели ИИ начинают стремительно ускорять научный прогресс и в 2022 году были использованы для содействия синтезу водорода, повышения эффективности манипулирования матрицей и генерации новых антител.

В третьей главе доклада специалисты Стэнфордского института уделили внимание этическому использованию ИИ. Они отметили, что число инцидентов, связанных со злоупотреблением ИИ, быстро растет. Согласно базе данных AIAAIC, которая отслеживает инциденты, связанные с этическим злоупотреблением ИИ, количество инцидентов и противоречий в области ИИ увеличилось в 26 раз с 2012 года. Этот рост свидетельствует как о более широком использовании технологий ИИ, так и об осознании возможностей его неправильного применения.

Четвертая глава затронула экономические тенденции, связанные с ИИ (на основе данных Lightcast, LinkedIn, McKinsey, Deloitte и NetBase Quid). Так, было выявлено, что спрос на профессиональные навыки, связанные с ИИ, растет. Во всех секторах Соединенных Штатов, по которым имеются данные (за исключением сельского хозяйства, лесного хозяйства, рыболовства и охоты), количество вакансий, связанных с ИИ, увеличилось в среднем с 1,7 % в 2021 году до 1,9 % в 2022 году. Работодатели в Соединенных Штатах все чаще ищут работников с навыками, связанными с ИИ [5].

Что касается инвестиций, то в 2022 году они составили 91,9 миллиарда долларов. Это на 26,7 % меньше, чем в 2021 году. Общее количество мероприятий по финансированию, связанных с ИИ, также сократилось. Тем не менее в целом за последнее десятилетие инвестиции в ИИ значительно выросли. В 2022 году объем частных инвестиций в ИИ был в 18 раз больше, чем в 2013 году. Более того, стоит отметить, что США лидируют в мире по общему объему частных инвестиций в ИИ.

Согласно результатам ежегодного исследовательского опроса McKinsey, доля компаний, внедряющих ИИ в 2022 году, более чем удвоилась с 2017 года, хотя в последние годы она находилась на уровне 50–60 %. Организации, внедрившие ИИ, сообщают о значительном снижении затрат и увеличении доходов.

Результаты опроса на GitHub об использовании Copilot, системы ИИ для преобразования текста в код, показывают, что 88 % опрошенных респондентов чувствуют себя более продуктивными при использовании системы, 74 % считают, что они могут сосредоточиться на работе, приносящей больше удовлетворения, и 88 % считают, что они способны быстрее выполнять задачи [5].

Кроме того, отметим, что еще в 2013 году Китай обогнал Японию как страну, устанавливающую больше всего промышленных роботов. С тех пор разрыв между общим количеством промышленных роботов, установленных Китаем, и следующей по величине страной увеличился. В 2021 го-

ду Китай установил больше промышленных роботов, чем весь остальной мир вместе взятый (рис. 3).

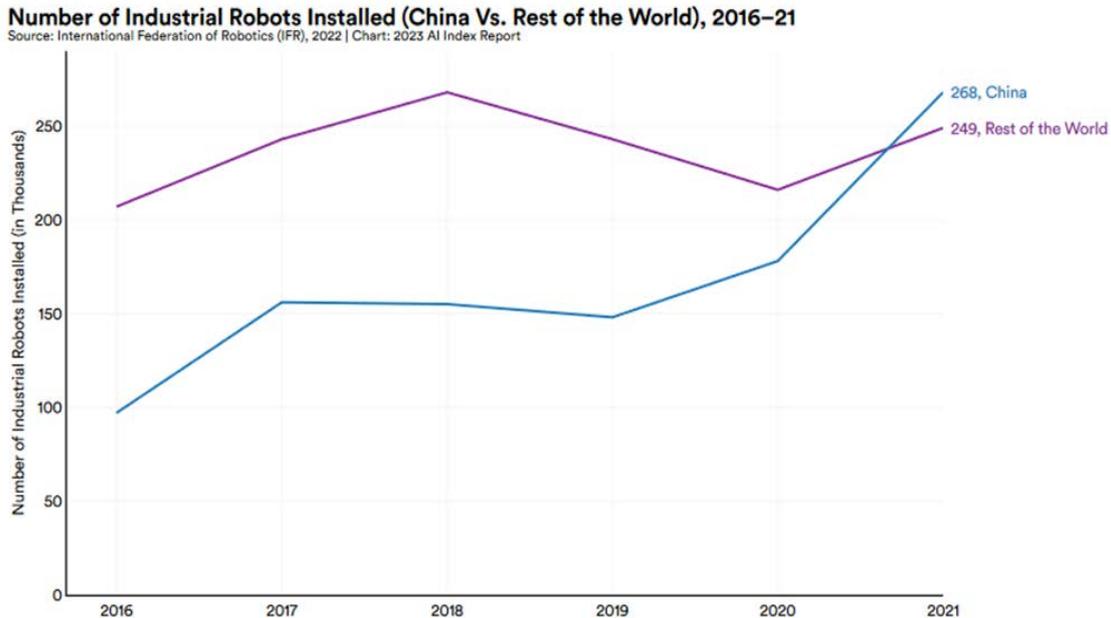


Рис. 3. Количество внедрений промышленных роботов (Китай и остальные страны), 2016–2021 гг. [5]

Перейдем к анализу шестой главы «Политика и управление». Растущая популярность ИИ побудила межправительственные, национальные и региональные организации разработать стратегии управления ИИ. Эти субъекты мотивированы осознанием того, что социальные и этические проблемы, связанные с ИИ, должны быть решены для максимизации его преимуществ. Управление технологиями ИИ стало важным для правительств по всему миру.

В главе рассматривается управление ИИ в глобальном масштабе, она начинается с выделения стран, лидирующих в разработке политики ИИ.

Анализ законодательных документов 127 стран показывает, что количество законопроектов, упоминающих ИИ, которые были приняты в качестве закона, выросло всего с одного в 2016 году до 37 в 2022 году. Анализ парламентских отчетов по ИИ в 81 стране также показывает, что его упоминания в законодательных процедурах возросли почти в 6,5 раз с 2016 года [4].

Наконец, стоит заметить, что в главе, которая посвящена изучению общественного мнения, отмечено, что жители Китая входят в число тех, кто наиболее позитивно относится к продуктам и услугам на базе ИИ. Согласно проведенному в 2022 году опросу, 78 % китайских респондентов (самая высокая доля опрошенных стран) согласились с утверждением, что продукты и услуги на базе ИИ имеют больше преимуществ, чем недостатков. После китайских респондентов наиболее положительно к продуктам

ИИ отнесли респонденты из Саудовской Аравии (76 %) и Индии (71 %). Согласно Индексу доля россиян, согласных с данным утверждением, составила 53 %. Только 35 % опрошенных американцев (один из самых низких показателей среди обследованных стран) согласились с тем, что продукты и услуги, использующие ИИ, имеют больше преимуществ, чем недостатков [5].

### **Заключение**

На основании проделанной работы можно выделить некоторые рекомендации для Республики Беларусь по осуществлению более эффективного развития ИИ.

Во-первых, в стране следует больше инвестировать в создание специализированных центров ИИ, где научные и технические специалисты смогут сотрудничать, обмениваться знаниями и разрабатывать передовые технологии.

Во-вторых, стоит уделять больше внимания поддержке стартапов, занимающихся развитием ИИ, путем осуществления финансовой и юридической помощи. Объективно это поможет привлечь талантливых специалистов, которые смогут разработать инновационные продукты и решения.

В-третьих, следует внедрять ИИ в государственные службы. Это нужно для того, чтобы повысить эффективность и качество предоставляемых услуг. ИИ способен автоматизировать многие процессы, анализ данных и прогнозирование.

Наконец, в-четвертых, стоит уделить особое внимание регулированию этических и правовых аспектов. Важно разработать этические и правовые фреймворки для использования ИИ, однако необходимо обеспечить безопасность и прозрачность внедрения технологий ИИ, защиту данных и прав человека. Важно разобраться, каковы границы ИИ, определить этические нормы его использования и разработать механизмы контроля, чтобы обеспечить безопасность и справедливое использование этой новой технологии.

Таким образом, ИИ необходим как инструмент для улучшения государственных услуг, повышения безопасности, развития экономики и принятия обоснованных решений. Внедрение ИИ позволит государствам стать более умными, эффективными и конкурентоспособными в быстро меняющемся мире.

### **Список использованных источников**

1. Пройдаков, Э. М. Современное состояние искусственного интеллекта / Э. М. Пройдаков // Науковедческие исследования 2018 : сб. науч. тр. – М. : ИНИОН РАН, 2018. – С. 129–153.

2. Соколов, И. А. Теория и практика применения методов искусственного интеллекта / И. А. Соколов // Вестник Российской академии наук. – 2019. – Т. 89, № 4. – С. 368.

3. Ильин, А. С. Роль искусственного интеллекта в управлении [Электронный ресурс] / А. С. Ильин, Г. М. Панченко, М. В. Ковалева // Academy. – 2018. – № 12 (39). – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/rol-iskusstvennogo-intellekta-v-menedzhmente>. – Дата доступа: 24.10.2023.

4. Индекс ИИ 2023 (Отчет Стэнфордского университета) [Электронный ресурс] : Обзор Центра правовых исследований искусственного интеллекта и цифровой экономики кафедры предпринимательского Юридического факультета МГУ им. М. В. Ломоносова, Апрель 2023. – Режим доступа: <https://www.law.msu.ru/uploads/dropzone/Обзор%20%2004.231682697439.pdf>. – Дата доступа: 24.10.2023.

5. The AI Index 2023 Annual Report [Electronic resource] // AI Index Steering Committee, Institute for Human-Centered AI, Stanford University. – Mode of access [https://aiindex.stanford.edu/wp-content/uploads/2023/04/HAI\\_AI-Index-Report\\_2023.pdf](https://aiindex.stanford.edu/wp-content/uploads/2023/04/HAI_AI-Index-Report_2023.pdf). – Date of access: 15.09.2023.

УДК 004.912

## **Интеллектуальная система поддержки принятия решений в области космической деятельности**

И. М. Бойко, Д. С. Писаревский, А. А. Мацко  
УП «Геоинформационные системы»,  
Минск

*E-mail: igobimigo@yahoo.com, pi\_sar@mail.ru, mr.armik@mail.ru*

### **Введение**

В настоящее время наиболее используемым источником информации является Интернет. Найденная информации позволяет не только получать ответы на конкретные запросы, но и отслеживать тенденции технологического развития в различных прикладных областях. В данной статье понятие «тенденция» формулируется как основное направление, определяющее развитие чего бы то ни было в рассматриваемой области деятельности. Выявление тенденций развития помогает корректировать это развитие, планировать его, создавать условия для получения эффекта. Знание тенденций с позиций управления есть предвидение событий, что является необходимым условием эффективного планирования работ [1].

Важно не просто выявлять тенденции, но и тщательно их фильтровать, а также понимать причины и следствия развития технологий, потому что количество новых технологий исчисляется тысячами. Если вовремя заметить, что какое-то новшество в скором времени может стать прорывным, то, возможно, стоит сконцентрироваться на изучении технологии развития этого новшества. Пример промышленных революций только подтверждает это. Цифровая революция, персональные компьютеры, Интернет – кто инициировал и помог их развить, тот и оказался впереди.

Определенно, интеллектуальные системы сбора, хранения и обработки информации, дополненные функцией анализа для выявления технологических тенденций, во-первых, пригодятся любому аналитику и стратегу в его текущей работе и, во-вторых, окажут поддержку лицам, принимающим решения. В настоящее время информационно-аналитическая интеллектуальная система (ИАИС), реализующая все эти функции, разрабатывается в УП «Геоинформационные системы».

### **Технологии обработки информации для выявления тенденций**

На рис. 1 показаны основные технологии, применяемые при разработке ИАИС. Сначала собираются данные, которые проходят лингвистиче-

ский анализ и структуризацию. После этого в автоматизированном режиме строится онтология сущностей, являющаяся семантическим ядром системы и, по сути, служащая базой знаний (БЗ) заданной предметной области. При этом сущности могут быть как однословными, так и состоящими из нескольких слов, например: аппарат, космический аппарат, Белорусский космический аппарат. Между сущностями задаются смысловые отношения [2, 3]. На рис. 2 показан пример онтологии, построенной с помощью редактора онтологий Protégé [4].

При поиске по запросу информации в БЗ происходит лингвистический анализ запроса, после чего не только осуществляется поиск выделенных сущностей в БЗ, но и рассматриваются отношения между ними.



Рис. 1. Технологии обработки информации для выявления тенденций

Каждая сущность в БЗ получает свой расчетный вес и связана с набором текстов, из которых она была извлечена. Каждое смысловое отношение также получает свой вес в зависимости от общей частотности его использования различными сущностями. Наличие веса сущностей и их отношений позволяет рассчитать веса целых веток или подветок сущностей в онтологии. Именно эти веса и являются основой для аналитики выявления тенденций с использованием методов статистики и методов машинного обучения.

Следует подчеркнуть, что поскольку в систему непрерывно поступают новые тексты, то после их лингвистической обработки веса сущностей пересчитываются. Периодичность пересчета зависит от количества поступлений новых текстов.

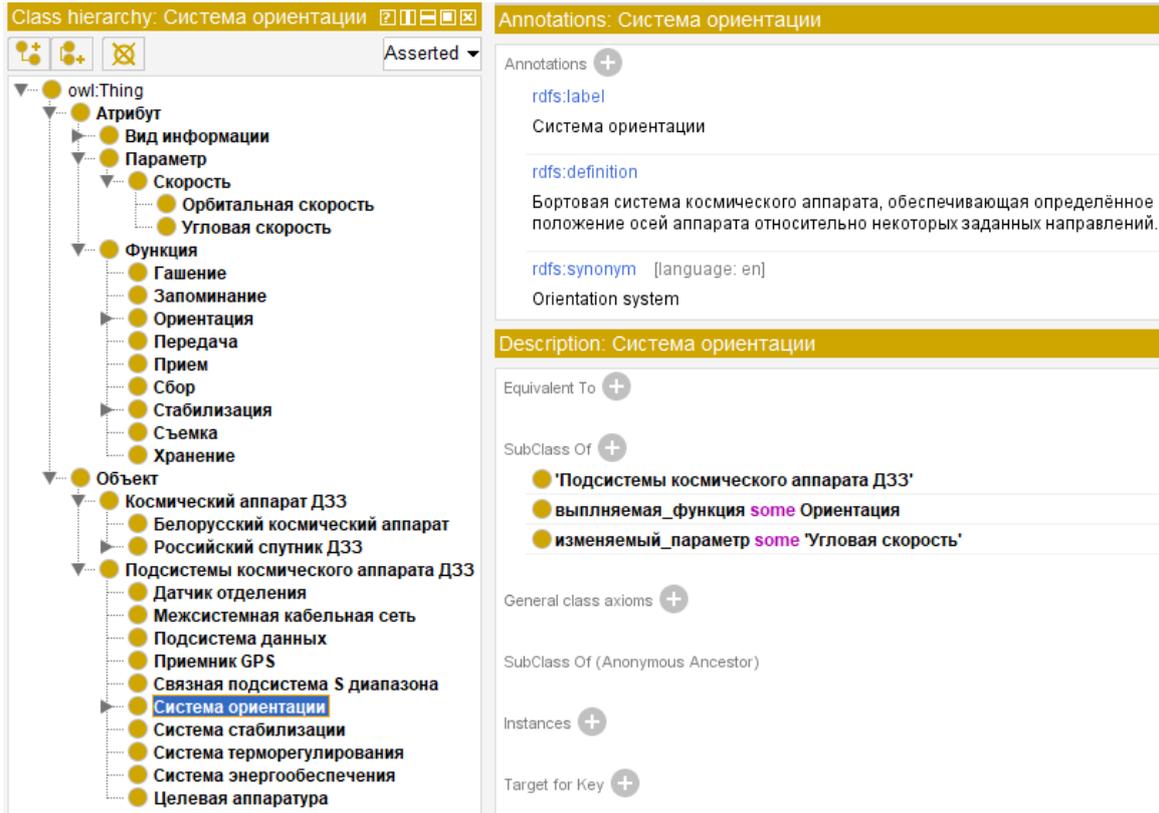


Рис. 2. Онтология – семантическое ядро

### Поток обработки информации для выявления тенденций

На рис. 3 показана последовательность выявления тенденций.



Рис. 3. Поток обработки информации для выявления тенденций

При разработке системы на первом этапе обрабатывались тексты, как правило содержащие информацию, уже имеющую некоторый срок давно-

сти, поскольку публикация осуществляется после их длительного времени накопления издательством и рецензирования, например: тезисы научных конференций, научные статьи в журналах, патенты, профильные стандарты и др. Затем осуществлялся этап сбора информации из новостных веб-источников, как RSS-каналов, так и стандартных новостных интернет-страниц.

После лингвистической обработки, включающей в себя определение сущностей-аналогов и синонимов, все выделенные сущности располагаются в ветках онтологии, для них рассчитываются веса и устанавливаются указатели на текстовые источники, хранящиеся в БЗ.

Теперь по требованию пользователя, определяющего период и тип публикаций, например: с 2020 по 2023 г. только журналы и новости, происходит вычисление весов хранящихся в онтологии сущностей, определяющих тенденции.

Окончательное решение, на какие тенденции обратить внимание, принимает эксперт или лицо, принимающее это решение.

### **Перспективы развития системы**

Перспективным представляется использование универсального семантического кода (УСК). УСК является моделью семантического представления знаний и задает аксиомы вывода одних знаний из других [5, 6]. С помощью УСК можно вывести последовательности выполнения действий в триадах субъект-действие-объект. Последовательности таких триад не являются произвольными и исчисляются с помощью набора семантических аксиом. Предполагается, что, вычисляя веса таких последовательностей, можно будет выявлять не только некоторые тенденции, но и их последовательную эволюцию.

Подход с использованием УСК в данный момент находится в стадии исследования и требует глубокой практической проработки.

### **Заключение**

По существу, ИАИС – это платформа для расчета количественных оценок тенденций в заданной предметной области на регулярной основе, за полгода, за год или даже за месяц, поскольку новостная информация поступает ежедневно из множества интернет-источников.

Как правило, в средних и больших компаниях поисками прорывных технологий занимается подразделение стратегических инициатив, исследующее профильную предметную область. В результате мониторинга тенденций определяется список технологий, которые компания может начать развивать в ближайшее время.

С увеличением количества анализируемой информации добавляются новые характеристики, влияющие на веса в источнике, и расширяются списки источников информации. При этом улучшается качество моделей и алгоритмов, чтобы минимизировать ошибки классификации и кластеризации.

### Список использованных источников

1. Возглавляя тренды, часть вторая [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/companies/rostelecom/articles/538900/>. – Дата доступа: 28.08.2023.

2. Золотой, С. А. Методология построения интеллектуального интернет-сервиса на основе онтологии для использования в области космической деятельности / С. А. Золотой, И. М. Бойко, С. Д. Писаревский // Проблемы инфокоммуникаций. – 2021. – № 2(14). – С. 59–66.

3. Бойко, И. М. Программный комплекс семантического поиска информации в области космической деятельности / И. М. Бойко, Д. С. Писаревский, А. А. Мацко // Восьмой Белорусский космический конгресс : материалы конгресса : в 2 т., Минск, 25–27 окт. 2022 г. – Минск : ОИПИ НАН Беларуси, 2022. – Т. 1. – С. 56–59.

4. A free, open-source ontology editor and framework for building intelligent systems [Electronic resource]. – Mode of access: <https://protege.stanford.edu/>. – Date of access: 28.08.2022.

5. Мартынов, В. В. В центре сознания человека / В. В. Мартынов. – Минск : БГУ, 2009. – 272 с.

6. Boyko, I. Semantic Coding for Semantic Knowledge Inference / I. Boyko // Proc. of the Open Semantic Technologies for Intelligent Systems Conf. (OSTIS-2017), Minsk, 16–18 Febr. 2017. – Minsk: BSUIR, 2017. – P. 158–161.

УДК 004.031

## Инструментальная система автоматизации решения задач многокритериального четкого и нечеткого выбора

Д. П. Бураков

Петербургский государственный университет  
путей сообщения императора Александра I,  
Россия

С. В. Микони, Б. В. Соколов ✉

Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр РАН  
*E-mail: sokolov\_boris@inbox.ru*

### Введение

Конечной целью любой решаемой задачи является либо выбор наилучшего объекта  $x \in X$ , либо выбор класса  $k \in K$ , которому в наибольшей степени принадлежит рассматриваемый объект. Здесь  $X$  – множество сопоставляемых объектов, а  $K$  – множество классов.

Выбор наилучшего объекта осуществляется решением задачи оптимизации, а выбор класса – решением задачи классификации. Востребовано совместное решение задач обоих классов, например, в задачах упорядочения объектов оно выражается через применение предикатов предпочтения «не более» ( $\leq$ ) и «не менее» ( $\geq$ ), а в задачах классификации наряду с предикатами соответствия «равно» ( $=$ ) и принадлежность интервалу  $([,])$  участвуют предикаты предпочтения [1].

Мышлению присуща неопределенность. В экспертных системах неопределенность моделируется нечетким выводом с коэффициентами уверенности суждений, а в задачах аксиоматической классификации – нечеткой логикой. Расплывчатым границам между понятиями и величинами ставятся в соответствие функции принадлежности классам, истинность суждений моделируется коэффициентами уверенности, предпочтения измеряются качественными единицами. Отсюда следует неточность выбора как отсутствие стопроцентной гарантии его положительного исхода.

Примером неточного оценивания является завышенный рейтинг европейских облигаций, который был вычислен на компьютерной модели рейтингового агентства Moody's и стал одной из причин финансового кризиса 2008 г. [2]. Помимо рейтинговых агентств программные средства для автоматизации выбора на конечном множестве альтернатив разрабатываются в университетах и научных лабораториях. Как следует из обзоров [3–6], все

они ориентированы на определенные классы задач. В промышленном применении системы многомерного оценивания встраиваются в специализированные информационные системы, такие как Oracle.

Ограниченность в методах выбора не гарантирует достоверность результатов. Для повышения доверия к получаемым результатам требуются имитационное моделирование с целью подгонки параметров модели под ожидаемые результаты и перепроверка решения задачи разными методами. При решении сложных задач необходимо комплексное использование различных методов. Этим требованиям отвечает отечественная система выбора и ранжирования СВИРЬ. Разработанная на языке C++ она успешно применялась для решения практических задач, например, типовой задачи, описанной в [1, 2]. В настоящее время классифицирование объектов востребовано по многим показателям. В новой версии системы СВИРЬ таким вопросам уделено повышенное внимание. Кроме того, язык Java, использованный для программирования системы, позволяет сопрягать ее модули с модулями внешних систем. В докладе излагаются особенности обновленной системы СВИРЬ.

### Модели задач оптимизации на конечном множестве альтернатив

Отношение векторного доминирования  $R_{pr,y}$  применяется для отбора претендентов на лучший объект из множества  $X$  по значениям показателей  $Y$ . Бинарное отношение  $R_{pr,y} \subseteq Y \times Y$  на множестве векторов  $Y$  порождает бинарное отношение предпочтения на множестве объектов (альтернатив)  $R_{pr,x} \subseteq X \times X$  по правилу

$$\exists x_i, x_k \in X : \mathbf{y}(x_i) \succ_{R_{pr,y}} \mathbf{y}(x_k) \Leftrightarrow x_i \succ_{R_{pr,x}} x_k. \quad (1)$$

Векторы  $\mathbf{y}(x_i) = (y_{i1}, \dots, y_{ij}, \dots, y_{in})$ ,  $i = \overline{1, N}$ , сравниваются друг с другом покомпонентно по заданному для каждого показателя критерию, а правило (1) обобщает индивидуальные предпочтения.

Отношение векторного доминирования и его разновидность – доминирование по Парето – является простейшей и наиболее объективной оценкой соотношения объектов, но в общем случае не позволяет получить линейного порядка.

*Многоцелевая оптимизация.* Линейный порядок на конечном множестве объектов удастся получить, переходя к количественным оценкам объектов с применением оценочных функций (ОцФ). Назначением ОцФ являются переход от шкалы значений каждого показателя к единой шкале для всех показателей, а также задание предпочтений ЛПП на делениях исходной шкалы. Единая шкала дает возможность выполнять алгебраические операции над ОцФ показателей с целью получения обобщенных оценок

сопоставляемых объектов. Операции по выбору наилучшего объекта по  $n$  показателям выполняются в следующей последовательности [4]:

1. В зависимости от требования, предъявляемого к  $j$ -му показателю, вычисляется оценочная функция  $f_j: Y_j \rightarrow Y$ ,  $j = \overline{1, n}$ . Как правило,  $Y \in [0, 1]$ . Если для каждого объекта  $x$  требования индивидуальны, то  $f_j: Y_j \times X \rightarrow Y$ .

2. Выполняется обобщение частных оценок каждого объекта  $x$  с применением выбранной обобщающей функции (ОФ):  $f_{\text{ОФ}}: Y \times \dots \times Y \times X \rightarrow Y$ .

3. В зависимости от направления оптимизации ( $\min/\max$ ) по обобщенным частным оценкам присваивается ранг  $\rho \in P$  каждому объекту:  $f_{\text{ord}}: X \times Y \rightarrow P$ .

4. Выполняется упорядочение объектов по рангам  $R = X \times P = \{(x_i, \rho_i)\}$ ,  $i = \overline{1, N}$ .

5. Выбирается лучший объект  $x^* = \arg(\min_i \rho(x_i))$ .

### Модели задач классификации по многим показателям

Оценочной функцией, применяемой в задачах аксиоматической классификации, является функция принадлежности  $\mu_k(x) \in [0, 1]$  объекта  $x$   $k$ -му классу,  $k = \overline{1, m}$ . Значение  $\mu_{kj}(x) = 1$  означает полную принадлежность объекта  $x$   $k$ -му классу по  $j$ -му показателю, а значение  $\mu_{kj}(x) < 1$  – частичную принадлежность  $k$ -му классу.

Под аксиоматической классификацией понимается отнесение оцениваемого объекта к одному из  $m$  классов, заданных экспертным путем. Число классов  $m$  обычно не превышает десяти. Каждый класс характеризуется формой и границами с соседними классами. Наиболее простые формы у треугольной и трапецидальной функций принадлежности. Различные виды соотношения границ между тремя соседними классами представлены на рис. 1.

На рис. 1 классы обозначены: «норма» (Н), «меньше нормы» (МН), «больше нормы» (БН). Верхний вариант показывает общие границы между классами, средний вариант – отсутствие общих границ, а нижний – нечеткие границы с частичной принадлежностью соседним классам.

Важным частным случаем применения трех классов является задача отслеживания (мониторинга) состояния объекта. Отклонение от нормы в любую сторону (МН и БН) расценивается как нарушение нормы (верхняя часть рис. 2). В этом случае части трапецидальной функции принадлежности норме разделяются на три класса: полное соответствие норме (Н), отклонение от нормы в меньшую сторону (МН) и отклонение в большую сторону (БН). Смешанные классы с четкими и нечеткими границами этой модели изображены в нижней части рис. 2.

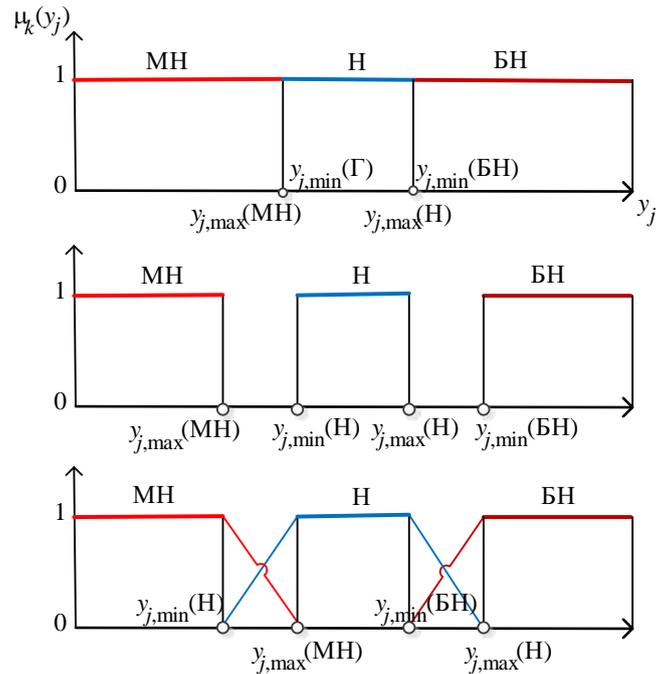


Рис. 1. Варианты принадлежности трем классам

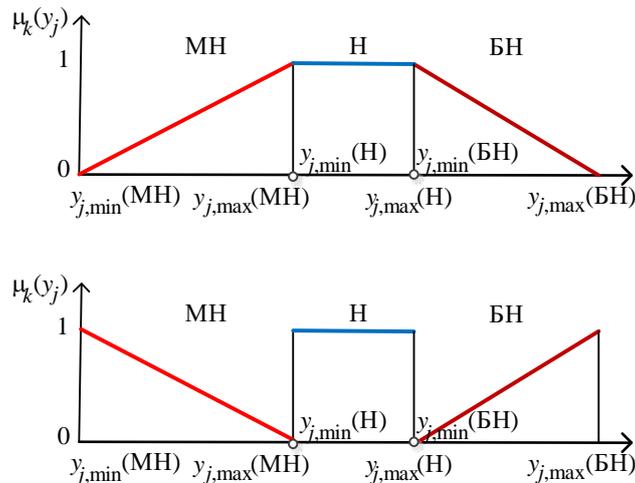


Рис. 2. Класс принадлежности норме и классы отклонений от нормы

### Задачи упорядочения объектов

В системе СВІРЬ задачи упорядочения объектов решаются на матричной и табличной моделях сопоставления объектов.

*Матричная модель* объединяет результаты попарного сопоставления всех оцениваемых сущностей (объектов, показателей), поэтому и называется матрицей парных сравнений (МПС). МПС применяется как самостоятельно для вычисления приоритетов (весов) сущностей в задачах многоцелевой оптимизации, так и в составе метода аналитической иерархии (МАИ).

Предпочтение одной сущности над другой можно выражать его наличием (фактом) парой  $(1, 0)$ , кратностью  $(z, 1/z)$ , интенсивностью, измеряемой долями единицы  $(a, 1 - a)$ , соотношением выигрышей и потерь. Реализован пересчет одного вида предпочтений в другой.

МПС может порождаться либо экспертами, либо на основе векторной оценки объектов по  $j$ -му показателю. В МПС кратности предпочтений реализовано автоматическое заполнение пустых клеток матрицы на каждом шаге ее построения. Вычисляются показатели «Выраженность предпочтений» и коэффициенты порядковой и количественной согласованности.

*Табличная модель* представляет собой таблицу «Объекты/Показатели». На этой модели решаются как задачи доминантного анализа, так и многоцелевой оптимизации. В отличие от последовательного оценивания объектов по каждому показателю в методе МАИ табличная модель дает возможность параллельного сопоставления объектов по всем показателям.

При решении задач многоцелевой оптимизации (МЦО) для каждого показателя строится ОцФ [5]. В зависимости от вида применяемых ОцФ в рамках МЦО решается упорядочение:

- 1) критериям;
- 2) функциям ценности;
- 3) функциям полезности;
- 4) функциям отклонения от цели;
- 5) индивидуальным планам.

Область значений ОцФ в задачах 1) и 2) находится на униполярной шкале ее графика, а в задачах 3)–5) – на биполярной. Это обусловлено потребностью отражения не только выигрышей, но и потерь относительно цели, заданной для каждого показателя. Первые две задачи могут решаться совместно, поскольку ОцФ критерия и ценности различаются лишь нелинейностью последней.

В задаче 5) каждый объект оценивается по процентам выполнения своих плановых заданий, заданных для каждого показателя. Это позволяет сопоставлять объекты, несравнимые по имеющимся у них ресурсам.

### **Задачи классификации объектов**

Такие задачи различаются количеством и типами заданных классов. Из них выделяют задачи отклонения от нормы, имеющие широкое практическое применение, а они, в свою очередь, разделены на задачи оценивания и управления. Назначением задач оценивания является выявление факта и величины отклонения значения показателя от одной из границ интервальной нормы. Объектом оценивания выступает состояние объекта, характеризующегося большим количеством показателей.

В задаче управления отклонению каждого показателя от нормы сопоставляется управляющее воздействие на исполнительную подсистему с целью сохранения устойчивости всей системы. Такого рода задачи решаются в ситуационном управлении объектами.

### Подготовка исходных данных

Для создания модели предметной области (ПрО) в системе СВИРЬ-М наиболее целесообразно использовать табличный процессор общего назначения Excel. Там исходные данные оформляются в виде двух таблиц: «Характеристика объектов» и «Шкалы и нормы». В первой таблице объекты характеризуются значениями показателей, во второй – задаются требования к этим значениям.

Шкалы и нормы

Шкалы и нормы	П1	П2	П3	П4	П5	П6
МинГШ	0	0	0	0	0	0
МаксГШ	10	10	10	10	10	10
НГН	4	4	4			*
ВГН	5	4		5	*	
Требования	[4, 5]	= 4	≥ 4	≤ 5	→10	→ 0
	Интервал	Равно	Снизу	Сверху	Max	Min

Верхняя строка обеих таблиц (кроме первой клетки) содержит показатели, характеризующие объекты. Левый столбец таблицы «Характеристика объектов» содержит названия объектов. В левом столбце таблицы «Шкалы и нормы» обозначаются минимальная (МинГШ) и максимальная (МаксГШ) границы шкалы показателя.

В задачах оценивания относительно цели или нормы в качестве требований используются следующие предикаты (ограничения):

- 1) интервал  $y_j \in [c_n, c_b]$ ;
- 2) равно  $y_j = c_j$ ;
- 3) не менее (ограничение снизу)  $y_j \geq c_j$ ;
- 4) не более (ограничение сверху)  $y_j \leq c_j$ .

За базовое требование к значениям показателя принята интервальная норма 1, имеющая нижнюю ( $c_n$ ) и верхнюю ( $c_b$ ) границы. Нижняя и верхняя границы интервала порождают две строки требований к показателям: нижнюю (НГН) и верхнюю (ВГН) границы нормы.

Ограничению «равно» соответствует равенство границ интервала  $c_n = c_b$ . Ограничение «снизу» (не менее)  $y_j \geq c_j$  задается помещением  $c_j$  в клетку нижней, а ограничение «сверху» (не более)  $y_j \leq c_j$  – в клетку верхней границы интервала. Максимизация и минимизация значений показателя помечаются звездочкой на верхней и нижней границах интервала.

В задачах классификации шкалы классов формируются автоматически при задании числа классов исходя из равенства их шкал. При вводе требований из таблицы «Шкалы и нормы» границы шкалы и классов из макета классов масштабируются в шкалу и классы каждого показателя.

В задаче классификации вместо нижней и верхней границ нормы задаются нижняя и верхняя границы *класса*. В соответствии с принятым количеством классов  $1 \leq k \leq t$  на шкале показателя формируется  $k$  пар строк с указанием НГК и ВГК. Для различения классов каждой паре строк присваивается имя соответствующего класса: (НГК Имя класса  $k$ , ВГК Имя класса  $k$ ).

В таблице приведены правила задания в процессоре Excel таблицы «Шкалы и нормы» для ввода исходных данных в задачах оценивания относительно цели или нормы на примере шкалы  $[0, 10]$ .

Примеры задания всех видов ограничений для условных показателей П1–П6 приведены под таблицей.

### Настройка модели

Предложенное кодирование требований к показателям позволяет реализовать автоматическое построение ОцФ для каждого показателя, привязанное к решаемой задаче. В отсутствие предпочтений ЛПР на делениях шкалы показателя все ОцФ создаются линейными либо кусочно-линейными. Для учета предпочтений ЛПР на шкале показателя и для изменения границ шкал и норм в системе СВирЬ предусмотрена индивидуальная настройка каждого показателя. Она имеет особое значение при малом количестве показателей, когда существенное влияние на результаты оценивания оказывает вид ОцФ.

### Интерфейс системы

Система имеет контекстно-зависимый интерфейс, детализируемый в процессе построения модели решаемой задачи. В центральной части экрана размещены три секции: «Характеристика объектов», «Формулирование задачи» и «Решение». На рис. 3 активирована секция «Формулирование задачи».

Имя показателя	Диапазон значений		Участие в задаче	Шкала	Вес	Оценочная функция
	Наименьшее	Наибольшее				
Взлетная масса МВЗЛ, кг	454.00	1800.00	Показ			
Масса боевой нагрузки, МБН, кг	100.00	478.00	Показ			
Полезная нагрузка	0.17	0.34	Участие	[0.17, 0.34]	1.00	

Рис. 3. Секции решения задачи

На рис. 4 в левую часть экрана выводится структура показателей, а в правую часть – окно «Настройка задачи», в центре показаны исходные данные листовой таблицы «Технический». Первые два показателя используются в качестве аргументов вычисляемого показателя «Полезная нагрузка», подлежащего оцениванию.

The screenshot shows a software interface with three main components:

- Left Panel:** A tree structure of indicators under the heading "БЛА 0,3-2,0". The sub-structure includes "Экономический", "Характеристика БЛА", "Тактический", "Технический" (highlighted in blue), "Боевой", and "Выживаемость".
- Center Panel:** A table titled "Характеристика объектов" with the following data:

№	Идентификатор	Взлетная ма...	Масса боево...	Полезная нагр...
1	1	454.00	100.00	0.22
2	2	640.00	220.00	0.34
3	3	650.00	150.00	0.23
4	4	1180.00	350.00	0.30
5	5	1200.00	200.00	0.17
6	6	1300.00	400.00	0.31
7	7	1350.00	345.00	0.26
8	8	1500.00	400.00	0.27
9	9	1634.00	478.00	0.29
10	10	1800.00	350.00	0.19
- Right Panel:** A "Настройка задачи (1 из 1)" dialog box with the following settings:
  - Предварительный отбор:  По ограничениям,  По предпочтениям
  - Основная задача:  Не выбрана,  Упорядочение,  Выбор
  - Метод решения:  Доминантный анализ,  Многоцелевая оптимизация
  - Способ оценивания:  Прямой,  Сравнительный
  - Использовать оценочные функции:
  - Область значений оценочных функций:  Униполярная,  Биполярная
  - Обобщающая функция:  Аддитивная,  Мультипликативная,  Гармоническая,  Максимальная,  Произвольная

Рис. 4. Структура показателей, исходные данные и настройка задачи

The screenshot shows a software interface with a table titled "Решение" and the following data:

Идентификатор	Экономичес...	Характерис...	Наименование БЛА	Страна	Общая оценка	Ранг
9	1.000	0.863	MQ-1C Грэй Игл	США	0.93	1
4	0.615	0.485	Гермес 900	Израиль	0.55	2
8	0.308	0.693	Вин Лун-1D	Китай	0.50	3
6	0.385	0.460	Импакт 1300	Израиль	0.42	4
10	0.462	0.356	Рустом-2	Индия	0.41	5
3	0.308	0.466	Байрактар ТВ2	Турция	0.39	6
2	0.154	0.464	Дозор-600	Россия	0.31	7
7	0.000	0.503	СН-4В	Китай	0.25	8
1	0.269	0.099	Форпост-М	Россия	0.18	9
5	0.154	0.128	Орион-1 (Э)	Россия	0.14	10

Рис. 5. Количественные и порядковые (ранги) оценки БЛА

Вычисления выполняются на встроенном калькуляторе. В правом столбце таблицы на рис. 3 показан вид ОцФ показателя «Полезная нагрузка». По умолчанию она является монотонной линейной возрастающей функцией, соответствующей критерию «Полезная нагрузка» → max.

В секции «Настройка задачи» осуществляется выбор класса задачи, метода ее решения, способа оценивания объектов, шкалы ОцФ и вида функции, обобщающей частные оценки показателей. Обобщенные оценки вычисляются на каждом уровне иерархии, т. е. для любого составного показателя. Информация, выводимая в секцию «Решение» для корневой таблицы иерархии, приведена на рис. 5.

### Аналитика

В системе реализован аналитический аппарат, необходимый для оценивания исходных данных и результатов оценивания объектов.

*Анализ исходных данных.* Выполняется анализ объектов на сопоставимость. Два объекта относятся к разным классам, если по некоторому показателю их значения различаются не менее чем на половину шкалы.

Количественная оценка взаимозависимости показателей в предположении случайного характера их значений измеряется коэффициентом парной корреляции. Для вычисления достоверных значений коэффициента парной корреляции число объектов должно быть не менее семи.

Взаимозависимость показателей одной таблицы представляется в виде квадратной корреляционной матрицы, элементами которой являются коэффициенты парной корреляции.

Вызов корреляционной матрицы осуществляется в разделе «Характеристика объектов» выбором пункта «Показать корреляционную матрицу» в контекстном меню, всплывающем по правой кнопке мыши или по иконке.

*Анализ результатов.* Результаты решения задачи представляются в табличной форме. Каждому объекту ставится в соответствие качественная или количественная оценка.

Для облегчения анализа результатов используется цветность оценок. Приемлемые результаты окрашиваются зеленым, а неприемлемые – красным цветом. Помимо табличной формы для представления результатов используется когнитивная графика.

Результаты упорядочения объектов представляются графиком общих оценок с применением пяти цветов в порядке улучшения оценок – от красного до голубого. Желтая линия соответствует среднеарифметическому значению критерия. Значения, находящиеся от нее в диапазоне  $\pm 20\%$ , относятся к средним. Значения, попавшие в критическую область (свыше  $80\%$  от среднеарифметического значения), окрашиваются в красный цвет, а в противоположную область – в голубой. Промежуточные значения окрашиваются в оранжевый и зеленый цвета соответственно.

Вклад показателей в общую оценку представляется круговыми диаграммами и процентными соотношениями.

Результаты классификации иллюстрируются таблицей численных оценок принадлежности объекта разным классам.

Сравнение результатов, полученных при разных условиях и разными задачами с сопоставимыми результатами, представляется в табличной форме и сопровождается численными оценками различия. В задаче упорядочения объектов табличную форму дополняет графическая форма различия результатов.

### **Заключение**

Выбор является одной из важнейших операций процесса мышления. Его моделирование сопряжено с решением проблем неопределенности исходных данных и предпочтений ЛПР. Уточнение и обоснование результата выбора требует проведения различных экспериментов по обучению модели под предпочтения ЛПР с применением различных методов.

Этим требованиям отвечает инструментальная система СВИРЬ, обладающая следующими свойствами: различные методы многомерного оценивания объектов реализуются на единой табличной модели «Объекты/Показатели»; методы оценивания различаются видом ОцФ; линейные и кусочно-линейные ОцФ строятся автоматически при вводе в систему требований ЛПР к показателям; учет предпочтений ЛПР на шкале показателя реализуется переходом от линейных к нелинейным ОцФ; система обладает средствами для количественного анализа данных и результатов; визуальный анализ информации в системе облегчается применением когнитивной графики; максимально облегчены все операции по проектированию и правке модели выбора, в том числе с применением мыши; исходные данные и требования ЛПР к показателям задаются в популярном табличном процессоре Excel; язык программирования Java пригоден для сопряжения модулей системы СВИРЬ с внешними системами управления.

Система СВИРЬ предназначена для выполнения НИОКР, проведения фундаментальных системно-кибернетических исследований, консультационной работы, обучения студентов практическим навыкам принятия решений, использования модулей во внешних системах [7; URL: <http://litsam.ru>].

Исследования проводились в рамках бюджетной темы FFZF–2022–0004.

### **Список использованных источников**

1. Микони, С. В. Теория принятия управленческих решений / С. В. Микони. – СПб. : Лань, 2015. – 448 с.
2. Тратас, Д. Вопрос цены / Д. Тратас // Газета «Коммерсантъ». – 2008. – № 90. – 28 мая. – С. 20.

3. Хабарова, Д. С. Обзор программных комплексов многокритериальной оптимизации / Д. С. Хабарова // Прикладная информатика. – 2013. – № 2(44). – С. 102–112.

4. Городецкий, В. И. Искусственный интеллект: метафора, наука и информационная технология / В. И. Городецкий, Р. М. Юсупов // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2020. – № 5. – С. 282–293.

5. Отчет СПИИРАН за 2022 г. по проекту с Центром Сильного искусственного интеллекта в промышленности Университета ИТМО в рамках договора Университета ИТМО с Аналитическим центром при Правительстве Российской Федерации. – СПб. : СПИИРАН, 2022.

6. Velasquez, M. An Analysis of Multi-Criteria Decision Making Methods / M. Velasquez, P. T. Hester // Intern. J. of Operations Research. – 2013. – Vol. 10, no. 2. – P. 56–66.

7. Микони, С. В. Система выбора и ранжирования «СВИРЬ» / С. В. Микони // Труды Междунар. конгресса «Искусственный интеллект в XXI веке», Дивноморское, 3–8 сент. 2001 г. – М. : Физматгиз, 2001. – Т. 1. – С. 500–507.

8. Микони, С. В. Обоснование и классификация оценочных функций, применяемых в рейтинговых методах многокритериального выбора / С. В. Микони, Д. П. Бураков // Информатика и автоматизация. – 2020. – Вып. 19 (6). – С. 1131–1165.

УДК 004.94

## Применение генеративной модели LSTM глубокого обучения для дизайна потенциальных ингибиторов вируса иммунодефицита человека

Д. А. Воробьев, А. Д. Карпенко, А. В. Тузигов, А. М. Андрианов  
Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси,  
Минск

### Введение

На сегодняшний день задача открытия новых лекарственных препаратов является весьма востребованной и важной для мирового сообщества. Многие заболевания, в том числе с неизвестной этиологией, которые в недавнем прошлом считались неизлечимыми, были изучены с помощью исследований *in silico*. Компьютерное моделирование лекарственных препаратов в настоящее время является важным инструментом, который может значительно сократить время и затраты, необходимые для разработки новых терапевтических средств. С помощью исследований *in silico* была значительно ускорена разработка препаратов для терапии многих заболеваний, таких как вирус иммунодефицита человека, хронический миелоидный лейкоз, COVID-19, сахарный диабет, лекарственно-устойчивый туберкулез и др. [1–3].

Так, одна из основных задач при открытии новых лекарств состоит в поиске новых подходящих кандидатов в лекарственные препараты. Современные химические базы данных содержат миллионы различных веществ, что делает невозможным поиск подходящего соединения без использования автоматизированных методов поиска. В то же время необходимо, чтобы автоматизированный поиск мог не только отбирать соединения с известными свойствами, но и прогнозировать новые молекулы с желаемыми физико-химическими параметрами. Для реализации этого подхода была разработана процедура виртуального скрининга химических баз данных.

Применение алгоритмов глубокого обучения может ускорить и удешевить процесс разработки лекарств. Кроме того, использование методов машинного обучения позволяет получать соединения, отсутствующие в существующих химических базах данных. Таким образом, методы машинного обучения могут помочь разработать новые соединения, которые будут более эффективными ингибиторами данной молекулярной мишени, чем известные в настоящее время лекарственные препараты.

Целью настоящей работы был поиск новых мощных ингибиторов сайта связывания CD4 белка оболочки ВИЧ-1 gp120 с использованием генеративной модели LSTM в сочетании с методами виртуального скрининга на основе фармакофоров и молекулярного моделирования.

Чтобы достичь поставленной цели, были решены следующие задачи: (i) выбор подходящей модели генеративной нейронной сети, основанной на удобстве входных данных и скорости обучения и генерации; (ii) формирование обучающего набора данных, включающего соединения, способные специфически и эффективно взаимодействовать с CD4-связывающим сайтом gp120; подготовка терапевтической мишени и молекулярный докинг; (iii) обучение модели автоэнкодера; (iv) генерация ряда новых низкомолекулярных соединений, потенциально активных по отношению к gp120; (v) оценка значений энергии связывания полученных соединений с gp120 путем молекулярного докинга; (vi) анализ данных молекулярного докинга и отбор ведущих соединений, перспективных для разработки новых эффективных ингибиторов белка оболочки gp120 ВИЧ-1.

### **Архитектура автоэнкодера LSTM**

В выбранной модели автоэнкодера [4] слои LSTM используются для обработки входных данных, после чего состояния из этих слоев объединяются на объединяющем слое, образуя вложения. Эти вложения предварительно обрабатываются полностью подключенным слоем и объединяются на объединяющем слое с данными о нейроне, ответственном за энергию связи соединения, образуя скрытое пространство.

Полученные элементы скрытого пространства передаются в декодер, где они используются для создания состояний уровня LSTM. Для этого данные из скрытого пространства передаются на два независимых полностью подключенных уровня, а затем их выходные данные передаются в виде краткосрочных и долгосрочных состояний на уровень LSTM. Входные данные уровня LSTM совпадают с теми, которые ожидаются на выходе нейронной сети. Это позволяет повысить производительность декодера и ускорить обучение модели. Выходные данные с уровня LSTM далее поступают на полностью подключенный уровень с функцией активации softmax, которая используется для получения вероятностей следующего символа в выходных данных. Для всех остальных полностью подключенных слоев использовалась функция активации ReLU, а для слоев LSTM – функция активации tanh. Общая схема этой модели автоэнкодера на основе LSTM показана на рис. 1.

### **Подготовка входных данных**

Перед обучением нейронной сети был сформирован обучающий набор данных из 77 184 низкомолекулярных соединений. С этой целью

кристаллическая структура мощного ингибитора проникновения ВИЧ-1 NBD-14204, связанного с белком вирусной оболочки gp120 (PDB ID: 8F9Z) [5], была использована для создания фармакофорной модели этого противовирусного средства, проведения виртуального скрининга химических баз данных на основе фармакофоров (Pharmit; <https://pharmit.csb.pitt.edu>) [6] и молекулярного докинга (AutoDock Vina; <https://vina.scripps.edu>) [7].

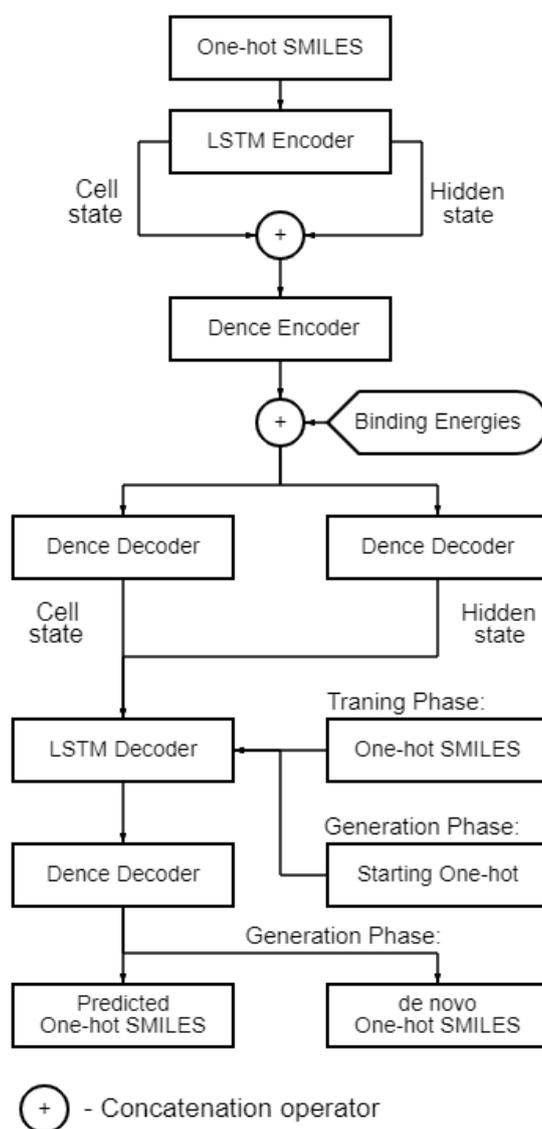


Рис. 1. Архитектура модели автоэнкодера на основе LSTM

Модель фармакофора представляет собой набор стерических и электронных свойств, необходимых для обеспечения оптимального молекулярного взаимодействия с конкретной биологической мишенью и запуска (или блокирования) ее биологического ответа [8, 9].

Для запуска виртуального скрининга файл, описывающий комплекс NBD-14204/gp120 в crystal (PDB ID: 8F9Z) [5], был загружен из базы дан-

ных PDB [10] и обработан с использованием программного пакета UCSF Chimera [11] и веб-сервера SWISS-MODEL – инструмента открытого доступа для автоматизированного сравнительного моделирования трехмерных белковых структур [12]. Виртуальный скрининг проводился с использованием химических баз данных веб-сервиса Pharmit [6], в частности ChEMBL30, ChemDiv, ChemSpace, MCULE-ULTIMATE, MolPort, NCI, LabNetwork и ZINC-15. В то же время было использовано «правило пяти» Липински [13] с последующей фильтрацией соединений по среднеквадратичным отклонениям между признаками запроса и признаками попадающего соединения [14] и ограничением значения энергии связи [6].

Перед молекулярным докингом атомы водорода были добавлены к восстановленной структуре ВИЧ-1 gp120 с помощью программного пакета UCSF Chimera [11]. Неполарные атомы водорода были удалены из структуры белка с помощью AutoDockTools-1.5.7 [15], а исходный файл был переведен из формата .pdb в формат .pdbqt, необходимый для AutoDock Vina [7].

Молекулярный докинг, автоматизированный компьютерный алгоритм, позволяющий определить положение лиганда в активном центре белка и рассчитать значения свободной энергии связывания, был выполнен в приближении жесткого рецептора и гибких лигандов. Ячейка сетки для стыковки включала сайт связывания CD4 gp120 и имела следующие параметры:  $\Delta X = 21,5 \text{ \AA}$ ,  $\Delta Y = 21 \text{ \AA}$ ,  $\Delta Z = 25 \text{ \AA}$  с центром в  $X = 2,4 \text{ \AA}$ ,  $Y = 16,57 \text{ \AA}$ ,  $Z = 11,95 \text{ \AA}$ . Значение параметра исчерпываемости, который определяет количество прогонов отдельных образцов, было равно 100.

После молекулярного докинга данные были перенесены в формат SMILES canon [16] и для каждой строки было сгенерировано пять строк в формате SMILES, где каждая строка SMILES начиналась с атома, отличающегося от других в исходной структуре, что позволило расширить набор обучающих данных до 385 920 соединений. Кроме того, соединения, в которых символы встречались реже, чем в 0,07 % случаев, были удалены из обучающего набора данных.

Чтобы предоставить входные данные, строки SMILES были преобразованы методом однократного кодирования в матрицы, в которых первым символом добавляется «!», а символы «E» добавляются после фактической последовательности SMILES в конец строки. В этих матрицах индексы в строке из 120 символов расположены горизонтально, а словарь символов, составленный на основе обучающего набора данных, расположен вертикально.

### Обучение автоэнкодера

Категориальная перекрестная энтропия (CCE) использовалась в качестве функции потерь и рассчитывалась по формуле

$$CCE(s) = -\sum_{s_i \in s} p(s_i) \log q(s_i), \quad (1)$$

где  $p(s_i)$  и  $q(s_i)$  – истинная и прогнозируемая вероятности генерации символа  $s_i$  строк соответственно.

Данная функция является классическим подходом, используемым в машинном обучении для решения задач многоклассовой классификации [17]. Для ее оптимальной работы требуется выбрать веса таким образом, чтобы эта функция достигала минимального значения на входных данных обучения.

В качестве оптимизатора использовался метод ADAM [18], классический алгоритм адаптивного градиентного спуска с использованием моментов, со значением интенсивности обучения  $\epsilon = 0,008$ .

После завершения процесса обучения была проведена оценка модели. На рис. 2 показаны графики функции потерь для 100 периодов обучения.

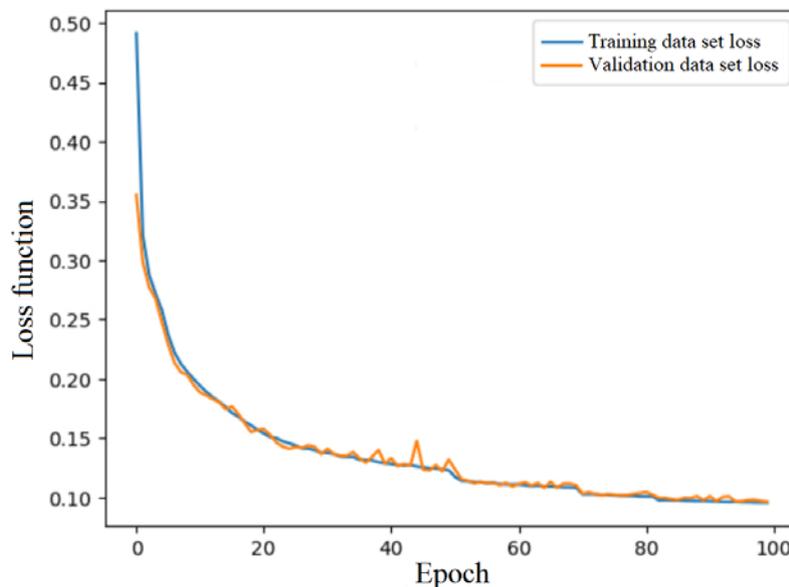


Рис. 2. Потери при обучении и валидации для модели автоэнкодера на основе LSTM

### Генерация соединений

Чтобы сгенерировать новые данные после разработки полноценного автоэнкодера, процесс был разделен на три модели. Первая модель выполняет функцию преобразования исходных данных в вектор скрытого пространства, который является кодирующей частью автоэнкодера. Используя эту модель, можно получить представление о скрытом пространстве из набора проверочных выборок, передав его на вход модели. Вторая модель преобразует данные из скрытого пространства в векторы состояния для слоя LSTM третьей модели, проходя через полностью подключенный слой. Третья модель состоит из входного и LSTM-слоев, а также из полностью

подключенного слоя, имеющего веса с той же размерностью, что и автоэнкодер, которые инициализируются путем передачи весов из обученной нейронной сети. Модель принимает в качестве входных данных один однократно закодированный символ и вектор начальных состояний для слоя LSTM из предыдущей модели и выводит один закодированный символ, который предположительно является следующим в сгенерированной строке. Генерация начинается с начала строкового символа «!» и заканчивается, как только встречается конец строкового символа «Е».

## Результаты

С помощью автоэнкодера на основе LSTM было сгенерировано 46 846 новых соединений в формате SMILES. Эти SMILES были очищены от дубликатов, проверены на достоверность и интерпретируемость с помощью модуля RDKit (<http://www.rdkit.org/>) [19] и преобразованы в двумерные и трехмерные химические структуры.

Значения свободной энергии связывания с белком gp120 ВИЧ-1 были оценены для 5000 молекул, выбранных случайным образом из выборки полученных соединений. Результаты оценки энергии связи для исходной и сгенерированной молекул представлены на рис. 3 в виде двух гистограмм.

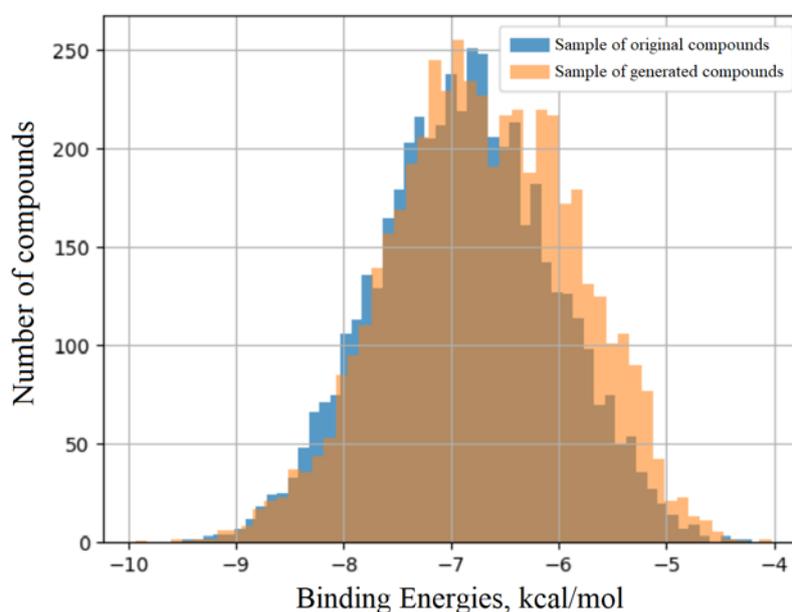


Рис. 3. Гистограммы распределения количества соединений по энергии связи для образца исходного и полученного соединений

Согласно данным молекулярного докинга, для 159 из 5000 полученных соединений значения свободной энергии связывания с gp120 были близки или ниже, чем у эталонного ингибитора ВИЧ-1 NBD-14204 (для NBD-14204 это значение было равно 8,3 ккал/моль).

Кроме того, была проведена более точная оценка аффинности связывания белок-лиганд для 5000 выбранных соединений с использованием функций оценки NNScore 2.0 [20] и RF-Score-4 [21]. Для этой цели ранги всех соединений были рассчитаны в соответствии с каждой функцией оценки, и значения экспоненциального консенсусного ранга (ECR) были получены для каждого соединения по формуле [22]

$$ECR = \sum_{sf} \frac{1}{\sigma_{sf}} \cdot \exp\left(-\frac{rank_{sf}}{\sigma_{sf}}\right), \quad (2)$$

где  $rank_{sf}$  – ранг соединения в соответствии с оценочной функцией  $sf$ ,  $\sigma_{sf}$  является параметром, который контролирует влияние оценочной функции  $sf$  на результаты консенсусного отбора (ECR был рассчитан с использованием  $\sigma_{sf} = 10$  для всех рассмотренных  $sf$ , поскольку вклады отдельных оценочных функций были приняты равными).

Результаты, полученные для пяти лучших по оценке ECR соединений и NBD-14204, приведены в таблице.

Значения функций оценки для пяти лучших соединений и NBD-14204

Ligand	$\Delta G_{VINA}$ , kcal/mol		$\Delta G_{RFScore4}$ , kcal/mol	$\Delta G_{NNScore2}$ , kcal/mol	ECR
	Orig.	Gen.			
I	-8.4	-9.1	-10.95	-10.32	0.289
II	-6.8	-8.9	-10.95	-10.38	0.288
III	-8.3	-9.1	-10.59	-10.15	0.281
IV	-8.5	-8.7	-10.74	-9.95	0.277
V	-6.3	-9.0	-10.21	-12.14	0.276
NBD-14204	-8.3	-8.3	-9.87	-7.83	–

Растворимость в воде, синтетическая доступность и токсичность были оценены для 100 полученных соединений с наилучшими значениями ECR с использованием платформы SwissADME, бесплатного веб-инструмента для оценки лекарственных свойств химических соединений (<http://swissadme.ch>) [23]. Согласно прогнозам SwissADME, 84 соединения удовлетворяют физико-химическим параметрам, обычно используемым в качестве основных фильтров для отбора молекул на предмет их способности быть эффективными лекарственными средствами.

Химические структуры трех соединений, занявших первое место, и NBD-14204 показаны на рис. 4.

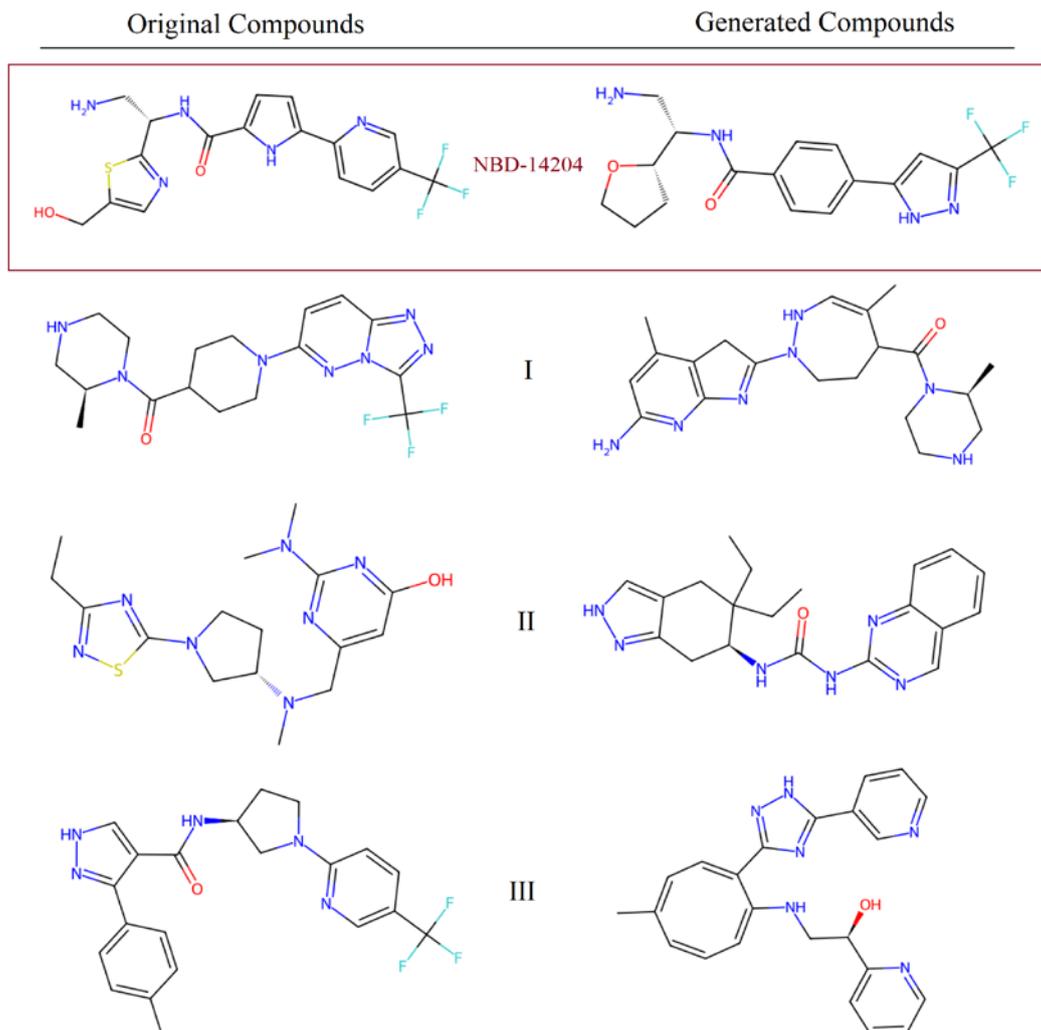


Рис. 4. Пример полученных соединений

### Заключение

Генеративная нейронная сеть на основе LSTM [4] была переобучена для разработки потенциальных ингибиторов гликопротеина оболочки ВИЧ-1 gp120, играющего ключевую роль в прикреплении вируса к клеточному рецептору CD4. Эта генеративная модель автоэнкодера была обучена и протестирована, а также проанализированы результаты ее работы. Во время валидации нейронной сети было сгенерировано 46 846 молекул, и их ингибирующий потенциал был оценен с помощью инструментов молекулярного докинга.

В результате были идентифицированы 84 соединения, представляющие большой интерес для дальнейших исследований, которые будут использоваться в качестве базовых структур для разработки новых мощных противовирусных средств, способных остановить распространение ВИЧ/СПИДа.

**Список использованных источников**

1. In Silico Models: From Simple Networks to Complex Diseases / D. Barh [et al.] // *Animal Biotechnology*. – Cambridge : Academic Press, 2014. – P. 385–404.
2. Applications of machine learning in drug discovery and development / J. Vamathevan [et al.] // *Nature Reviews Drug Discovery*. – 2019. – Vol. 18, no. 6. – P. 463–477.
3. Meyers, J. De novo molecular design and generative models / J. Meyers, B. Fabian, N. Brown // *Drug Discovery Today*. – 2021. – Vol. 26 (11). – P. 2707–2715. <https://doi.org/10.1016/j.drudis.2021.05.019>
4. Generative Autoencoders for Designing Novel Small-Molecule Compounds as Potential SARS-CoV-2 Main Protease Inhibitors / M. A. Shuldau [et al.] // *Processing of the Intern. Conf. on Pattern Recognition and Information. Communications in Computer and Information Science*. – Cham : Springer, 2022. – Vol. 1562. – P. 120–136. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-98883-8\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-030-98883-8_9)
5. Antiviral Activity and Crystal Structures of HIV-1 gp120 Antagonists / F. Curreli [et al.] // *Intern. J. Mol. Sci.* – 2022. – 23(24). – 11 p. <https://doi.org/10.3390/ijms232415999>
6. Sunseri, J. Pharmit: interactive exploration of chemical space / J. Sunseri, D. R. Koes // *Nucleic Acids Research*. – 2016. – Vol. 44, no. W1. – P. W442–W448. <https://doi.org/10.1093/nar/gkw287>
7. Trott, O. AutoDock Vina: Improving the speed and accuracy of docking with a new scoring function, efficient optimization, and multithreading / O. Trott, A. J. Olson // *J. of Computational Chemistry*. – 2010. – Vol. 31, no. 2. – P. 455–461. <https://doi.org/10.1002/jcc.21334>
8. Glossary of terms used in medicinal chemistry (IUPAC Recommendations 1998) / C. G. Wermuth [et al.] // *Pure and Applied Chemistry*. – 1998. – Vol. 70, no. 5. – P. 1129–1143.
9. Yang, S.-Y. Pharmacophore modeling and applications in drug discovery: challenges and recent advances / S.-Y. Yang // *Drug Discovery Today*. – 2010. – Vol. 15(11–12). – P. 444–450.
10. The protein data bank / H. M. Berman [et al.] // *Acta Crystallographica. Section D: Biological Crystallography*. – 2002. – Vol. 58(6). – P. 899–907. <https://doi.org/10.1107/S0907444902003451>
11. UCSF Chimera – A visualization system for exploratory research and analysis / E. F. Pettersen [et al.] // *J. of Computational Chemistry*. – 2004. – Vol. 25(13). – P. 1605–1612.
12. The SWISS-MODEL Repository and associated resources / F. Kiefer [et al.] // *Nucleic Acids Research*. – 2009. – Vol. 37 (Database). – P. D387–D392. <https://doi.org/10.1093/nar/gkn750>

13. Experimental and computational approaches to estimate solubility and permeability in drug discovery and development settings / C. A. Lipinski [et al.] // *Advanced Drug Delivery Reviews*. – 2001. – Vol. 46. – P. 3–26.
14. Analysis of Protein Folding Simulation with Moving Root Mean Square Deviation / Y. Maruyama [et al.] // *J. Chem. Inf. Model.* – 2023. – Vol. 63(5). – P. 1529–1541. <https://doi.org/10.1021/acs.jcim.2c01444>
15. Ravi, L. A handbook on protein-ligand docking tool: AutoDock 4 / L. Ravi, K. Kannabiran // *Innovare J. of Medical Sciences*. – 2016. – Vol. 4, iss. 3. – P. 28–33.
16. Weininger, D. SMILES, a chemical language and information system. 1. Introduction to methodology and encoding rules / D. Weininger // *Journal of Chemical Information and Computer Sciences*. – 1988. – Vol. 28, no. 1. – P. 31–36. <https://doi.org/10.1021/ci00057a005>
17. Ho, Y. The real-world-weight cross-entropy loss function: Modeling the costs of mislabeling / Y. Ho, S. Wookey // *IEEE Access*. – 2019. – Vol. 8. – P. 4806–4813.
18. Kingma, D. P. Adam: A method for stochastic optimization [Electronic resource] / D. P. Kingma, J. Ba // Conference paper at the 3rd Intern. Conf. for Learning Representations. – Mode of access: <https://arxiv.org/pdf/1412.6980.pdf>. – Date of access: 25.10.23.
19. Landrum, G. RDKit: A software suite for cheminformatics, computational chemistry, and predictive modeling [Electronic resource] / G. Landrum. – Mode of access: [https://www.rdkit.org/RDKit\\_Overview.pdf](https://www.rdkit.org/RDKit_Overview.pdf). – Date of access: 25.10.23.
20. Durrant, J. D. NNScore 2.0: A neural-network receptor-ligand scoring function // J. D. Durrant, J. A. McCammon // *Journal of Chemical Information and Modeling*. – 2011. – Vol. 51, no. 11. – P. 2897–2903. <https://doi.org/10.1021/ci2003889>
21. Wójcikowski, M. Performance of machine-learning scoring functions in structure-based virtual screening / M. Wójcikowski, P. J. Ballester, P. Siedlecki // *Scientific Reports*. – 2017. – Vol. 7, no. 1. – P. 1–10.
22. Exponential consensus ranking improves the outcome in docking and receptor ensemble docking / K. Palacio-Rodríguez [et al.] // *Scientific Reports*. – 2019. – Vol. 9, no. 1. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-41594-3>
23. Daina, A. SwissADME: a free web tool to evaluate pharmacokinetics, drug-like-ness and medicinal chemistry friendliness of small molecules / A. Daina, O. Michielin, V. Zoete // *Sci. Rep.* – 2017. – Vol. 7. – P. 1–13.

УДК 004.934:004.8

## Тэхналогіі аўтаматычнай апрацоўкі і аналізу маўлення з прымяненнем штучнага інтэлекту

Ю. С. Гецэвіч, В. В. Дыдо, Д. А. Бяляўскі, Я. С. Зяноўка, М. С. Люціч,  
Г. С. Кухарэвіч, В. А. Хахлоў, А. Я. Драгун, М. А. Павуціна, У. У. Назараў  
Аб'яднаны інстытут праблем інфарматыкі НАН Беларусі,  
Мінск

### Уводзіны

Развіццё штучнага інтэлекту (ШІ) і машыннага навучання прывяло да хуткага ўздыму і зацікаўленасці да маўленчых тэхналогій. Тэхналогіі аўтаматычнага аналізу і апрацоўкі маўлення з прымяненнем ШІ – гэта сукупнасць метадаў і алгарытмаў, якія выкарыстоўваюцца для распазнання і разумення натуральнага маўлення з дапамогай камп'ютарных магчымасцей. Яны дазваляюць распазнаваць, інтэрпрэтаваць і аналізаваць маўленчыя сігналы, а таксама ўзаемадзейнічаць з людзьмі на аснове вуснай камунікацыі. Існуе некалькі прычын, чаму тэхналогіі аналізу і апрацоўкі натуральнага маўлення выклікалі зацікаўленасць у сучаснага грамадства. Перш за ўсё, гэта зручнасць выкарыстання. Маўленчыя тэхналогіі дазваляюць кіраваць прыладамі і атрымліваць інфармацыю без неабходнасці набіраць або ўводзіць тэкст. Іх выкарыстоўваюць у розных мэтах, такіх як пошук інфармацыі, кіраванне аўтамабілем і разумным домам, навігацыя і г. д. Дзякуючы ШІ, галасавыя асістэнты становяцца рознабаковымі і здольнымі выконваць усё больш задач. Яшчэ адным немалаважным фактарам з'яўляецца распаўсюджанасць смарт-прылад: галасавое кіраванне смартфонамі, планшэтамі, камп'ютарамі і іншымі прыстасаваннямі спрашчае і пашырае іх функцыянальнасць, робячы іх яшчэ больш прывабнымі для карыстальнікаў.

### Віды маўленчых тэхналогій з прымяненнем штучнага інтэлекту

Да прыкладаў камп'ютарных тэхналогій з галасавым кіраваннем адносяцца галасавыя памочнікі, сістэмы сінтэзу і распазнавання маўлення, галасавыя біяметрычныя і аналітычныя сістэмы, дыялогавыя і пытальна-адказныя сістэмы.

*Сістэмы сінтэзу маўлення па тэксце (SSMT ці TTS)* – гэта праграмныя або апаратныя інструменты, здольныя пераўтвараць тэкставую інфармацыю ў галасавое паведамленне. SSMT шырока ўжываюцца ў розных сферах дзейнасці, менавіта тэхнічная падтрымка, аўтаматызаваныя сістэмы адказаў

на званкі, памочнікі віртуальных галасавых асістэнтаў, аўдыякнігі, а таксама для людзей з парушэннямі маўлення або зроку. *Сістэмы аўтаматычнага распазнавання маўлення (ASR)* прадстаўляюць камп'ютарныя тэхналогіі, распрацаваныя для апрацоўкі аўдыясігналаў і апрацоўкі маўленчай інфармацыі ў тэкставы або графічны фармат. Яны выкарыстоўваюцца для аўтаматычнага распазнавання і інтэрпрэтацыі вымаўленай фразы рознымі прыладамі і прыстасаваннямі з мэтай спрашчэння аналізу і транскрыптацыі галасавога паведамлення. ASR пабудаваны на розных алгарытмах і метадах, такіх як мадэляванне схаванага Маркоўскага працэсу, нейронныя сеткі, глыбокае навучанне і інш.

*Галасавыя біяметрычныя сістэмы* – гэта тэхналогіі для ідэнтыфікацыі або аўтэнтыфікацыі асобы па голасе. Яны працуюць на аснове ўласцівасцяў і характарыстык голасу чалавека, такіх як тон, рытм, хуткасць і нават акцэнт. Для працы галасавых біяметрычных сістэм выкарыстоўваюцца розныя алгарытмы і тэхнікі, уключаючы распазнаванне голасу, аналіз частаты, фанетычны аналіз і т. д. Перавагі галасавых біяметрычных сістэм уключаюць высокую дакладнасць і надзейнасць, адсутнасць неабходнасці ў фізічным кантакце з прыстасаваннем, мінімальнае ўздзеянне на карыстальнікаў, таксама магчымасць выкарыстання ў рэальным часе і на адлегласці.

*Тэхналогіі галасавых аналітычных сістэм* дазваляюць аналізаваць і інтэрпрэтаваць галасавыя даныя з мэтай здабывання інфармацыі, вызначэння эмацыйнага стану, выяўлення намераў і тэндэнцый таго, хто гаворыць. Сістэмы здольны апрацоўваць вялікія аб'ёмы галасавых матэрыялаў, што спрыяе аўтаматызацыі працэсаў і павышэнню эфектыўнасці працы. Яны будуць карысныя для маніторынгу якасці абслугоўвання кліентаў, распазнання галасавых каманд у разумных хатніх прыладах, вызначэння падману або афектыўнага стану таго, хто гаворыць, аналізу меркаванняў і настрояў у сацыяльных сетках і інш.

*Дыялогавае сістэма*, таксама вядомая як *пытальна-адказная*, здольна ўзаемадзейнічаць з чалавекам, выкарыстоўваючы натуральную мову. Яна ўступае ў дыялог з карыстальнікам, які можа задаць пытанне ці проста паразмаўляць. Сістэма падтрымлівае дыялог, адказвае на запыты, апрацоўваючы і аналізуючы інфармацыю з розных крыніц, менавіта баз даных, Інтэрнэта ці іншых рэсурсаў. Дадзеныя прыкладанні дазваляюць хутка і эфектыўна прадастаўляць інфармацыю карыстальніку. Замест самастойнага пошуку патрэбнай інфармацыі карыстальнік можа задаць пытанне і атрымаць хуткі адказ. Пытальна-адказныя сістэмы зручныя для працы з вялікімі аб'ёмамі інфармацыі. Яны хутка апрацоўваюць і аналізуюць вялікую колькасць тэксту, вылучаючы ключавыя факты і даныя. Гэта дазваляе эфектыўна здабываць патрэбную інфармацыю. Дыялогавыя сістэмы могуць быць рэалізаваны ў выглядзе галасавых асістэнтаў, мэсанджараў, вэб-чатаў і іншых прыкладанняў. Яны знаходзяць прымяненне ў розных галінах, уклю-

чаючы анлайн-падтрымку, аўтаматычныя плацяжы, пошук інфармацыі, браніраванне, пераклад тэксту і іншыя задачы, якія патрабуюць узаемадзеяння з чалавекам.

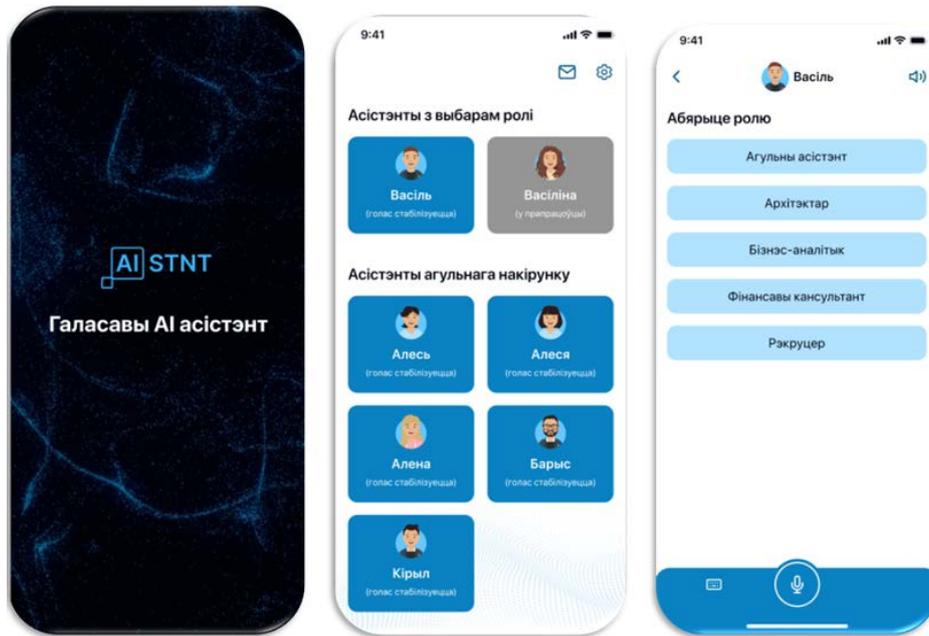
### Галасавы АІ-асістэнт па-беларуску

Ужо добра вядомы такія галасавыя пытална-адказныя сістэмы, як Chat GPT-4, Midjourney, Google Gemini, GPT Yandex, якія апрацоўваюць запыты на розных мовах за выключэннем беларускай. Для беларускамоўных носьбітаў лабараторыяй распазнавання і сінтэзу маўлення Аб'яднанага інстытута праблем інфарматыкі НАН Беларусі [1] распрацавана інтэрактыўная платформа *AI-асістэнт* [2], якая змяшчае пяць беларускамоўных пытална-адказных асістэнтаў жаночага і мужчынскага полу. Кожны галасавы асістэнт пабудаваны з выкарыстаннем тэхналогіі распазнавання і сінтэзу маўлення, машыннага перакладу і дыялогавых сістэм. Канцэпцыя распрацоўкі грунтуецца на выдачы эфектыўнага і простага ў выкарыстанні механізму прадстаўлення агульнай інфармацыі і вырашэння праблем карыстальнікаў на беларускай мове. АІ-асістэнты дазваляюць карыстальнікам вусна ці ў тэкставай форме задаваць пытанні і атрымліваць абгрунтаваны гукавы (надрукаваны) адказ хутка, з высокімі якасцю і дакладнасцю.

Галасавыя памочнікі даступны на афіцыйным сайце платформы, інтэрфейс якой прадстаўлены на беларускай, англійскай, рускай і кітайскай мовах [3]. Там можна абраць асабістага віртуальнага суразмоўцу (Ales, Alesia, Alesia, Boris, Kiryl) і паразмаўляць у Інтэрнэце, абраўшы вэб-версію, ці на смартфоне, усталяваўшы прыкладанне на аперацыйныя сістэмы Android ці iOS. Пытална-адказныя сістэмы таксама даступны ў выглядзе аднаіменных чат-ботаў у мэсанджары Тэлеграм. Пачынаючы працу, карыстальнік выбірае зручную версію, пасля чаго перанакіроўваецца на тую платформу, якую абраў, і ўводзіць запыт. Акрамя таго, у тэлеграм-канале можна паразмаўляць з чат-ботаўмі (Vasil, Vasilina), якія вузкія накіраваны на розныя сферы дзейнасці (асістэнт агульнага профілю, архітэктар, бізнес-аналітык, фінансавы кансультант, рэкруцёр, кіраўнік праекта, юрысконсульт, маркеталаг, інжынер, праграміст, настаўнік і пісьменнік). Галоўная асаблівасць усіх галасавых памочнікаў заключаецца ў выдачы тэкставых ці гукавых адказаў толькі на беларускай мове, у той час як тэкставыя запыты могуць быць адпраўлены на іншай мове. Галасавыя запыты таксама распазнаюцца толькі на беларускай мове.

На сённяшні дзень вядуцца распрацоўкі мабільных прыкладанняў для iOS і Android-версій (мал. 1). Працэс іх стварэння складаецца з некалькіх этапаў: зацвярджэнне дызайн-канцэпцыі прыкладання і яго функцыянальных асаблівасцяў; праца над сервернай часткай; непасрэдная рэалізацыя праекта. Важна адзначыць, што каманда актыўна абмяркоўвала і прымала

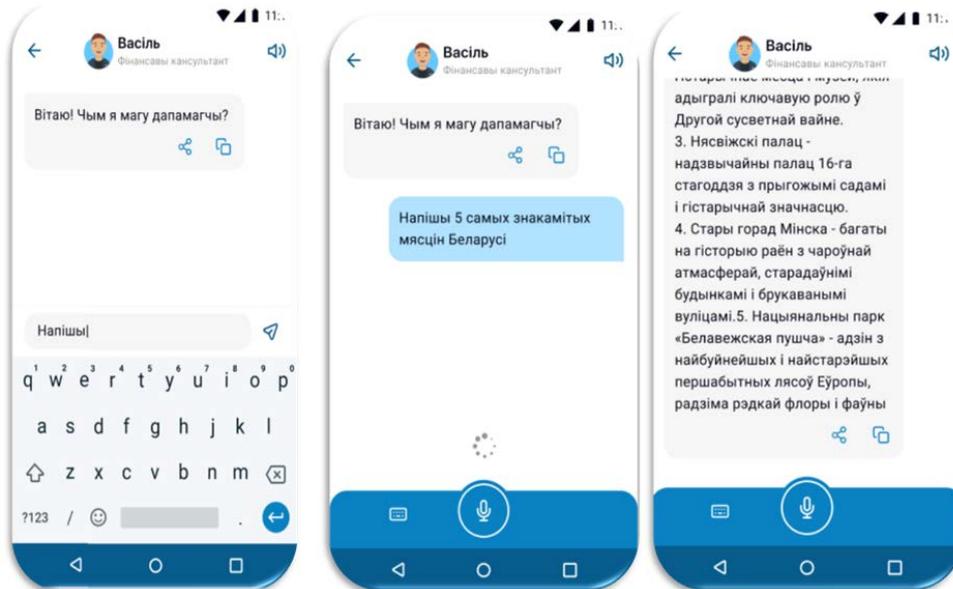
ўзважаныя рашэнні, якія спрыялі поспеху праекта. Так, напрыклад, праект распрацоўкі мабільнага прыкладання iOS рэалізаваны на мове *Swift* з выкарыстаннем фрэймворка *UIKit*, што ўяўляе сабой якаснае спалучэнне тэхнічных рашэнняў і дызайнерскай канцэпцыі. Тэхнічныя інструменты ўключаюць у сабе бібліятэку *Message Kit* для стварэння функцыянальнага чата, а таксама інтэграцыю метадаў з натыўнай бібліятэкі *AVFoundation* для бездакорнай працы з аўдыяфайламі. Для пабудовы інтэрфейсу быў абраны клас *UICollectionView*.



Мал. 1. iOS-версія галасавых AI-асістэнтаў

Мова напісання Android-версіі – *Kotlin*. Таксама былі выкарыстаны такія тэхналогіі, як *Android Architecture*, *MVVM Architecture (using ViewModels)*, *WorkManager*, *Kotlin coroutines*, *Java Threads*, *OkHttp*, *SQLite database (Room technology)*, *Canvas*.

Прыкладанні працуюць наступным чынам. На першай старонцы загрузаецца лагатып або стартавае відэа, далей карыстальнік можа перайсці да экрана налад ці кантактаў (мал. 2). Каб абраць дыктара, карыстальнік павінен націснуць на картку дыктара, далей адкрываецца акно чату. У ім чат-бот вітае карыстальніка, пасля чаго другі ўводзіць тэкставы ці галасавы запыт. Пасля ўводу запыта ён не можа ўвесці яшчэ адзін запыт, пакуль не атрымае адказ ад бота. Пасля генерацыі адказа сістэма аўтаматычна агучвае паведамленне голасам абранага дыктара.



Мал. 2. Выкарыстанне галасавога AI-асістэнта Васіля ў Android-версіі

Трэба адзначыць, што галасавыя асістэнты пабудаваны на аснове тэхналогій распазнавання і сінтэзу маўлення, распрацаваных у лабараторыі распазнавання [4] і сінтэзу маўлення [5], якія змешчаны ў адкрытым доступу на платформе для апрацоўкі тэкставай і гукавой інфармацыі для розных тэматычных даменаў corpus.by [6].

### **Інфармацыйна-аналітычны цэнтр бесперапыннага аўтаматызаванага маніторынгу рэдкіх, пагражальных і індыкатарных відаў жывёл (птушак)**

Да тэхналогій аўтаматычнай апрацоўкі і аналізу маўлення таксама адносяцца сістэмы распазнавання галасоў птушак, якія выкарыстоўваюць камп'ютарныя алгарытмы для вызначэння і ідэнтыфікацыі гукаў. Гэтая тэхналогія імітуе здольнасць чалавека распазнаваць і вызначаць галасы птушак. Аўтаматычнае распазнаванне галасоў птушак шырока ўжываецца ў навуковых даследаваннях, маніторынгу біразнастайнасці і ацэнцы экалагічнага стану асяроддзя, для чаго быў распрацаваны інфармацыйна-аналітычны цэнтр (ІАЦ) бесперапыннага аўтаматызаванага маніторынгу рэдкіх, пагражальных і індыкатарных відаў жывёл (птушак) Рэспублікі Беларусь [7].

Падставай для яго стварэння з'яўляецца выкананне мерапрыемства 22.6.1.2 «Распрацоўка тэхналогіі аўтаматызаванага распазнавання галасавых сігналаў жывёл для ажыццяўлення аўтаномнага бесперапыннага маніторынгу рэдкіх, пагражальных і індыкатарных відаў і стану біразнастайнасці ў лясных экасістэмах» Дзяржаўнай праграмы «Навукова-інавацыйная дзейнасць Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі» падпра-

грамы 6 «Інфраструктура і тэхналогіі для забеспячэння адаптацыі лясных экасістэм да неспрыяльных умоў» на 2021–2025 гады. Мэта праекта заключаецца ў забеспячэнні аўтаматызаванага распазнавання галасавых сігналаў жывёл (птушак) у рэжыме доўгачасовага кругласутачнага і кругласезоннага маніторынгу відавой разнастайнасці жывёл у абраных месцапражываннях і экасістэмах.

У рамках праекта распрацоўкі ІАЦ ставяцца наступныя задачы:

1) стварэнне праграмнага асяроддзя для аўтаматызаванага распазнавання галасавых сігналаў жывёл на аснове выкарыстання распрацаванай камп’ютарнай мадэлі навучання;

2) назапашванне гукавых запісаў для базы даных з даступных і ўласных крыніц;

3) анатаванне галасавых запісаў жывёл у мэтах стварэння і наступнага паляпшэння мадэлі аўтаматызаванага распазнавання;

4) тэсціраванне вэб- і мабільных прыкладанняў распазнавання галасоў жывёл;

5) перадача сабранай інфармацыі па відавой разнастайнасці і колькасці жывёл з мэтавых месцапражыванняў для ажыццяўлення мерапрыемстваў па захаванні рэдкіх, пагражальных і індыкатарных відаў у лясных экасістэмах.

Для распрацоўкі макетнага ўзору выкарыстоўвалася мадэль распазнавання, пабудаваная на падставе сучаснай скруткавай сеткі *EfficientNetB3* з аптымізатарам *Адама* (*Adam optimizer*), катэгарыяльнай функцыяй страт перакрываючай энтрапіі (*categorical cross-entropy loss function*) і збалансаванымі вагамі класаў, а таксама яшчэ тры слаі (*Flatten, Dropout, Dense* з функцыяй *softmax* у якасці выхада) для пабудовы сеткі CNN [8]. Асноўнай задачай *EfficientNet* з’яўляецца дэталёвае тэсціраванне таго, як эфектыўна маштабіраваць памер скруткавых нейронных сетак. Напрыклад, можна павялічыць *ConvNet* на аснове шырыні слаёў, глыбіні слаёў, памер уваходнага малюнка або камбінацыі ўсіх гэтых параметраў.

Масіў даных электронных карпусоў галасавых сігналаў створаны на падставе ўзораў аб’яднаных карпусоў запісаў клічаў і спеваў птушак з адкрытых крыніц і даных, падрыхтаваных супрацоўнікамі НПЦ НАН Беларусі па біярэсурсах. Такім чынам было атрымана больш за 38 000 анатацый для 99 відаў птушак. Пабудова сістэмы распазнавання галасавых сігналаў заснавана на аналізе спектраграмы – візуальнай рэпрэзентацыі частот сігнала на працягу часу. Сутнасцю спектраграмы з’яўляецца візуалізацыя мноства частот на адным графіку, у процілегласць санаграмы, дзе адлюстроўваецца толькі амплітуда сігнала. Шкала Mel – шкала вышыні гукаў, якія знаходзяцца на аднолькавай дыстанцыі для слухача. Яна ўлічвае асаблівасці чалавечага слуха. Камбінацыя спектраграмы і санаграмы ўтва-

рае мадыфікаваную спектраграму (mel-frequency cepstrum, MFCC), яна адсейвае частоты гукаў, якія чалавек не чуе, і пакідае самыя характэрныя. Прааналізаваўшы Mel-спектраграму гукаў птушкі, камп'ютарная мадэль вылучае спецыфічныя характарыстыкі апрацаваных даных, падае іх на ўваход глыбокай нейроннай сеткі і выдае набор верагоднасцяў, якія адпавядаюць выяве, а яна належыць кожнаму з класаў птушак. Клас з найбольшай з атрыманых верагоднасцяў і ёсць вынік працы мадэлі. Дакладнасць мадэлі распазнавання пры тэставанні знаходзіцца ў дыяпазоне ад 60 да 90 % у залежнасці ад віда.

На сённяшні дзень распрацаваны мадэль распазнавання галасоў птушак, алгарытм аўтаматызаванай разметкі галасавых сігналаў і прататып эксперыментальнага праграмнага забеспячэння ІАЦ бесперапыннага аўтаматызаванага маніторынгу. Пазнаёміцца з вынікамі праекта можна на афіцыйным сайце цэнтра [7]. Трэба зарэгістравацца, увайсці ў свой акаўнт, загрузіць аўдыяфайл з вашага камп'ютара, запусціць службу распазнавання і атрымаць вынікі апрацоўкі з указаннем віда птушак і назвы канкрэтнай асобіны. Таксама ў актыўнай распрацоўцы мабільныя версіі прыстасавання для Android iOS-платформ, якія ў хуткім часе можна будзе спампаваць у мабільных маркетах.

### Заклучэнне

Тэхналогіі аўтаматычнага аналізу і апрацоўкі маўлення з прымяненнем ШІ паляпшаюць магчымасці камп'ютараў у разуменні і апрацоўцы вуснага маўлення, пашыраюць спектр ужыванняў і палягчаюць узаемадзеянне не толькі паміж людзьмі і сучаснымі тэхналогіямі, але і жывёламі і птушкамі.

Прымяненне пытальна-адказных сістэм *AI-асістэнт* мае шырокі спектр магчымасцяў. Іх прымяненне актуальна ў розных сферах дзейнасці дзякуючы здольнасці забяспечваць эфектыўны і хуткі пошук інфармацыі на беларускай мове. Апрацоўка велізарных аб'ёмаў даных з выдачай дакладных адказаў робяць іх больш перспектыўнымі тэхналогіямі ў параўнанні з ручным метадам пошуку, эканомячы час і намаганні карыстальнікаў, якія аддаюць перавагу зносінам і камунікацыі на беларускай мове.

ІАЦ бесперапыннага аўтаматызаванага маніторынгу рэдкіх, пагражальных і індыкатарных відаў птушак дазваляе аўтаматызаваць працэс ідэнтыфікацыі птушак і збіраць вялікія аб'ёмы даных аб размеркаванні і паводзінах птушак. Алгарытм аўтаматычнага распазнавання іх галасоў заснаваны на аналізе гукавых спектраў, якія прадстаўляюцца ў выглядзе частотных характарыстык гуку. Гукі птушак запісваюцца з дапамогай мікрафонаў і апрацоўваюцца праграмным забеспячэннем, якое параўноўвае спектры гукаў з базай даных ужо вядомых галасоў птушак на аснове нейронных

сетак. Падобныя галасы супастаўляюцца, і праграма вызначае, да якога віду птушкі належыць запіс. Аднак аўтаматычнае распазнаванне галасоў птушак усё яшчэ з’яўляецца складанай задачай, так як розныя віды птушак маюць падобныя галасавыя характарыстыкі або праяўляюць разнастайнасць у сваіх галасах у залежнасці ад полу, узросту і кантэксту. Таму развіццё гэтай тэхналогіі патрабуе пастаяннага ўдасканалення і абнаўлення алгарытмаў. Тым не менш мадэль аўтаматычнага распазнавання галасоў птушак ужо паспяхова выкарыстоўваецца для даследавання міграцыйных маршрутаў, вывучэння ўплыву навакольнага асяроддзя на птушак і ацэнкі стану птушыных папуляцый.

### Спіс выкарыстаных крыніц

1. Лабараторыя распазнавання і сінтэзу маўлення [Электронны рэсурс]. – 2023. Рэжым доступу: <http://ssrlab.by/>. – Дата доступу: 11.06.2023.
2. Беларускамоўная галасавая пытална-адказная сістэма / Ю. Гецэвіч [і інш.] // *Наука и инновации*. – 2023. – № 7 (245). – С. 13–16.
3. Галасавыя пытална-адказныя сістэмы [Электронны рэсурс]. – Рэжым доступу: <https://asistent.by/>. – Дата доступу: 21.06.2023.
4. Трафімаў, А. С. Аўтаматычнае пераўтварэнне беларускага маўлення ў тэкст / А. С. Трафімаў, Ю. С. Гецэвіч // Доклады XXI Междунар. науч.-техн. конф. «Развитие информатизации и государственной системы научно-технической информации (РИНТИ-2022)», Минск, 17 ноября 2022 г. – Минск : ОИПИ НАН Беларуси, 2022. – С. 241–245.
5. Комплекс сродкаў рэалізацыі задач штучнага інтэлекту для беларускай мовы / Ю. С. Гецэвіч [і інш.] // Первая выставка-форум IT-академграда «Искусственный интеллект в Беларуси», Минск, 13–14 октября 2022 г. : сб. докл. – Минск : ОИПИ НАН Беларуси, 2022. – С. 64–73.
6. Компьютерная платформа для обработки электронного текста и речи на белорусском, русском и английском языках / Ю. С. Гецевич [и др.] // *Речевые технологии*. – 2021. – № 1–2. – С. 37–46.
7. Інфармацыйна-аналітычны цэнтр бесперапыннага аўтаматызаванага маніторынгу рэдкіх, пагражальных і індыкатарных відаў жывёл (птушак) [Электронны рэсурс]. – Рэжым доступу: <https://bird-voice-iac.ssrlab.by/>. – Дата доступу: 06.08.2023.
8. Developing Birds Sound Recognition System Using an Ontological Approach / Y. Zianouka [et al.] // *Open Semantic Technologies for Intelligent Systems: Research Papers Collection*. – Minsk : BSUIR, 2023. – Iss. 7. – P. 165–170.

УДК 347.1; 004.8

## **Идентификация и институционализация искусственного интеллекта в структуре общественных отношений**

**Е. Н. Гладкая**  
Институт экономики НАН Беларуси,  
Минск

### **Введение**

В настоящее время технологии искусственного интеллекта активно внедряются во все сферы жизнедеятельности человека. Между тем правовое регулирование отношений с использованием искусственного интеллекта остается недостаточным. Так, одним из вопросов, требующих решения, является вопрос о правовом статусе искусственного интеллекта и возможности наделения его элементами правосубъектности. Вышеуказанное определило цель исследования, которая заключается в выработке предложений, направленных на идентификацию и институционализацию искусственного интеллекта в структуре общественных отношений.

### **Основная часть**

В отсутствие специального законодательства об искусственном интеллекте в Республике Беларусь единственное легальное понятие искусственного интеллекта закреплено в п. 3 «Образовательного стандарта высшего образования. Специальность 1-55 01 01 Интеллектуальные приборы, машины и производства», утвержденного постановлением Министерства образования Республики Беларусь от 30 августа 2013 г. № 88 «Образовательные стандарты высшего образования. Часть 4» [1]. В соответствии с указанным пунктом искусственный интеллект представляет собой свойство автоматических и автоматизированных систем брать на себя отдельные функции интеллекта человека. Полагаем, что определение искусственного интеллекта через «свойство» чего-либо не отражает его сущности и не может рассматриваться как единственно верное.

Вместе с тем в научной литературе не сформировалось единого представления о том, что следует понимать под искусственным интеллектом. Ниже приведем некоторые точки зрения, высказанные по данному вопросу.

Специалист в области юриспруденции В. П. Морхат предлагает рассматривать искусственный интеллект в двух аспектах:

– «<...> искусственный интеллект как кибернетический (компьютерно-программный: алгоритм + компьютерное «железо») инструмент расширения и усиления человеческого интеллектуального потенциала и интеллектуальных возможностей <...>»;

– «<...> искусственный интеллект как призванный заместить человека (по его воле и под его контролем) при выполнении определенных функций и в решении определенных задач автономный кибернетический или киберфизический компьютерно-программный юнит (система, аппаратный объект), обладающий способностями и возможностями к антропоморфным мыслительным и когнитивным процессам, таким как обучение и самообучение, рефлексия, рассуждение, самореферентность и саморегулирование, творческое решение задач» [2, с. 79].

Разделяя точку зрения В. П. Морхата, Е. А. Свиридова предлагает в законодательстве Российской Федерации искусственный интеллект определить как «<...> совокупность различных категорий киберфизических систем, автономных систем и умных роботов, обладающих следующими характеристиками: автономность; возможность обмена данными с окружающей средой и самостоятельного анализа этих данных; способность к самообучению через опыт, обработку данных и общение с пользователем; наличие физической оболочки; способность адаптировать свое поведение и свои действия к окружающей обстановке» [3, с. 159].

З. И. Хисамова, И. Р. Бегишев при рассмотрении искусственного интеллекта в контексте правовой категории приходят к выводу о том, что под ним следует понимать «<...> когнитивно-интеллектуальную и автономно-адаптивную систему, наделенную способностями к осознанно-волевому поведению, позволяющую имитировать деятельность нейронов и нейронных сетей человеческого мозга посредством обработки информации, поступающей из окружающей среды» [4, с. 35].

Представители точных наук: А. В. Борисов, А. В. Босов, Д. В. Жуков – подвергают критике понятие искусственного интеллекта, нашедшее свое закрепление в Стратегии Российской Федерации по развитию искусственного интеллекта. Согласно их мнению, трактовка искусственного интеллекта «<...> как комплекса технологических решений представляется не вполне удачной, так как сужает для него горизонт фундаментального научного развития современным уровнем понимания и достижений. Словосочетание «технологическое решение» в самом себе несет ограничение: имеющееся «решение» не может породить новую задачу» [5, с. 65]. В связи с этим ученые предлагают обратиться к понятию искусственного интеллекта, приведенному в электронной версии энциклопедии Britannica, где под искусственным интеллектом предлагается понимать «<...> способность цифрового компьютера или управляемого компьюте-

ром робота решать задачи, обычно ассоциирующиеся с разумными существами» [5, с. 59].

Иного мнения придерживаются ученые, специализирующиеся на вопросах философии и социологии. В частности, А. В. Резаев и Н. Д. Трегубова полагают, что под искусственным интеллектом следует понимать «<...> ансамбль разработанных и закодированных человеком рационально-логических, формализованных правил, которые организуют процессы, позволяющие имитировать интеллектуальные структуры, производить и воспроизводить целерациональные действия, а также осуществлять последующее кодирование и принятие инструментальных решений вне зависимости от человека» [6, с. 40]. Это позволило ученым выделить пять ключевых характеристик искусственного интеллекта:

1. «Искусственный интеллект – это не продукт, не устройство, а ансамбль (гармоничная совокупность) правил, которые организуют некоторый процесс.

2. Искусственный интеллект как процесс создан человеком, представляет собой результат человеческой и никакой иной (биологической, трансцендентальной, асоциальной и т. д.) деятельности.

3. Искусственный интеллект представляет собой ансамбль правил, закодированных для решения инструментальных задач и достижения определенных целей.

4. Инструментально закодированные правила организуют активность (деятельность), которая имитирует интеллектуальные структуры Homo Sapiens.

5. Сымитированные структуры в состоянии участвовать в последующем кодировании, обучаться и принимать инструментальные решения, в том числе без участия и вне зависимости от человека» [6, с. 40].

Итак, под искусственным интеллектом предлагается понимать:

- кибернетический инструмент;
- автономный кибернетический или киберфизический компьютерно-программный юнит (система, аппаратный объект);
- совокупность различных категорий киберфизических систем, автономных систем и умных роботов;
- когнитивно-интеллектуальную и автономно-адаптивную систему;
- способность цифрового компьютера или управляемого компьютером робота решать задачи разумных существ;
- ансамбль разработанных и закодированных человеком правил, которые организуют процессы, позволяющие имитировать интеллектуальные структуры.

Из приведенного обобщения можно сделать следующий вывод: большинство ученых сходится во мнении, что искусственный интеллект представляет собой либо кибернетическую систему (совокупность кибернети-

ческих систем), либо совокупность правил, которые позволяют носителю искусственного интеллекта имитировать деятельность человека.

В соответствии с Толковым словарем Д. Н. Ушакова *система* – это «порядок, обусловленный правильным, закономерным расположением частей в определенной связи» [7]; *правило* – «положение, выражающее закономерность, постоянные отношения в чем-нибудь и являющееся основанием какой-нибудь системы, какого-нибудь ряда явлений, действий» [8]. Из данных определений следует, что понятие «правило» следует рассматривать в качестве определяющего по отношению к понятиям «система», «ряд явлений», «ряд действий». По этой причине мы приходим к выводу о том, что под *искусственным интеллектом* следует понимать *совокупность разработанных и закодированных человеком правил, позволяющих носителю искусственного интеллекта имитировать человеческую когнитивно-интеллектуальную деятельность, в том числе способность к самообучению*. Таким образом, принимая во внимание специфику правового явления «искусственный интеллект», в основу предложенной дефиниции легло определение А. В. Резаева и Н. Д. Трегубовой, поскольку, по нашему мнению, решение вопроса об определении сущности искусственного интеллекта должно лежать в плоскости философии и социологии.

В связи с тем что в законодательстве Республики Беларусь понятие «искусственный интеллект» носит узкий характер, а в научной литературе нет единства мнений по данному вопросу, в дальнейшем при установлении правового статуса искусственного интеллекта будет использовано определение, выработанное в рамках настоящего исследования.

При ответе на вопросы о правовом статусе искусственного интеллекта и правовом режиме носителя искусственного интеллекта нам представляется необходимым исходить из результатов предыдущих исследований [9–12]. Так, согласно авторскому определению, под правовым статусом предложено понимать *универсальную социальную и правовую категорию, характеризующую способность его носителя выступать в качестве субъекта правоотношения (субъектоспособность), и (или) объекта правоотношения, либо объекта правового регулирования (объектоспособность)* [11, с. 5]. Опираясь на данную формулировку, полагаем, что о правовом статусе искусственного интеллекта следует вести речь в контексте его объектоспособности.

Для определения правового статуса искусственного интеллекта требуется прибегнуть к разработанному алгоритму, включающему последовательно четыре уровня, а именно:

первый (базовый) уровень – родовой правовой статус, устанавливается по критерию сферы нахождения носителя статуса в системе общественных отношений;

второй уровень – институциональный правовой статус, определяется по критерию типологизации носителя статуса;

третий уровень – функциональный правовой статус, определяются по критерию деления носителей статуса по видовой принадлежности;

четвертый уровень – индивидуальный правовой статус, определяется по критерию присущих носителю индивидуальных признаков [11, с. 5].

В соответствии с предложенным алгоритмом установления правового статуса искусственный интеллект является:

*по критерию сферы нахождения носителя статуса в системе общественных отношений* – объектом общественных отношений (базовый уровень);

*по критерию типологизации носителя статуса* – объектом гражданских прав (институциональный правовой статус);

*по критерию деления носителей статуса по видовой принадлежности* – результатом интеллектуальной деятельности (функциональный правовой статус);

*по критерию присущих носителю индивидуальных признаков* – совокупностью разработанных и закодированных человеком правил, позволяющих носителю искусственного интеллекта имитировать человеческую когнитивно-интеллектуальную деятельность, в том числе способность к самообучению (индивидуальный правовой статус).

### **Заключение**

Проведенное исследование показало, что в структуре общественных отношений искусственный интеллект выступает объектом, под которым следует понимать совокупность разработанных и закодированных человеком правил, позволяющих носителю искусственного интеллекта имитировать человеческую когнитивно-интеллектуальную деятельность, в том числе способность к самообучению. Как у любого объекта общественных отношений правовой статус искусственного интеллекта имеет четыре уровня. Согласно им искусственный интеллект одновременно выступает объектом общественных отношений; объектом гражданских прав; результатом интеллектуальной деятельности; совокупностью разработанных и закодированных человеком правил, позволяющих носителю искусственного интеллекта имитировать человеческую когнитивно-интеллектуальную деятельность, в том числе способность к самообучению.

### **Список использованных источников**

1. Образовательный стандарт высшего образования. Специальность 1-55 01 01 Интеллектуальные приборы, машины и производства [Электронный ресурс] : утв. постановлением Министерства образования Респуб-

лики Беларусь 30 августа 2013 г. // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2023.

2. Морхат, П. М. К вопросу о правовой дефиниции термина «искусственный интеллект» / П. М. Морхат // Вестн. МГПУ. Сер. Юридические науки. – 2018. – № 2 (30). – С. 74–80.

3. Свиридова, Е. А. Генезис понятия искусственного интеллекта с точки зрения права в условиях реализации национального проекта «Цифровая экономика Российской Федерации» / Е. А. Свиридова // Экономика. Налоги. Право. – 2020. – № 3. – С. 152–160.

4. Хисамова, З. И. История становления и теоретико-правовые подходы к толкованию понятия «искусственный интеллект» / З. И. Хисамова, И. Р. Бегишев // Алтайский юридический вестник. – 2020. – № 3 (31). – С. 31–38.

5. Борисов, А. В. Стратегия исследований и разработок в области искусственного интеллекта I: основные понятия и краткая хронология / А. В. Борисов, А. В. Босов, Д. В. Жуков // Системы и средства информатики. – 2021. – Т. 31, № 1. – С. 57–68.

6. Резаев, А. В. «Искусственный интеллект», «онлайн-культура», «искусственная социальность»: определение понятий / А. В. Резаев, Н. Д. Трегубова // Мониторинг общественного мнения: экономические и социальные перемены. – 2019. – № 6 (154). – С. 35–47.

7. «Система» в Толковом словаре Д. Н. Ушакова [Электронный ресурс] // Академик. – Режим доступа: <https://dic.academic.ru/dic.nsf/ushakov/1024514>. – Дата доступа: 25.10.2023.

8. «Правило» в Толковом словаре Д. Н. Ушакова [Электронный ресурс] // Академик. – Режим доступа: <https://dic.academic.ru/dic.nsf/ushakov/966302>. – Дата доступа: 11.08.2023.

9. Гладкая, Е. Н. Отдельные проблемы права собственности профессиональных союзов, входящих в Федерацию профсоюзов Беларуси / Е. Н. Гладкая // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. Д, Экон. и юрид. науки. – 2020. – № 5. – С. 119–126.

10. Бондаренко, Н. Л. Совершенствование понятийно-категориального аппарата правовой науки в контексте решения задачи разграничения понятий «статус», «правосубъектность», «правовое положение», «правовой режим» / Н. Л. Бондаренко, Е. Н. Гладкая, Ю. Г. Конаневич // Актуальные проблемы гражданского права. – 2020. – № 2 (16). – С. 8–40.

11. Гладкая, Е. Н. О правовом статусе профессиональных союзов в Республике Беларусь / Е. Н. Гладкая // Труд. Профсоюзы. Общество. – 2021. – № 1 (71). – С. 4–10.

12. Гладкая, Е. Н. Реализация правомочия управления в отношении собственности профессиональных союзов // Сб. науч. тр. «Право и экономика». – 2021. – № 11. – С. 133–141.

УДК 004.89

## Главная стратегическая цель работ в области искусственного интеллекта и соответствующие ей ключевые задачи

В. В. Голенков, Н. А. Гулякина, Д. В. Шункевич  
Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники,  
Минск

*E-mail: golen@bsuir.by, guliakina@bsuir.by, shunkevich@bsuir.by*

=> *эпиграф\**:

[Время разбрасывать камни и время собирать камни – всему свое время]

<= *цитата\**: *Екклезиаст*

=> *эпиграф\**:

[Ничто не устаревает так быстро, как наше представление о будущем]

=> *автор\**: *С. Лем*

=> *эпиграф\**:

[То, что сначала кажется нереальным, часто становится обыденным]

## Проблемы текущего состояния работ в области искусственного интеллекта

### *Деятельность в области искусственного интеллекта*

=> *методологические проблемы текущего состояния\**:

– Отсутствует общая формальная теория интеллектуальных компьютерных систем

:= [Отсутствует конвергенция (сближение) и интеграция различных направлений искусственного интеллекта]

=> *подпроблема\**:

Отсутствует общая формальная теория интероперабельных интеллектуальных компьютерных систем

=> *подпроблема\**:

Отсутствует унификация и стандартизация интероперабельных интеллектуальных компьютерных систем

– Отсутствует комплексная технология проектирования, производства и модернизации интеллектуальных компьютерных систем

– Отсутствует кадровый потенциал, необходимый для создания общей теории интеллектуальных компьютерных систем и комплексной технологии их проектирования, производства и модернизации

- У современных специалистов в области искусственного интеллекта отсутствует необходимый уровень интероперабельности, мотивации к конвергенции и интеграции различных направлений искусственного интеллекта

### **Главный продукт деятельности в области искусственного интеллекта**

#### ***Деятельность в области искусственного интеллекта***

=> *главная стратегическая цель (главный продукт)\*:*

- *Комплексная автоматизация всех видов и областей человеческой деятельности на основе массового использования интеллектуальных компьютерных систем*

*:= [Глобальная сеть (экосистема), состоящая из семантически совместимых интероперабельных интеллектуальных компьютерных систем, самостоятельно и осмысленно взаимодействующих как между собой, так и с людьми]*

=> *подцели\*:*

- Стратегическая научно-техническая программа комплексной автоматизации всех видов и областей человеческой деятельности на основе массового использования интероперабельных интеллектуальных компьютерных систем
- Формализация и конвергенция различных видов и областей человеческой деятельности

Указанный подход к комплексной автоматизации человеческой деятельности означает переход на принципиально новый технологический уклад и уровень развития используемых человечеством технологий.

### **Анализ текущего состояния автоматизации человеческой деятельности**

#### ***Комплекс средств автоматизации человеческой деятельности***

=> *проблема текущего состояния\*:*

- Доминирует независимая локальная автоматизация различных видов и областей человеческой деятельности, т. е. отсутствует комплексный (интегральный) подход к автоматизации человеческой деятельности в целом.

=> *подпроблемы\*:*

- Каждый человек или коллектив должен вручную декомпозировать решаемые им комплексные задачи, требующие использования различных локальных средств автоматизации, а также должен

вручную осуществлять взаимодействие этих средств при решении указанных комплексных задач.

- Каждый человек или коллектив должен знать, какие потенциально полезные ему средства автоматизации существуют в текущий момент и как с этими средствами вручную взаимодействовать с помощью соответствующих пользовательских интерфейсов (т. е. знать язык общения с этими средствами и возможности этих средств).
- Отсутствует унификация пользовательских интерфейсов для различных локальных средств автоматизации (даже для функционально эквивалентных средств), т. е. с разными даже эквивалентными средствами автоматизации необходимо общаться на разных «языках».

Следствием того, что организация управления различными локальными средствами автоматизации носит эклектичный характер (разные средства управляются по-разному), являются большие затраты на формирование у пользователей навыков управления различными средствами автоматизации и недостаточно полное использование всех возможностей применяемых средств.

Современный этап информатизации и цифровой трансформации человеческой деятельности и соответствующие требования к компьютерной грамотности пользователей носят фактически издевательский характер, особенно для неподготовленных пользователей. Пользователя заставляют знать не только смысл своей задачи, но и то, как эта задача решается с помощью компьютерных систем. Причем в разных аналогичных компьютерных системах это делается по-разному.

- С расширением многообразия различных локальных средств автоматизации человеческой деятельности существенно возрастают накладные расходы каждого человека, а также каждого коллектива на организацию взаимодействия с этими средствами автоматизации и, соответственно, существенно сокращается доля времени, которую каждый человек или коллектив может потратить на принципиально неавтоматизируемую (в первую очередь творческую, созидательную) деятельность.

В настоящее время при расширении многообразия средств автоматизации локальных видов и областей человеческой деятельности человек незаметно для себя становится придатком этих средств, уровень квалификации которого определяется не уровнем понимания смысла выполняемой деятельности, а умением управлять соответствующими средствами автоматизации, т. е.

умением грамотно нажимать на соответствующие клавиши, кнопки, рычаги.

Если провести аналогию современного характера использования средств автоматизации человеческой деятельности с деятельностью в области музыкального творчества, то можно сказать, что на современном уровне использования средств автоматизации доминируют не творцы, не композиторы, а исполнители, которые неспособны внести собственный вклад в исполняемое произведение, вклад, раскрывающий замысел композитора, и которые тем более неспособны на уместную и гармоничную импровизацию. Очевидно, что такое положение дел существенно снижает темпы технологического прогресса, а также темпы прогресса во всех автоматизируемых областях человеческой деятельности.

Поскольку на современном этапе развития средств автоматизации человеческой деятельности доминирующий характер имеет информационная (умственная) деятельность (в том числе и деятельность по управлению различными средствами автоматизации физической деятельности), создаются хорошие предпосылки для унификации принципов организации управления этими средствами.

### **Актуальность перехода от локальной к комплексной автоматизации человеческой деятельности**

Прежде чем приступить к рассмотрению актуальности перехода от локальной к комплексной автоматизации человеческой деятельности, подчеркнем, что принципиальная возможность реализации такого перехода возникла сравнительно недавно. Это связано с тем, что указанный переход на новый уровень автоматизации человеческой деятельности предполагает автоматизацию не всегда априори предсказуемого и предусматриваемого взаимодействия между различными локальными средствами автоматизации и поэтому требует использования не просто интеллектуальных компьютерных систем, а интероперабельных интеллектуальных компьютерных систем, способных к самостоятельному эффективному взаимодействию в процессе коллективного решения комплексных задач, теория и технология разработки которых только недавно получила свое развитие.

Человечество достигло больших успехов в автоматизации локальных видов и областей человеческой деятельности. При этом человек превратился в субъекта, не только управляющего данными средствами, но и в субъекта, связующего их между собой. Для того чтобы в этом убедиться, достаточно проанализировать, на что тратится время каждого из нас и можно ли это автоматизировать. А время – наш главный и при этом

невозобновляемый ресурс. Необходимость именно комплексного подхода к автоматизации человеческой деятельности обусловлена следующим:

- Все виды и области человеческой деятельности взаимосвязаны.
- Автоматизация только локализованных видов и областей человеческой деятельности без автоматизации взаимодействия (связей) вынуждает людей «вручную» выполнять роль связующих звеньев между различными средствами автоматизации.

Массовое внедрение интеллектуальных компьютерных систем во все сферы человеческой деятельности и обеспечение их эффективного взаимодействия для коллективного решения сложных задач «на стыках» различных видов и областей человеческой деятельности переводит автоматизацию этой деятельности на качественно новый уровень.

Локальное использование интеллектуальных компьютерных систем принципиально не может существенно повысить общий уровень автоматизации. Снижение такого уровня происходит на «стыках». Это аналогично тому, что ремонт любой дороги на нескольких локальных участках при сохранении плохого качества дороги на промежутках между этими участками не может существенно повысить пропускную способность ремонтируемой дороги.

Для решения проблемы осознанной (осмысленной) автоматической стыковки средств автоматизации различных локальных видов и областей автоматизируемой человеческой деятельности необходим высокий уровень *интероперабельности* указанных взаимодействующих средств автоматизации (т. е. высокий уровень *семантической совместимости, договороспособности и способности к координации действий*).

### **Конвергенция как методологическая основа комплексной автоматизации человеческой деятельности**

Зачем из-за методологической и системной безграмотности своими руками усложнять создаваемую нами искусственную (рукотворную) часть окружающей среды? Мир, в котором мы живем, и так сложен. Необходимо находить как можно больше аналогий в том, что и как мы делаем, и реализовывать аналогичные компоненты нашей деятельности одинаковым образом. В этом состоит суть конвергенции.

Все многообразие видов и областей человеческой деятельности должно быть переосмыслено на предмет их максимально возможной конвергенции для минимизации многообразия (дублирования) технических решений при разработке различных интеллектуальных компьютерных систем автоматизации человеческой деятельности.

Для решения проблемы комплексной автоматизации человеческой деятельности необходима конвергенция (обеспечение совместимости) и глу-

бокая интеграция моделей, методов и средств автоматизации различных видов и областей человеческой деятельности. В этом как раз и заключается суть интероперабельных интеллектуальных компьютерных систем. Однако указанная конвергенция моделей, методов и средств автоматизации требует также конвергенции самих видов и областей человеческой деятельности (это также существенно сократит многообразие средств автоматизации).

Конвергенция различных видов и областей человеческой деятельности предполагает построение общей формальной теории человеческой деятельности, являющейся основой для эффективной комплексной автоматизации всевозможных видов и областей человеческой деятельности, в основе которой лежит выявление аналогий и минимизация дублирования (многообразия), унификация и стандартизация технических решений. В результате этого многообразие частных (локальных) технических решений должно превратиться в систему семантически совместимых и эффективно взаимодействующих технических систем.

Для того чтобы строго говорить о конвергенции различных видов и областей человеческой деятельности, необходимо построить их четкую иерархическую систему. В качестве примера фрагмента такой системы рассмотрим структуру деятельности в области искусственного интеллекта.

### ***Деятельность в области искусственного интеллекта***

:= [Деятельность, направленная на создание интеллектуальных компьютерных систем (искусственных кибернетических систем)]

=> *декомпозиция\**:

- Научно-исследовательская деятельность в области искусственного интеллекта, направленная на построение теории интеллектуальных компьютерных систем
- Разработка комплекса технологий искусственного интеллекта  
:= [Разработка комплекса технологий поддержки жизненного цикла интеллектуальных компьютерных систем]

=> *декомпозиция\**:

- Разработка и модернизация технологии проектирования интеллектуальных компьютерных систем
- Разработка и модернизация технологии производства интеллектуальных компьютерных систем
- Разработка и модернизация технологии эксплуатации интеллектуальных компьютерных систем
- Разработка и модернизация технологии модернизации интеллектуальных компьютерных систем
- Инженерная деятельность в области искусственного интеллекта  
:= [Эксплуатация комплекса технологий искусственного интеллекта]

=> *декомпозиция\**:

- Проектирование интеллектуальных компьютерных систем (в том числе и глобальной экосистемы интеллектуальных компьютерных систем)
- Производство интеллектуальных компьютерных систем
- Эксплуатация интеллектуальных компьютерных систем
- Модернизация интеллектуальных компьютерных систем
- Подготовка кадров в области искусственного интеллекта
- Общая организация деятельности в области искусственного интеллекта  
:= [Разработка стратегии и тактики развития деятельности в области искусственного интеллекта и ее материально-техническое и финансовое обеспечение]

Очевидно, что подобную структуру имеют все области человеческой деятельности, направленные на создание различных сложных искусственных (в том числе и социотехнических) систем. При этом можно говорить об общих принципах организации и поддержки (автоматизации) с помощью интеллектуальных компьютерных систем:

- научно-исследовательской деятельности в самых разных областях;
- проектной деятельности в различных областях;
- производственной деятельности в различных областях;
- подготовки кадров в различных областях.

В основе указанной конвергенции различных видов и областей человеческой деятельности лежит борьба с информационным кризисом (информационным «потопом»), с дублированием накапливаемых человеческим знанием и навыков. Для этого необходим переход на смысловое представление этих знаний, удобное как для людей, так и для интеллектуальных компьютерных систем, а также конвергенция онтологий различных предметных областей (конвергенция соответствующих систем понятий).

Особо следует подчеркнуть, что непосредственная текущая деятельность администраторов (менеджеров) различного уровня по контролю и управлению бизнес-процессами соответствующих им организаций должна быть полностью формализована, автоматизирована и заменена на деятельность по эволюции (модернизации, развитию, совершенствованию) этих организаций. Текучка не должна заедать – она должна просто исчезнуть!

### **Архитектура глобальной экосистемы интероперабельных интеллектуальных компьютерных систем**

Глобальная экосистема интероперабельных интеллектуальных компьютерных систем представляет собой сеть взаимодействующих индивидуальных интеллектуальных компьютерных систем.

Детализация архитектуры экосистемы прежде всего предполагает ролевую типологию (специализацию) индивидуальных интеллектуальных компьютерных систем, входящих в экосистему:

- персональные ассистенты;
- порталы научно-технических знаний;
- интеллектуальные автоматизированные системы управления сложными объектами различного вида (производственными предприятиями, городами, организациями, ...);
- интеллектуальные обучающие системы;
- интеллектуальные системы автоматизированного проектирования (в том числе коллективного) сложных систем различного вида.

Кроме того, можно говорить о типологии индивидуальных интеллектуальных компьютерных систем по характеру их внешней среды:

- индивидуальная интеллектуальная компьютерная система, взаимодействующая только с другими индивидуальными интеллектуальными компьютерными системами
- корпоративная интеллектуальная компьютерная система, обеспечивающая координацию деятельности соответствующего коллектива интеллектуальных компьютерных систем
- индивидуальная интеллектуальная компьютерная система, взаимодействующая с другими индивидуальными интеллектуальными компьютерными системами и с физической окружающей средой
- индивидуальная интеллектуальная компьютерная система, взаимодействующая с другими индивидуальными интеллектуальными компьютерными системами и с конкретным обслуживаемым пользователем  
:= [персональный ассистент пользователя]

### **Направления самостоятельной и искусственно поддерживаемый эволюции глобальной экосистемы интероперабельных интеллектуальных компьютерных систем**

Важнейшим фактором, определяющим качество любой кибернетической системы (в том числе и глобальной экосистемы интероперабельных интеллектуальных компьютерных систем), является не только ее *функциональная мощность* (множество всех решаемых ею задач, определяющих уровень ее самоорганизации, уровень ее интеллекта), но и уровень ее *обучаемости* (уровень способности к собственной эволюции, к повышению своего уровня самоорганизации, уровня интеллекта). Эволюция глобальной экосистемы интероперабельных интеллектуальных компьютерных систем осуществляется одновременно на следующих архитектурных уровнях этой экосистемы:

– в рамках каждой *индивидуальной интеллектуальной компьютерной системы*, входящей в состав экосистемы (индивидуальная интеллектуальная компьютерная система – это целостная интеллектуальная компьютерная система, способная самостоятельно взаимодействовать с окружающей ее средой, в том числе и с себе подобными);

– в рамках каждого входящего в экосистему *коллектива индивидуальных интеллектуальных компьютерных систем*, входящих в состав экосистемы (каждый такой коллектив представляет собой многоагентную систему, способную коллективно решать соответствующее множество задач);

– в рамках каждого входящего в экосистему *иерархического коллектива интеллектуальных компьютерных систем*, в состав каждого из которых могут входить и индивидуальные интеллектуальные компьютерные системы, и коллективы индивидуальных интеллектуальных компьютерных систем, и другие иерархические коллективы интеллектуальных компьютерных систем;

– в рамках каждой *популяции интеллектуальных компьютерных систем*, входящих в экосистему и автоматически порождаемых и обучаемых в рамках экосистемы.

Рассмотрим подробнее направления эволюции индивидуальных и коллективных (многогенных) кибернетических систем:

– Каждая индивидуальная кибернетическая система (индивидуум, особь, организм) эволюционирует (совершенствуется, самообучается) путем накопления информации об окружающей среде и приобретения опыта по взаимодействию с этой средой. Целью эволюции (самообучения) является выявление таких полезных факторов окружающей среды, которые способствуют сохранению целостности и увеличению срока жизни индивидуальной кибернетической системы, а также выявление опасных (вредных) для кибернетической системы факторов окружающей среды.

– Каждая индивидуальная кибернетическая система имеет конечный срок жизненного цикла. Поэтому важнейшим этапом эволюции индивидуальных кибернетических систем является приобретение ими способности порождать (воспроизводить) себе подобных (например, путем деления). В результате вместо множества разнообразных индивидуальных кибернетических систем возникает множество разнообразных популяций индивидуальных кибернетических систем, каждая из которых состоит из индивидуальных кибернетических систем одного вида, способных размножаться, т. е. порождать «потомство» новых себе подобных индивидуальных кибернетических систем, которым передается опыт, накопленный «предками».

– Переход от индивидуальных кибернетических систем к их *коллективам*, обеспечивающим существенное расширение множества решаемых задач. В основе таких коллективов лежат принципы организации взаимо-

действия индивидуальных кибернетических систем при коллективном решении сложных задач.

– Формирование (создание) для всех членов коллектива или популяции кибернетических систем *общей памяти*, в которой аккумулируются все накопленные ими знания и передаются всем членам коллектива или популяции кибернетических систем (в частности, от предков к потомкам). В основе указанной общей памяти лежит общий язык.

– Эволюция кибернетической системы, осуществляемая не только в форме повышения качества своей базы знаний, но и в форме модернизации собственной физической оболочки, а также в форме изменения своей внешней среды.

Основная цель *кибернетики* – познать законы эволюции (самоорганизации), которые в природе реализуются методом проб и ошибок, требуя много времени, и создать искусственные самоорганизующиеся системы, в рамках которых существенно ускоряются темпы их эволюции.

#### **Список использованных источников**

1. Поспелов, Д. А. Ситуационное управление. Теория и практика / Д. А. Поспелов. – М. : Наука, 1986.
2. Палагин, А. В. Проблемы трансдисциплинарности и роль информатики / А. В. Палагин // Кибернетика и системный анализ. – 2013. – № 5. – С. 3–13.
3. Голенков, В. В. Открытая технология онтологического проектирования, производства и эксплуатации семантически совместимых гибридных интеллектуальных компьютерных систем / В. В. Голенков, Н. А. Гулякина, Д. В. Шункевич. – Минск : Бестпринт, 2021. – 690 с.
4. Тарасов, В. Б. От многоагентных систем к интеллектуальным организациям / В. Б. Тарасов. – М. : Изд-во УРСС, 2002. – 352 с.

УДК 528.854

## Анализ изображений клеток нервной ткани *in vitro* с применением метода глубокого обучения

А. А. Денисов✉, А. В. Никифоров, А. В. Волков  
Белорусский государственный университет;  
Институт физиологии НАН Беларуси,  
Минск  
*E-mail: an.denisov@gmail.com*

### Введение

Методика культивирования клеток нервной ткани *in vitro* находит широкое применение как при исследовании фундаментальных принципов функционирования нейронов и биологических нейронных сетей, так и при решении ряда практических задач биомедицинского характера, в биоинженерных разработках, при экспериментальном моделировании развития патологических состояний. Особенностью экспериментальной работы с культивируемыми нейронами является необходимость анализа изображений не только тел клеток, но и сложной сети отростков – нейритов. Для подсчета количества клеток в суспензии при проведении работ по клеточному культивированию часто используются классические подходы с камерой Горяева благодаря их широкой распространенности и простым методикам работы, основанным на ручном подсчете клеток. В целом обработка изображений клеток – это трудоемкая процедура, требующая концентрации внимания и сопряженная с ошибками при больших объемах работ. Вместе с тем в настоящее время интенсивно развиваются методы нейросетевой обработки изображений, которые успешно применяются для распознавания различных биологических объектов. В связи с этим актуальной является разработка методов анализа изображений клеток нервной ткани, полученных методами световой микроскопии, позволяющими проводить исследования динамики живых развивающихся культур клеток. Перспективные подходы в данном направлении связаны с использованием современных методов машинного обучения, в том числе методов глубокого обучения, которые пригодны для работы со сложными и зашумленными изображениями. Так, архитектура нейронной сети U-Net, реализующая метод глубокого обучения, показала хорошие результаты при обработке изображений биологических объектов [1].

В данной работе представлены подходы к сегментации фазоконтрастных изображений культивируемых нейронов коры головного мозга крысы, а также подсчета клеток в камере Горяева с применением нейросетевых методов глубокого обучения.

### **Материалы и методы клеточных работ**

Нейроны коры головного мозга крысы выделяли в соответствии с нормами этического обращения с экспериментальными животными. Диссоциированные нейроны высевали в чашки Петри Nunclon Nunc (Thermo Fisher Scientific, США) в культуральную среду Neurobasal с добавкой B-27 (Thermo Fisher Scientific, США) и помещали в клеточный CO<sub>2</sub>-инкубатор при температуре 37 °С, содержание CO<sub>2</sub> в инкубаторе составляло 5 %. Изображения нейронов получали при помощи микроскопа Nikon Eclipse Ti2-U (Япония) в режиме фазового контраста путем автоматического сканирования заданной области.

Для получения изображений суспензии клеток в камере Горяева использовали линию глиомы крысы С6. Изображения получали через микроскоп BestScope BS-2092 с установленной цифровой камерой TourCam UCMOS05100KPA.

### **Реализация методов обработки изображений**

Для предварительной обработки полученных изображений нейронов применяли разработанный набор модулей на языке Python с помощью библиотеки OpenCV. Помимо предобработки данных, изображения из обучающей выборки проходили этапы аугментации, включающие отражение от оси, вращение изображения, размытие области, изменение яркости изображения.

Для решения задачи сегментации была модифицирована модель MEDIAR-Former [2], разработанная на основе архитектуры U-Net и учитывающая необходимость обработки гетерогенных наборов изображений, которые получены методами оптической микроскопии. Структура MEDIAR-Former в общем виде состоит из блоков кодирования, декодирования и двух независимых выходных блоков распознавания клеток (CR) и разделения клеток (CD). Данная модель была модифицирована путем добавления блоков классификации клеток (CC) и сегментации нейритов (NS).

В качестве метрики результативности использовали  $F1$ -меру как среднее гармоническое между точностью и полнотой, где точность – отношение числа истинно-положительных результатов к сумме числа истинно-положительных и ложноположительных результатов, а полнота – отношение числа истинно-положительных результатов к сумме числа истинно-положительных и ложноотрицательных результатов.

Для расчета количественных показателей длины нейритов использовали операцию скелетонизации бинарной маски, в результате чего получали набор линий, для которых рассчитывали длину. Для создания обучающих наборов данных выполняли ручную сегментацию данных на соответствующие классы.

В качестве начального состояния использовали набор весов, полученный в результате обучения с применением ряда открытых баз данных изображений культивируемых клеток, для которого затем проводили дообучение с помощью полученных изображений культивируемых нейронов и соответствующих масок, полученных в результате ручного сегментирования.

Для распознавания клеток глиомы С6 на изображениях камеры Горяева взяли нейросетевую модель на основе архитектуры U-Net с прогнозированием вертикальных и горизонтальных градиентов объектов. Для распознавания использовали базовый набор весов, полученный в результате обучения нейронной сети на наборе изображений клеток из различных источников, а также набор весов, полученный в результате дообучения после ручной сегментации изображений клеток С6 в камере Горяева при увеличении 10x и 20x. В качестве мер эффективности распознавания применяли: точность  $A$  как отношение числа правильно распознанных объектов к размеру обучающей выборки; точность  $P$  как отношение числа истинно-положительных результатов к сумме числа истинно-положительных и ложноположительных результатов; полноту  $R$  как отношение числа истинно-положительных результатов к сумме числа истинно-положительных и ложноотрицательных результатов.

### Результаты и обсуждение

Разработанный метод анализа изображений нейронов апробирован при характеристике развития сети культивируемых нейронов *in vitro* на основе подсчета длины нейритов на различных стадиях роста культуры. Полученная зависимость рассчитанной суммарной длины нейритов на одном квадратном миллиметре поверхности при ручной сегментации соответствует зависимости для ручной сегментации, но рассчитанные значения длины меньше, так как алгоритм распознает не все нейриты, определенные при ручной обработке. При сегментации тестовой выборки были получены следующие значения  $F1$ -меры: для клеток и кластеров  $F1 = 0,688$ , для нейритов  $F1 = 0,609$ . Для исходной модели Mediar без дообучения при классификации клеток получено значение  $F1 = 0,215$ . Таким образом, дообучение на полученных фотографиях культивируемых нейронов позволило существенно улучшить производительность сегментации нейронов.

При подсчете клеток на изображениях камеры Горяева при увеличении 20x точность  $A$  составила 0,925 при распознавании с базовым набором

весов и 0,965 при распознавании после дообучения. При увеличении 10x при распознавании с базовым набором весов получены значения:  $A = 0,794$ ,  $P = 0,962$  и  $R = 0,892$ . При увеличении 10x при распознавании после дообучения получены значения:  $A = 0,981$ ,  $P = 0,994$  и  $R = 0,986$ . Таким образом, процедура дообучения после ручной сегментации позволила повысить производительность распознавания клеток. Эффективность распознавания изображений при увеличении 10x снизилась по сравнению с изображениями при увеличении 20x в связи со снижением степени детализации объектов. Дальнейшее развитие представленного подхода будет направлено на работу с изображениями, полученными при увеличении 4x, которые захватывают полный сегмент камеры Горяева, что позволит проводить подсчет клеток по одной фотографии и значительно ускорит работу по сравнению с ручным методом. При наборе соответствующих баз данных возможен анализ изображений окрашенных клеток, а также детекция различных типов клеток на основе их морфологических особенностей.

Полученные значения  $F1$ -меры при распознавании нейритов сравнимы со значениями для распознавания клеток, что свидетельствует об эффективности работы выбранной нейросетевой модели при распознавании нейритов по сравнению с классическими методами, основанными на детекции с применением порога интенсивности. Для повышения эффективности распознавания будут проводиться донабор базы данных изображений культивируемых нейронов, используемых для обучения нейронной сети, а также модификация архитектуры для улучшения работы с протяженными объектами. Дальнейшее развитие разработанных средств анализа также может быть направлено на разделение распознанных клеток на классы по морфологическим признакам, например, нейроны и глиальные клетки, при формировании соответствующей базы данных изображений. На основе получаемых в результате сегментации масок возможно проведение подсчета количества клеток на подложке, степени их адгезии к субстрату, морфологического исследования арборизации нейритов и других видов анализа. Полученные результаты могут применяться при отработке новых экспериментальных методик выращивания нейронов, в том числе на новых типах субстратов, для количественного мониторинга прикрепления и адгезии клеток, роста нейритов.

Разработанные методы могут применяться и для анализа изображений, получаемых при проведении других типов экспериментов с культивируемыми клетками, например, при исследовании процессов дифференцировки стволовых клеток в нейрональном направлении, при разработке биоинженерных конструкций для моделирования процессов регенерации нервной ткани [3], для выявления патологических фенотипов клеток на изображениях, при работе с экспериментальными системами на основе органоидов, моделирующих процессы развития нервной системы.

**Список использованных источников**

1. U-Net and Its Variants for Medical Image Segmentation: A Review of Theory and Applications / N. Siddique [et al.] // IEEE Access. – 2021. – Vol. 9. – P. 82031–82057.
2. MEDIAR: Harmony of Data-Centric and Model-Centric for Multi-Modality Microscopy [Electronic resource] / G. Lee [et al.]. – Mode of access: <https://arxiv.org/pdf/2212.03465.pdf>. – Date of access: 25.10.2023.
3. Stukel, J. M. The interplay of peptide affinity and scaffold stiffness on neuronal differentiation of neural stem cells / J. M. Stukel, R. K. Willits // Biomed. Mater. Bristol Engl. – 2018. – Vol. 13, № 2. – P. 024102.

УДК 378+621.001

## **Перспективы применения технологий искусственного интеллекта в управлении цепочками поставок**

**В. И. Дравица, А. В. Решетняк, И. А. Король, А. А. Андрушевич**  
Государственное предприятие «Центр систем идентификации»,  
НАН Беларуси, Минск

Последствия пандемии COVID-19 и сложная мировая геополитическая ситуация в начале 2020 гг. вызвали изменения в уже устоявшихся ранее подходах к организации и мониторингу цепочек поставок продуктов питания, товаров, материалов, сырья и услуг. В ответ на эти вызовы многие коммерческие и государственные организации ускорили внедрение и интеграцию цифровых технологий в бизнес-процессы на всех стадиях жизненного цикла производства продукции (товара), что позволило значительно снизить либо прогнозировать возможные риски.

Однозначная (уникальная) идентификация объектов и субъектов цепочек поставки в соответствии с международными стандартами, высокий уровень автоматизации и интероперабельность разнородных систем, а также переход на цифровые сети цепочек поставок позволяют интегрировать данные и эффективно управлять процессами производства, логистики, торговли, гарантийного и постгарантийного обслуживания, а также утилизации товаров. Эти подходы служат основой для формирования экономики замкнутого цикла, обеспечивающей адаптивность и повышение устойчивости цепочек поставок, значительное снижение количества отходов и себестоимости продукции. Также данные подходы способствуют повышению барьеров на пути производства и распространения поддельной, контрафактной продукции, а также снижению антропогенной нагрузки и вреда для экологии. При этом необходимо отметить, что ключевыми элементами для указанных выше подходов являются идентификация, прослеживаемость и обеспечение достоверности информации. Эти элементы представляют собой комплекс решений, основанных на международных стандартах системы GS1, на базе которых обеспечивается активное развитие внутренней и взаимной торговли в соответствии с едиными правилами и протоколами взаимодействия.

Отметим также, что если в целом бизнес-процессы в цепочках поставок остаются практически неизменными (физическое производство товаров, их транспортировка и пр.), то информация о событиях, связанных

с этими бизнес-процессами и непосредственно с товарами, подвергается эволюционным изменениям. В настоящее время подходы, внедряемые GS1, позволяют реализовать классическую модель 5W (what? – что?, who? – кто?, why? – почему?, when? – когда?, where? – где?), а также ответить на вопрос how? – как (в каком состоянии)? по отношению к идентифицированному объекту (товару, продукции). Относительно недавно (примерно 10 лет назад) реализация такого подхода была ограничена уровнем технологического развития, но в настоящее время наблюдается активное внедрение современных цифровых технологий. Стандарты GS1 позволяют обеспечивать технологическое взаимодействие участников цепочки поставки в глобальном масштабе, создавать совместимые сети обмена данными между цифровыми объектами, используя преимущества современных технологий: интернета вещей (IoT), распределенного реестра (DLT), а также искусственного интеллекта (AI, ИИ), включая машинное обучение.

Основные преимущества интернета вещей заключаются во взаимосвязанности объектов и возможностях мониторинга информации о событиях, связанных с этими объектами, в реальном режиме времени. Технология распределенного реестра обеспечивает возможность подтверждения достоверности этих событий либо связанных с ними цифровых документов. Основная цель искусственного интеллекта и машинного обучения в цепочках поставок – облегчить процесс принятия решений, повысить скорость и качество работы, а также обеспечить более высокий уровень оценки и управления рисками.

Крупные корпорации, такие как Amazon, Walmart, Philips, eBay, инвестируют значительные средства в развитие AI для задач управления цепочками поставок (Supply Chain Management, SCM) [1]. За последние годы получили развитие несколько крупных проектов, обеспечивающих участников цепочки поставки товарами данными для более эффективного ведения сделок с постоянно возрастающим количеством партнеров. Соответственно, на базе таких решений становится возможной реализация систем, значительно снижающих риски бесперебойной поставки сырья и комплектующих для производства товаров, а также поставки товаров на целевые рынки при условии снижения издержек. Примерами таких внедрений являются проекты Cart.com и Typeface (URL: <https://www.typeface.ai/>), предоставляющие своим пользователям возможности генеративного ИИ<sup>1</sup> для решения задач логистики и ведения бизнеса.

---

<sup>1</sup> Генеративный искусственный интеллект – это тип системы ИИ, способной генерировать текст, изображения или другие медиаданные в ответ на подсказки. Генеративный ИИ использует генеративные модели, такие как большие языковые модели, для статистической выборки новых данных на основе набора обучающих данных, который использовался для их создания [2].

Использование технологий ИИ позволит в дальнейшем модернизировать ряд бизнес-процессов не только в цепочках поставки, но и на всех стадиях жизненного цикла товара (продукции). В частности, SCM на основе искусственного интеллекта может быть ориентирована на решение следующих задач: моделирование и симуляция, оптимизация, прогнозирование и анализ рисков, поддержка принятия решений, управление запасами, маркетинг, транспортировка.

Одновременно с этим ИИ может использоваться для решения более сложных задач: проектирования сетей цепей поставок, выбора поставщиков, планирования спроса и др. Таким образом, данные решения способны обеспечить более эффективные, более устойчивые и даже более рациональные цепочки поставок. Однако следует отметить, что инструменты ИИ в настоящее время в большей степени предоставляют прогностический компонент для помощи в принятии решения, т. е. ИИ может взять на себя выполнение некоторых, но не всех задач, поскольку не подразумевает автономного принятия решений.

В заключение необходимо отметить, что цифровые технологии меняют саму природу цепочки поставок, которая когда-то была построена по принципу большого объема и масштаба. Технологии ИИ превращают цепочку поставок в гибкую, электронно-связанную инфраструктуру, которая может поддерживать несколько виртуальных цепочек поставок. При этом такие виртуальные цепочки поставок приходят на смену традиционным фиксированным линейным цепочкам поставок прошлого. Они предлагают новые варианты потока информации, которая позволяет ускорить выполнение заказов, например, в реальном времени.

Путь к зрелой цифровой цепочке поставок будет включать несколько этапов: сначала это обеспечение прозрачности (видимости) данных в цепочке поставок, затем построение прогнозирующей аналитики и директивной цепочки поставок и, в конечном счете, в будущем, – выстраивание самообучающейся цепочки поставок [3]. По мере продвижения компаний по кривой зрелости их опора на ручное управление будет заменена автономным управлением, что обеспечит им значительный рост эффективности и экономию затрат.

Большинство компаний сегодня находятся на первом этапе цифровой зрелости цепочки поставок – в фазе создания прозрачности (видимости). В настоящее время большое внимание уделяется сквозной видимости цепочки поставок, призванной помочь компаниям лучше управлять ограничениями в цепи. На этом этапе зрелости прозрачность цепочки поставок создается различными системными интеграторами, такими как ERP-системы. Это позволяет бизнесу получить сквозное представление о том, как продукт проходит через цепочку поставок.

Следующим этапом зрелости цифровой цепочки поставок является предиктивная аналитика. На этом этапе используются прогнозирующие аналитические алгоритмы, основанные на больших данных, таких как данные датчиков технологии IoT, данные о погоде и др., чтобы предсказать, где в будущем могут возникнуть проблемы с цепочкой поставок. Например, предиктивная аналитика может использоваться для анализа таких данных, как прогнозы погоды и перегруженность портов, для прогнозирования воздействия на грузовые перевозки в пути и определения того, какие поставки могут задерживаться.

Директивная цепочка поставок, функционирующая на основе применения технологий машинного обучения, является следующим этапом развития цифровой цепочки поставок. На данном этапе интеллектуальные системы смогут выйти за рамки прогнозирования потенциальных проблем цепочки поставок, предлагая план действий для решения этой проблемы. Такая технология уже включена в лучшие программные решения, где директивная аналитика использует исторические данные от планировщиков. Например, для отгрузки, которая по прогнозам опаздывает, программа может предоставить несколько вариантов решения (в том числе своп-запрос<sup>2</sup> [4] от другого ресурса или покупку у другого поставщика), а затем рекомендовать лучший из них.

Завершающим этапом зрелости цифровой цепочки поставок является самообучающаяся цепочка поставок, которая становится возможной благодаря «глубокому машинному обучению». Возможность предоставления подобных программных решений обеспечит значительное конкурентное преимущество как компаниям, так и поставщикам программных решений. «Глубокое машинное обучение» является формой искусственного интеллекта, в результате чего машины учатся у машин.

### Список литературы

1. Методы и технологии идентификации и маркировки товаров : моногр. / В. И. Дравица [и др.]. – Минск : Вышэйшая школа, 2022. – 223 с.
2. Генеративный искусственный интеллект [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/>. – Дата доступа: 07.09.2022.
3. Самообучающиеся цепочки поставок [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://inprojects.ru/self-regulated-supply-chain>. – Дата доступа: 12.09.2022.
4. SWAP [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.fxclub.org/faq/chto-takoe-swap>. – Дата доступа: 22.09.2022.

---

<sup>2</sup> Свop – операция переноса позиции на следующие сутки.

УДК 004.89:001.89(476)

## **BELAI.BY – платформа штучнага інтэлекту**

**Я. С. Зяноўка, Д. А. Бяляўскі, В. В. Дыдо, У. С. Тамашэвіч,  
Д. І. Латышэвіч, А. А. Бакуновіч, В. С. Собаль, Ю. С. Гецэвіч**  
Аб'яднаны інстытут праблем інфарматыкі НАН Беларусі,  
Мінск

### **Уводзіны**

Штучны інтэлект (ШІ) у апошнія гады стаў адной з ключавых тэхналогій, якія ўплываюць на развіццё многіх галін навукі і прамысловасці. Рэспубліка Беларусь з'яўляецца інавацыйна арыентаванай краінай і актыўна прымае ўдзел у развіцці ШІ, дэманструючы значныя дасягненні ў галіне ІТ-распрацовак, біятэхналогій, робататэхнікі і іншых навукова-практычных даследаванняў. Прадстаўнікі навукова-даследчых дзяржаўных і прыватных арганізацый краіны, тэхнапаркаў, устаноў адукацыі накіраваны на стварэнне перадавых распрацовак і інавацыйных рашэнняў, аб чым сведчыць вялікая колькасць прадстаўленых тэхналогій, навуковых даследаванняў, метадаў і алгарытмаў ШІ. Ужо добра вядомыя беларускія распрацоўкі ў праграмаванні, медыцыне, банкаўскай сферы, робататэхніцы, прыборабудаванні, моўных і маўленчых тэхналогій. Краіна актыўна інвесціруе ў гэтую вобласць і прыцягвае таленавітых навукоўцаў і распрацоўшчыкаў для далейшага развіцця ШІ. Стварэнне агульнай беларускай супольнасці стане значным крокам у аб'яднанні айчынных наватараў і сістэматызацыі інавацыйных распрацовак ШІ.

### **Каардынацыя супрацоўніцтва вучоных, спецыялістаў навукова-даследчых арганізацый, устаноў адукацыі**

Для стварэння прадуктыўных умоў развіцця ШІ распрацаваны шэраг накірункаў, якія садзейнічаюць росквіту інтэлектуальнай Рэспублікі Беларусь. Так, у адпаведнасці з пастановай Бюро Прэзідыума НАН Беларусі № 363 ад 31 жніўня 2015 г. на базе Аб'яднанага інстытута праблем інфарматыкі НАН Беларусі і Інстытута фізіялогіі НАН Беларусі створаны Міжведамасны даследчы цэнтр штучнага інтэлекту (URL: <http://uiip.basnet.by/intellekt/>). Цэнтр аб'ядноўвае намаганні спецыялістаў у галіне медыцынскіх, біялагічных, інфармацыйных, тэхнічных і фізіка-матэматычных навук для стварэння перадавых і канкурэнтаздольных тэхналогій ШІ і стварае ўмовы для выканання навукова-даследчых праектаў у галіне ШІ,

што рэалізуюцца як у рамках дзяржаўных праграм навуковых даследаванняў, так і з прыцягненнем недзяржаўных інвестыцый.

Стварэнне суб'ектаў інавацыйнай інфраструктуры, да якіх адносяцца тэхнапаркі, – адзін з найбольш дзейсных інструментаў па развіцці перадавога прадпрыемства і інавацыйнай эканомікі ведаў. Сёння ўжо створана сетка з 17 тэхнапаркаў, якія ахопліваюць усе рэгіёны нашай краіны і з'яўляюцца цэнтрамі прыцягнення найноўшых распрацовак і вытворчасцяў. У іх штогод рэгіструюцца новыя інавацыйныя прадпрыемствы, якія ў далейшым становяцца паспяховымі не толькі ў Беларусі, але і па-за яе межамі. Парк высокіх тэхналогій (ПВТ) – таксама адзін з найбольш прыкметных сімвалаў імклівага развіцця інфармацыйных тэхналогій і інавацый у Беларусі. За 18 гадоў свайго існавання ПВТ дасягнуў значных вынікаў і зрабіў вялікі ўклад у развіццё ІТ-сектара і эканомікі Беларусі.

Падрыхтоўка высокакваліфікаваных кадраў – яшчэ адзін з найважнейшых фактараў паспяховага развіцця краіны. Іх рыхтуюць розныя навучальныя ўстановы: ўніверсітэты, каледжы, тэхнічныя школы, прафесійныя трэнінгавыя цэнтры і г. д., тым самым прапаноўваючы праграмы навучання, якія забяспечваюць неабходныя веды і навыкі, магчымасць вывучэння асноўных паняццяў і метадаў ШІ, менавіта машыннае навучанне, нейронныя сеткі, генератыўныя алгарытмы і апрацоўка натуральнай мовы. Акрамя таго, асобныя кампаніі і арганізацыі ажыццяўляюць свае ўласныя праграмы навучання, семінары, курсы для павышэння кваліфікацыі супрацоўнікаў, каб ствараць і падтрымліваць неабходны набор ведаў персаналу.

ШІ з'яўляецца дынамічнай галіной, новыя метады і тэхналогіі ствараюцца бесперапынна. Кваліфікаваным спецыялістам неабходна абнаўляць свае веды і сачыць за апошнімі тэндэнцыямі. Гэтаму спрыяе ўдзел у канферэнцыях, семінарах і выставах. Нацыянальная акадэмія навук Беларусі рэгулярна склікае навуковыя сесіі, праводзіць канферэнцыі, сімпозіумы, нарады і іншыя арганізацыйныя і практычныя мерапрыемствы для абмеркавання навуковых і практычных праблем і пытанняў каардынацыі навукова-даследчых работ, у тым ліку ў галіне ШІ. Сярод іх трэба адзначыць:

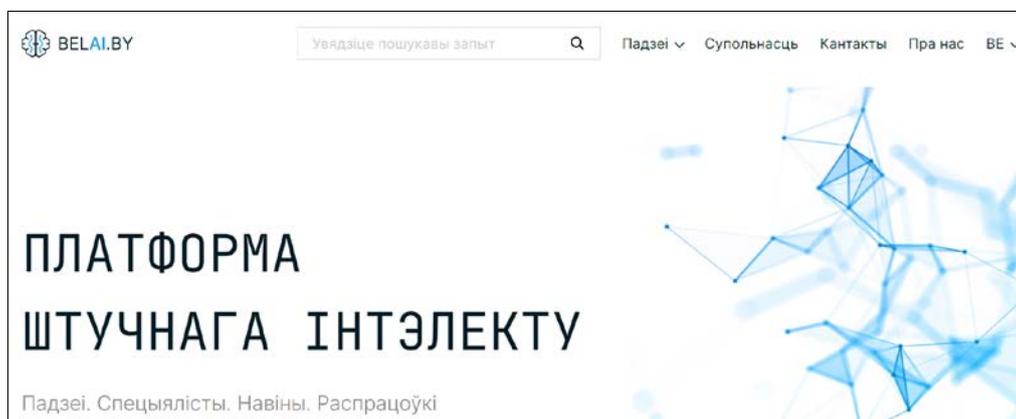
– выставу навукова-тэхнічных дасягненняў «Беларусь інтэлектуальная», мэта правядзення якой заключаецца ў дэманстрацыі інавацыйных навуковых распрацовак беларускіх навукоўцаў і студэнтаў і прапагандзе дасягненняў навукі, арыентаванай на шырокую аўдыторыю прадстаўнікоў усіх слаёў беларускага грамадства;

– форум ТИБО – унікальную пляцоўку для абмену перадавым міжнародным вопытам, генерацыі інавацыйных ведаў і абмеркавання механізмаў укаранення найноўшых тэхналагічных трэндаў у розныя сектары эканомікі, сацыяльную сферу і сістэму дзяржаўнага кіравання;

– фестываль навукі ў Мінску – найбуйнейшую навукова-папулярную падзею ў Беларусі, якая знаёміць з інавацыйнымі распрацоўкамі навукоўцаў і дапамагае разабрацца ў новых ведах і падзях навукі і тэхналогій.

### Агульная пляцоўка для інавацыйных тэхналогій штучнага інтэлекту Беларусі

Для аб'яднання і акумуляцыі ўсіх перадавых даследаванняў і распрацовак ШІ, створаных у Рэспубліцы Беларусь, а таксама наладжвання камунікацыі і сувязі паміж навуковымі супольнасцямі Аб'яднаным інстытутам праблем інфарматыкі Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі, у прыватнасці лабараторыяй распазнавання і сінтэзу маўлення (URL: <http://ssrlab.by/>), прадстаўлена агульная інтэрактыўная «Платформа штучнага інтэлекту BELAI.BY» (мал. 1, URL: <https://belai.by/>). Гэта вэб-прыкладанне для спецыялістаў у сферы ШІ і ўсіх, хто цікавіцца данай сферай.



Мал. 1. Знешні інтэрфейс платформы ШІ

Мэта праекта заключаецца ў зборы на адзіным партале пад эгідай НАН Беларусі айчынных і замежных кампаній, каманд і індывідуальных распрацоўшчыкаў і практыкаў у галіне ШІ і пабудове агульнай палітыкі іх работы ў гэтай прадметнай галіне. Канцэпцыя распрацоўкі агульнай платформы грунтуецца на стварэнні базы для зносін, абмеркавання і прэзентацыі праграм, навукова-практычных мерапрыемстваў і праектаў ШІ.

У аснову стварэння і функцыянавання платформы пакладзены тры блокі:

1. Платформа-агрэгатар, якая зьбірае ўсе спасылкі на навуковыя і даследчыя цэнтры, арганізацыі, лабараторыі, аддзелы, што вядуць праекты па развіцці сферЫ выкарыстання ШІ, прадстаўляючы кантакты для далейшага супрацоўніцтва. Гэта адкрывае магчымасці для камунікацыі паміж супольнасцямі, дазволіць стварыць новыя сумесныя праекты і паспрыяе камерцыйным перспектывам рэалізацыі праектаў.

2. Платформа для бесперапыннага абнаўлення змястоўнай часткі, якая дазваляе дадаваць асабістыя даныя і матэрыялы пэўнай аргацізацыі, цэнтры ці іншай супольнасці, што жадае прадставіць свае распрацоўкі для агульнага доступу.

3. Платформа для змяшчэння кароткіх паведамленняў пра пэўныя канферэнцыі, пасяджэнні, выставы ў галіне сучасных тэхналогій. Важна заўсёды быць у цэнтры падзей, пашыраць кола кантактаў і ўплываць на меркаванне супольнасці.

### Структура інтэрактыўнай платформы BELAI.BY

З канцэптуальным вэб-прыкладаннем можна азнаёміцца на афіцыйным сайце (URL: <https://belai.by/>), які прадстаўлены на беларускай і рускай мовах. На дадзены момант вядуцца працы па дабаўленні кантэнта на англійскай мове. На галоўнай старонцы, куды трапляе карыстальнік, размешчаны наступныя даныя: лагатып, назва і апісанне праекта. Навігацыйнае меню адлюстроўвае ўкладкі: *Галоўная старонка; Пра праект; Навіны; Канферэнцыі, выставы; Даследаванні*. Хэдар таксама дэманструе наступныя старонкі: *Хатняя; Падзеі; Супольнасць; Пра нас; Кантакты*. Старонка *Падзеі* адлюстроўвае інфармацыю аб актуальных навукова-практычных мерапрыемствах і змяшчае ўкладкі: *Навіны, Канферэнцыі і выставы, Даследаванні*. Раздзел супольнасцей будзе прадстаўляць каталог арганізацый, якія займаюцца даследаваннямі і распрацоўкай інавацыйных прадуктаў у сферы ШІ. Укладка *Кантакты* прапаноўвае зваротную сувязь распрацоўшчыкаў з карыстальнікамі, дзе апошнія могуць запісаць палі і аставіць каментары, ці напрамую звязацца з распрацоўшчыкамі, выкарыстаўшы прадстаўленыя кантактныя даныя.

Плануецца, што будуць дабаўлены дадатковыя старонкі: *Рэгістрацыя і Аўтарызацыя*. Старонка *Рэгістрацыя* будзе ўтрымліваць форму, на якой карыстальніку прапануюць увесці свае рэгістрацыйныя даныя (логін, імя і прозвішча, email і пароль). Пры гэтым электронны адрас карыстальніка павінен быць унікальным ў сістэме. Для завяршэння рэгістрацыі карыстальнік павінен пагадзіцца з правіламі праекта, тэкст якога будзе прадстаўлены заказчыкам пасля завяршэння распрацоўкі. Для аўтарызацыі трэба перайсці на старонку *Аўтарызацыя* і ўвесці персанальныя даныя. Пасля паспяховай ідэнтыфікацыі карыстальнік будзе перанакіраваны на хатнюю старонку. Калі ідэнтыфікацыя паспяхова не прайшла, карыстальнік атрымае апавяшчэнне і прапанову ўвесці даныя спачатку.

Для папаўнення спіса арганізацый і супольнасцей, якія працуюць у сферы ШІ, рэалізуюцца наступныя крокі:

1. Размясціць на сайце BELAI.BY формы зваротнай сувязі, у якой зацікаўленыя лабараторыі (каманды, інстытуты, навукоўцы) і іншыя могуць пакінуць свае даныя.

2. Разаслаць электронныя лісты са спасылкай на сайт BELAI.BY да вядомых кампаній (навукоўцаў) з прапановай далучыцца да беларускай супольнасці ў галіне ШІ.

3. Распавесці пра стварэнне платформы на навукова-практычных канферэнцыях і семінарах і прапанаваць удзельнікам пакінуць свае даныя.

4. Размясціць інфармацыю пра стварэнне платформы на афіцыйных сайтах лабараторыі распазнавання і сінтэзу маўлення і Аб'яднанага інстытута праблем інфарматыкі НАН Беларусі.

5. Ажыццявіць пошук інфармацыі ў адкрытых крыніцах, у прыватнасці ў Інтэрнэце, пра супольнасці ў галіне ШІ і даслаць ім прапановы да іх уключэння ў беларускую супольнасць у галіне ШІ.

6. Зрабіць рассылку паведамленняў пра стварэнне такой платформы па тэхнічных універсітэтах і прапанаваць далучыцца да супольнасці, калі ў іх ёсць групы (лабараторыі, супрацоўнікі), якія працуюць у кірунку ШІ.

7. Размясціць друкаваныя флаеры на стэндах у вну і іншых адукацыйных і навуковых установах, дзе могуць быць зацікаўленыя ў галіне ШІ, па ўзгадненні з кіраўніцтвам гэтых устаноў.

8. Зрабіць публікацыю на навуковых і тэхнічных інтэрнэт-парталах пра платформу. Там жа размясціць спасылку (форму) на далучэнне.

Плануецца, што платформа стане падставай для стварэння імпульсу далейшага развіцця ШІ і пашырэння магчымасці выкарыстання вытворчасці беларускіх распрацоўшчыкаў. Яна дазволіць паскорыць пошук неабходных экспертыз для праектаў і інтэграцыі зацікаўленых каманд. Аўтары накіраваны на развіццё паўнаўладнага платформы, на якой магчыма ствараць сховішча тэматычных даных для навучання асабістых мадэлей студэнтамі, навукоўцамі і іншымі зацікаўленымі. Таксама будзе прадстаўлена магчымасць дзяліцца вынікамі працы, праводзіць спаборніцтвы, ствараць асабістыя сэрвісы ці прапаноўваць ідэю для рэалізацыі.

У цэлым платформа па ШІ створана для супрацоўніцтва, абмену ведамі, паляпшэння якасці распрацовак і эфектыўнасці ўкаранення ШІ. Яна садзейнічае развіццю і выкарыстанню ШІ ў розных сферах жыцця грамадства.

### **Інфармацыйны тэлеграм-канал BELAI**

Для пашырэння ведаў беларускага грамадства па сучасных айчынных і сусветных дасягненнях ў ШІ супрацоўнікамі лабараторыі распазнавання і сінтэзу маўлення Аб'яднанага інстытута праблем інфарматыкі НАН Беларусі створаны тэлеграм-канал *BelAI* як дадатковы інструмент асвятлення галоўных падзей, навін і даследаванняў у сферы ШІ (мал. 2, URL: <https://t.me/belaiplatform>). Інфармацыйны тэлеграм-партал распрацаваны з наступнымі мэтамі:

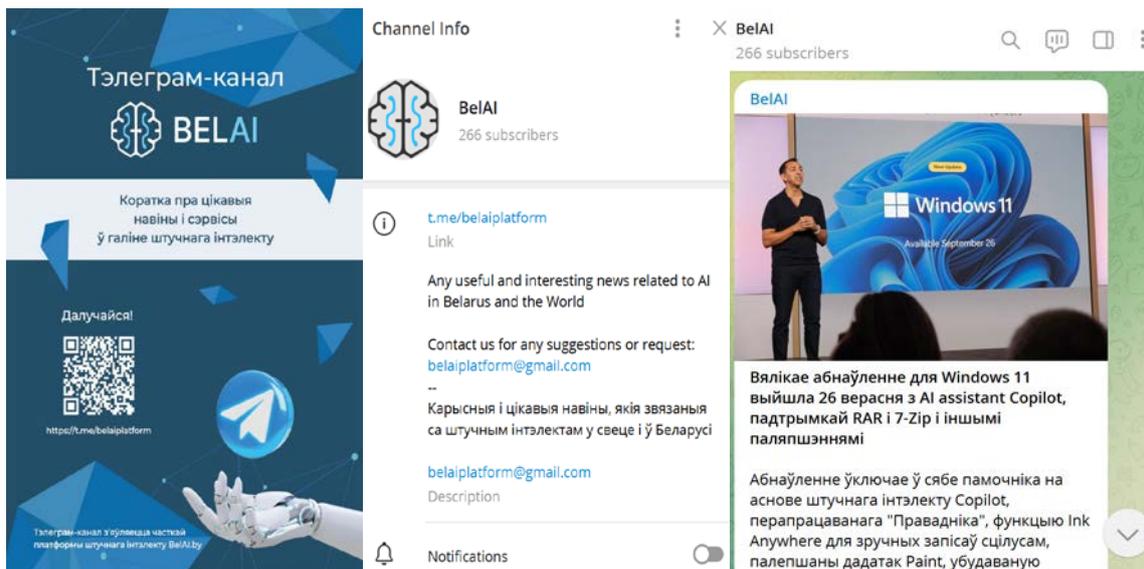
1. Інфармаванне. Канал прадастаўляе актуальную інфармацыю аб дасягненнях, новых даследаваннях і распрацоўках ШІ. Гэта дазваляе людзям, якія цікавяцца такой тэмай, быць у курсе апошніх навін і трэндаў.

2. Адукацыя: навінавы партал пашырае веды аб ШІ і яго ўжыванні ў розных сферах.

3. Прасоўванне: BELAI дапамагае прасоўваць ШІ, адлюстроўваючы яго значнасць і важнасць у сучасным свеце. Ён падкрэслівае ролю ШІ у інавацыях, навуковых даследаваннях, медыцыне, аўтаматызацыі працэсаў, кіраванні данымі і ў іншых галінах.

4. Свядомае выкарыстанне: навіны аб развіцці ШІ могуць дапамагчы людзям лепш зразумець яго этыку і ўплыў на грамадства. Яны таксама закранаюць этычныя пытанні, звязаныя з ужываннем ШІ, і вучаць, як выкарыстоўваць яго для дасягнення станоўчага ўздзеяння і вынікаў.

5. Натхненне і стымуляцыя: навіны аб поспехах і прарывах у ШІ іншых краін могуць натхняць айчынных навукоўцаў і даследчыкаў і матываваць іх прыняць удзел у даследаваннях, распрацоўках і інавацыях. Канал дэманструе таксама патэнцыйныя кар’ерныя магчымасці ў гэтай галіне, прыцягваючы новых спецыялістаў і таленты.



Мал. 2. BELAI – навінавы тэлеграм-канал

Мэсэнджар Тэлеграм з’яўляецца зручнай платформай для абмену інфармацыяй. Ён дазваляе маментальна атрымліваць інфармацыю аб навінах, падзеях, трэндах і іншых цікавых тэмах, якія асвятляюцца каналам. Карыстальнікі не залежаць ад канкрэтнага часу ці месцазнаходжання, паколькі могуць атрымліваць апавяшчэнні аб новых паведамленнях на сваіх прыладах. Распрацоўшчыкі канала выкарыстоўваюць розныя фарматы кантэнту, такія як тэкставыя нататкі, фота, відэа і апытванні, каб

падтрымліваць узаемадзеянне з падпісантамі. Акрамя таго, карыстальнікі могуць пакідаць каментары і рэагаваць на пасты, што дазваляе стварыць актыўную супольнасць вакол канала. Стварэнне і кіраванне тэлеграм-каналам не патрабуе спецыяльных навыкаў або вялікіх выдаткаў. Любы карыстальнік можа стварыць свой уласны канал і дзяліцца цікавай інфармацыяй са сваёй аўдыторыяй.

Тэлеграм-канал BELAI публікуе навіны два разы ў дзень і знаёміць карыстальнікаў з наступнымі відамі навін:

1. Асвятленне актуальных даследаванняў і распрацовак у сферы ІІІ ў свеце і Беларусі.

2. Асвятленне сучасных камп'ютарных сэрвісаў, праграм і прылад, якія выкарыстоўваюць тэхналогіі ІІІ.

3. Апавяшчэнне аб апошніх абнаўленнях вядомых сэрвісаў і праграм, якія функцыяніруюць на аснове ІІІ.

4. Адлюстраванне апошніх дасягненняў ІІІ у робататэхніцы, медыцыне, прыборабудаванні, камп'ютарных тэхналогіях.

5. Прадастаўленне разнастайных бібліятэк, камп'ютарных інфармацыйных сховішчаў, якія даюць доступ да вялікай колькасці інструментаў з ІІІ.

6. Апісанне статыстычных даных развіцця ІІІ у часовай адлегласці, таксама параўнанне ІІІ з чалавечымі магчымасцямі.

На сённяшні дзень канал мае 262 падпісанта. Мяркуецца, што колькасць карыстальнікаў павялічыцца падчас знаёмства і аб'яднання беларускіх кампаній, каманд і індывідуальных распрацоўшчыкаў і практыкаў беларускай супольнасці ў галіне ІІІ.

### Заклучэнне

Такім чынам, распрацоўкі Рэспублікі Беларусь у галіне ІІІ, ІТ-тэхналогій і робататэхнікі прадэманстравалі выдатныя вынікі і ўнеслі значны ўклад у навуковае і тэхналагічнае развіццё. Развіццё ІІІ мае вялікі патэнцыял для ўдасканалення навуковых даследаванняў, павышэння эфектыўнасці вытворчасці, стварэння новых бізнес-мадэляў і паляпшэння якасці жыцця ў краіне. Стварэнне агульнай платформы ІІІ Беларусі і навінавага тэлеграм-канала BELAI будзе садзейнічаць сумеснаму развіццю ачынных перадавых тэхналогій у галіне ІІІ. Камбінацыя хуткага доступу да інфармацыі, разнастайнасці тэматык, інтэрактыўнасці і лёгкасці выкарыстання робяць тэлеграм-канал BELAI прывабным і папулярным для карыстальнікаў. Платформа дазволіць распрацоўшчыкам і даследчыкам супрацоўнічаць, абменьвацца ведамі і вопытам, а таксама ствараць і ўдасканаліваць алгарытмы, мадэлі і архітэктуры ІІІ. Вэб-прыкладанне паспрыяе распаўсюджванню ведаў і інфармацыі аб распрацоўках і выкарыстанні ІІІ,

што зробіць яго больш даступным для шырокага кола карыстальнікаў. Немалаважным фактарам з'яўляецца стандартызацыя ІІІ. Зацвярджэнне стандартаў дазволіць стварыць адзіны набор правілаў, пратаколаў і метадаў, якія могуць быць выкарыстаны для распрацоўкі і ўкаранення ІІІ. Гэта паскорыць працэс стварэння новых тэхналогій на аснове ўжо існуючых модулей, алгарытмаў і інструментаў, уносячы ў іх свае паляпшэнні і мадыфікацыі.

УДК 004.932

## **Реидентификация людей по данным систем видеонаблюдения с использованием машинного обучения**

С. А. Игнатъева, Р. П. Богуш

Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой,  
Новополоцк, Беларусь

### **Введение**

Реидентификация людей представляет собой задачу определения присутствия заданного человека в разных местах на протяжении некоторого временного интервала. Для ее решения необходимо выявить отличительные признаки интересующего человека и сравнить их с признаками из имеющейся выборки изображений большого количества людей.

При реидентификации людей существует ряд проблем, к которым относятся: неоднозначность внешнего вида при разных ракурсах, разность качества изображений в зависимости от расстояния до камеры и уровня освещенности, сложный фон, окклюзии и др. Поэтому поиск и выделение особенностей на изображении человека представляют собой сложную задачу, для эффективного решения которой перспективным является применение сверточных нейронных сетей (СНС). Результативность использования нейросетевых моделей зависит от множества факторов [1]: архитектуры СНС, размера и разнообразия тренировочной выборки, подходов к обучению и выбора гиперпараметров сети, алгоритма обработки сформированных СНС дескрипторов. В связи с этим актуален поиск продуктивного комплекса решений для повышения точности реидентификации.

### **Выбор функции активации для различных архитектур СНС**

Для реидентификации применяются архитектуры СНС: ResNet-50, DenseNet-121, Darknet-53, тренировка которых, как правило, выполняется с применением метода обратного распространения ошибки. При этом могут возникать такие явления, как взрывные или исчезающие градиенты, уменьшить риск их возникновения можно путем изменения скорости обучения или выбором функции активации. Существует множество различных функций активации, при решении различных задач они имеют разную эффективность. Экспериментальные исследования [2] показали, что для задачи реидентификации людей из девяти рассмотренных функций активации

(ReLU, Leaky-ReLU, PReLU, RReLU, ELU, SELU, GELU, Swish, Mish) наиболее перспективными являются ReLU и GeLU, при этом скорость работы и воспроизводимость результатов для ReLU выше, чем при использовании GeLU.

### **Экспериментальное определение гиперпараметров**

Независимо от архитектуры СНС важное значение имеют гиперпараметры. Под гиперпараметрами понимают установленные перед началом тренировки настройки, такие как количество эпох, скорость обучения, размер пакета. От выбранных значений будут зависеть точность алгоритма повторной идентификации и время, затраченное на обучение.

Скорость обучения показывает, на сколько меняются весовые коэффициенты на каждой итерации их корректировки. Для повышения эффективности тренировки используют планировщики скорости, которые позволяют изменять ее значения в процессе обучения по истечении определенного интервала времени или по определенным критериям. Пакетная обработка изображений на этом этапе направлена на уменьшение времени обучения путем распараллеливания вычислений.

Экспериментальные исследования, представленные в [3, 4] показали, что для задачи реидентификации людей наиболее эффективными значениями для СНС ResNet-50 и набора данных Market-1501 являются: скорость обучения, равная 0,07 и 0,09, размер пакета – 16, количество эпох обучения – 80. При использовании скорости обучения 0,09 для набора данных DukeMTMC-ReID возникают взрывные градиенты. В связи с этим для всех экспериментов значение данного гиперпараметра устанавливается равным 0,07.

### **Формирование обучающей выборки**

Тренировка и тестирование алгоритмов реидентификации выполняются на подготовленных аннотированных наборах данных. Однако те, которые находятся в открытом доступе, не содержат изображений, полученных для четырех сезонов. Поэтому был сформирован набор данных PolReID1077 [4], содержащий 45 971 изображение 1077 различных людей в разное время года, что позволит повысить корректность работы системы реидентификации при смене сезонов. Еще одним преимуществом является то, что при формировании PolReID1077 применялись видеоданные, полученные при внешнем и внутреннем наблюдениях в большом количестве разных мест съемки и камерами с различными характеристиками. Каждый человек зафиксирован камерами с разных ракурсов в нескольких местах. Для увеличения обучающей выборки объединены наиболее используемые наборы данных, схожие по структуре: CUNK02, CUNK03, Market-150,

DukeMTMC-ReID, MSMT17 и PolReID1077. Разделение на тестовую и обучающую выборки для Market-1501, MSMT17, DukeMTMC-ReID и PolReID1077 осуществляется в соответствии с рекомендациями разработчиков. CUHK02 и CUHK03 полностью отнесены к обучающей выборке и не используются для тестирования. Таким образом, для тренировки СНС использовалось 109 772 изображения для 6381 человека.

### **Аугментация данных**

Для повышения разнообразия обучающей выборки применялась аугментация, включающая, во-первых, циклический сдвиг пикселей по вертикали и горизонтали, исключение цветности и, во-вторых, замещение фрагмента уменьшенным изображением из пакета [4]. Первая группа преобразований выполняется в процессе формирования пакета. Для изображения с помощью генератора псевдослучайных чисел определяется необходимость применения каждого из преобразований. После формирования пакета перед его поступлением на вход нейронной сети аналогичным образом принимается решение о замещении фрагментов уменьшенными копиями изображений из пакета.

Выбор преобразований обусловлен различными факторами и направлен на повышение к ним устойчивости СНС. Так, при формировании ограничительных рамок часть изображения человека может быть обрезана или скрыта другими объектами в кадре. В большинстве случаев голова человека находится в верхней части изображения, ноги в нижней, в процессе обучения СНС запоминает такие особенности. Поэтому если человек наклонился, присел, поднял руки вверх или нижняя (верхняя) часть тела оказалась скрыта, то корректное выделение признаков для СНС является сложной задачей. Применение циклического сдвига позволяет повысить устойчивость СНС к местоположению на изображении отличительных признаков и целостности частей тела человека.

Значимой характеристикой выступает цвет одежды. Однако цветопередача различных видеокамер и освещенность сцены видеонаблюдения могут искажать цвет. В этом случае необходимо руководствоваться другими особенностями: силуэтом человека или формой одежды. Исключение цветности повышает устойчивость к уровням освещения и увеличивает влияние силуэта человека на предсказание СНС.

Такое преобразование, как добавление на изображение уменьшенной копии другого, позволяет учитывать несколько проблем, возможных при реидентификации. Во-первых, повышает устойчивость к окклюзиям, так как часть изображения перекрывается другим. Во-вторых, способствует обучению СНС извлекать признаки из изображений с низким разрешением. И, в-третьих, такой метод аугментации позволяет обрабатывать два изображения одновременно.

Таким образом, предложенный метод аугментации позволит обучить СНС обнаруживать признаки независимо от их расположения, целостности частей тела человека, попавших в кадр, цвета одежды, разрешения изображения. Также поспособствует повышению чувствительности СНС к силуэту объекта, устойчивости к окклюзиям, уменьшению зависимости от уровня освещенности. Изображения, полученные при таком методе аугментации, в значительной мере отличаются от реальных, полученных при видеонаблюдении, в связи с чем предложено применять их только для предварительного обучения [5].

### **Технология двухэтапного обучения**

Предлагаемая технология [6] основана на концепции переноса обучения, при которой предварительная тренировка СНС осуществляется на большом наборе данных для схожей задачи, а затем дообучается для решения конкретной проблемы на меньшем, но целевом наборе данных. Это позволяет значительно сократить временные затраты на обучение до схожести модели. Тем не менее приходится сталкиваться с тем, что с появлением новых архитектур СНС или модификациями существующих предварительно обученные модели могут отсутствовать в свободном доступе, а реализовать предобучение будет проблематично из-за недостатка необходимого технического оснащения и значительных временных затрат. Например, предобучение на достаточно большом наборе данных изображений ImageNet [7] может занимать до нескольких недель [8]. Авторы предлагают предварительную тренировку СНС для реидентификации выполнять не на большом наборе данных, а на аугментированных изображениях. Это сможет уменьшить высокие значения функции потерь, вызванные неправдоподобностью обучающих данных по отношению к тестовым при предлагаемом методе аугментации, и затраты времени, так как аугментация позволяет повысить разнообразие изображений, но не увеличивает их количество. При реализации предложенной технологии используются следующие особенности: скорость обучения всех слоев СНС меньше скорости обучения классификационного слоя; на первом этапе осуществляется предварительное обучение с применением метода аугментации; на втором этапе процесс продолжается на данных без преобразований. Результативность предлагаемой технологии подтверждается в исследовании [6]. Эффективность предложенного двухэтапного обучения СНС на аугментированных данных подтверждается экспериментальными исследованиями, дает возможность получить значения точности реидентификации выше, чем при использовании предварительно обученной на ImageNet модели. Преимуществом также является отсутствие необходимости поиска предобученных моделей для редких или новых архитектур СНС.

## Алгоритм реидентификации людей

Для повышения точности реидентификации важным аспектом является формирование такого дескриптора, который обеспечивает эффективность при перекрытии человека другими людьми или объектами. В связи с тем, что в таких случаях в общий дескриптор будут входить признаки, не относящиеся к объекту интереса, предлагается использовать составной вектор признаков, включающий глобальный и три локальных: верхней, средней и нижней частей изображения человека и учитывать видимость каждой из них. Алгоритм требует выполнения следующих шагов:

Шаг 1. Обнаружение на изображении 17 ключевых точек фигуры человека.

Шаг 2. Формирование локальных областей: верхней, средней и нижней частей фигуры, на основании координат ключевых точек.

Шаг 3. Принятие решения о видимости локальной области в зависимости от предсказанных координат ключевых точек, которые считаются обнаруженными, если пороговая степень уверенности сети больше 0,5:

– для верхней локальной области – если выполняется четыре из пяти условий: обнаружена хотя бы одна ключевая точка на лице, хотя бы одна для плеча, локтя, запястья или бедра;

– для средней – обнаружена хотя бы одна ключевая точка, предсказывающая положение бедра;

– для нижней – необходимо выполнение двух из трех условий: должна быть обнаружена хотя бы одна ключевая точка бедер, колен или лодыжек.

Шаг 4. Формирование составного дескриптора, состоящего из четырех компонент: глобального вектора признаков для всего изображения, трех локальных векторов признаков для каждой выделенной на предыдущем шаге области.

Шаг 5. В случае если одна или несколько локальных областей оказываются перекрытыми другими объектами, то соответствующий компонент составного дескриптора признается недействительным и равным нулю.

Шаг 6. Формирование таблицы векторов признаков для всех изображений галереи.

Шаг 7. Ранжирование таблицы по степени схожести с дескриптором изображения искомого человека без учета недействительных компонентов составного вектора признаков.

Шаг 8. Замена недействительных компонентов усредненными значениями для  $k$ -ближайших соседей.

Шаг 9. Повторное ранжирование таблицы признаков для обновленного дескриптора.

Для подтверждения эффективности предложенного алгоритма реидентификации и подходов для повышения точности на этапе обучения

были проведены эксперименты для СНС ResNet-50 [9] и четырех наборов данных: Market-1501, DukeMTMC-ReID, MSMT17, PolReID1077. В качестве опорных значений для сравнения использовался алгоритм для реидентификации [10] с СНС без предварительного обучения. Для тренировки СНС применялся объединенный набор данных. Точность оценивалась по трем метрикам: Rank1, mAP и mINP. Для набора данных Market-1501 увеличение точности в метрике Rank1 – с 83,19 до 93,17, в метрике mAP – с 61,08 до 83,70, mINP – с 23,95 до 56,90. Для набора данных DukeMTMC-ReID при применении базового алгоритма [10] значения точности: Rank1 = 72,85; mAP = 52,53; mINP = 14,53, а при применении предложенного алгоритма, аугментации и расширенной обучающей выборки – Rank1 = 84,47; mAP = 72,22; mINP = 28,95. Тестирование на наборе данных MSMT17: увеличение точности – с 49,54 до 76,18 в метрике Rank1; с 24,89 до 44,62 – mAP; с 2,51 до 4,19 – mINP. Для набора PolReID1077: Rank1 – с 88,94 до 97,03; mAP – с 65,58 до 88,04; mINP – с 20,86 до 52,57.

### Заключение

В работе для повышения точности реидентификации людей предлагается применение комплекса решений, касающихся как процесса обучения, так и формирования вектора признаков. Для тренировки и тестирования СНС сформирован новый набор данных PolReID1077, который объединен с наиболее объемными существующими. Полученная обучающая выборка расширяется путем аугментации на основе разработанного метода. Использование предложенной технологии двухэтапного обучения СНС для реидентификации позволяет уменьшить значение функции потерь. Повышение устойчивости системы реидентификации людей к окклюзиям обеспечивается за счет предложенного алгоритма, в основе которого лежит использование составного дескриптора и замещение признаков скрытых областей.

### Список использованных источников

1. Deep Learning for Person Re-identification: A Survey and Outlook / M. Ye [et al.] // IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence. – 2022. – Vol. 44. – P. 2872–2893.
2. Choice of activation function in convolution neural network in video surveillance systems / H. Chen [et al.] // Programming and computer software. – 2022. – № 5 – P. 312–321.
3. Игнатъева, С. А. Влияние выбора гиперпараметров при обучении сверточных нейронных сетей на точность повторной идентификации людей в системах видеонаблюдения / С. А. Игнатъева // Информационно-коммуникационные технологии: достижения, проблемы, инновации

(ИКТ-2022) : материалы II Междунар. науч.-практ. конф., Полоцк, 30–31 марта 2022 г. – Полоцк, 2022. – С. 163–167.

4. Игнатъева, С. А. Увеличение точности реидентификации людей на основе двухэтапного обучения сверточных нейронных сетей и аугментации / С. А. Игнатъева, Р. П. Богуш // Информатика. – 2023. – № 1. – С. 40–54.

5. Игнатъева, С. А. Формирование обучающей выборки для сверточных нейронных сетей при реидентификации людей по видеоданным / С. А. Игнатъева, Р. П. Богуш // Доклады БГУИР. – 2023. – № 3. – С. 87–95.

6. Игнатъева, С. А. Двухэтапное обучение СНС при использовании аугментации изображений для повторной идентификации человека / С. А. Игнатъева, Р. П. Богуш // Информационные технологии и нанотехнологии (ИТНТ-2023): сб. тр. по материалам IX Междунар. конф. и молодежной школы, Самара, 17–23 апреля 2023 г. : в 6 т. – Самара : Изд-во Самарского университета, 2023. – Том 3. Распознавание, обработка и анализ изображений. – С. 37–40.

7. ImageNet: A large-scale hierarchical image database / J. Deng [et al.] // Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR 2009), 20–25 June 2009, Miami. – Miami, 2009. – P. 248–255.

8. Transfer learning for computer vision tutorial [Electronic resource] // PyTorch. Transfer learning for computer vision tutorial. – Mode of access: [https://pytorch.org/tutorials/beginner/transfer\\_learning\\_tutorial.html](https://pytorch.org/tutorials/beginner/transfer_learning_tutorial.html). – Date of access: 28.09.2023.

9. Deep Residual Learning for Image Recognition / K. He [et al.] // Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR 2016), 27–30 June 2016, Las Vegas. – Las Vegas, 2016. – P. 770–778.

10. GitHub [Electronic resource] // Person ReID baseline pyTorch. – Mode of access: [https://github.com/layumi/Person\\_reID\\_baseline\\_pytorch](https://github.com/layumi/Person_reID_baseline_pytorch). – Date of access: 28.09.2023.

УДК 004

## Стратегическое видение развития искусственного интеллекта в Казахстане 2023–2025 гг.

**А. А. Исаев**

Центр поддержки цифрового правительства Министерства цифрового развития, инноваций и аэрокосмической промышленности (МЦРИАП) Республики Казахстан, Астана

На сегодня скорость обновления методов и технологий искусственного интеллекта (ИИ) настолько велика, что правительствам стран требуется держать руку на пульсе, чтобы обеспечивать баланс между ускорением развития ИИ и гарантиями безопасности его применения.

Человек будет все больше взаимодействовать с информационными технологиями, передавая им все больше данных и полномочий в процессе принятия решений как в быту, так и рабочих процессах. В связи с этим на первом плане стоит подготовка человеческого капитала как для разработок новых продуктов с ИИ, так и для их применения. МЦРИАП совместно с министерствами просвещения, высшего образования и науки, а также ведущими вузами ИТ будет проведена работа по переподготовке преподавателей, стимулированию студентов специальностей ИТ к созданию продаваемых продуктов с ИИ, участию в международных олимпиадах, конкурсах, хакатонах по проектам ИИ: Kaggle, ImageNet Large Scale Visual Recognition Challenge, SAAI Factory Hackathon и др. Необходимо обеспечить междисциплинарное взаимодействие студентов для проектов ИИ так, как этого требуют технологии. Предлагается подготовить элиту специалистов ИИ, которая способна составить конкуренцию на глобальных рынках, а также позволит достичь поставленной цели по переходу к экономике знаний.

Крайне необходимым (это есть в стратегиях по ИИ почти всех стран) является подготовка населения – всеобучение базовым знаниям об ИИ, используя любые каналы распространения информации: телевидение, бесплатные онлайн-курсы, ресурсы центров занятости и т. д. Это приведет к снижению тревожности населения по отношению к ИИ и повышению спроса и расширению сфер применения продуктов ИИ.

Следующее важное направление – стимулирование научных исследований и разработок в области технологий ИИ. Эта сфера требует включить ИИ в число приоритетных направлений НИОКР, привлечь инвестиции в разработки как продуктов с использованием ИИ, так и новых алгоритмов,

методов и технологий ИИ. Для этого предлагается вузам ИТ в каждом регионе и каждому отраслевому НИИ создать лаборатории по ИИ с обеспечением роста показателя процента коммерциализации разработок, что позволит увеличить рынок ИИ, повысить экспорт услуг ИТ, работ и товаров.

Так как ИИ в целом получил распространение с появлением «быстрых» сетей, накоплением данных и увеличением вычислительных мощностей, МЦРИАП продолжит работу по обеспечению ведущих мест разработок продуктов ИИ вычислительными мощностями и доступом к скоростному Интернету. Будет проведен обзор потребностей Казахстана и стран Центрально-Азиатского региона в вычислительных мощностях. Ускорена работа по диверсификации выходов к глобальному Интернету для привлечения в Казахстан крупных технологических компаний, размещения их дата-центров. Создаваемая платформа ИИ решит вопрос с безопасным доступом к данным, а также станет площадкой для продажи вычислительных площадей, данных, готовых моделей ИИ.

Необходимость развития ИИ и нивелирования рисков от ИИ ставит перед Казахстаном следующие задачи по нормативному регулированию:

регулярное выявление регулятивных барьеров для развития ИИ;

регулярное выявление рисков, которые несут технологии с ИИ;

формирование национальной системы правового регулирования в сфере ИИ с соблюдением баланса между устранением барьеров для внедрения и обеспечением безопасности использования продуктов ИИ;

разработка Этических правил для соблюдения прав и свобод человека, недопущения всех видов дискриминации вследствие некачественных решений ИИ, обеспечения соответствия нравственным, духовным и культурным ценностям страны, обеспечения соблюдения законодательства;

формирование системы стандартизации и оценки соответствия в области технологий ИИ.

Казахстан планирует придерживаться подхода минимального, ситуативного вмешательства в развитие технологий ИИ посредством нормативного регулирования.

Работа Комиссии по регулированию ИИ обеспечит соблюдение этических принципов, прав и ценностей каждого гражданина Казахстана, устранение предвзятости в данных, алгоритмах и процессах принятия решений, чтобы создавать справедливые и непредвзятые системы ИИ.

Вопросы для регулирования:

распределение ответственности между разработчиком, владельцем, пользователем продуктов ИИ;

развитие инструментов страхования ГПО, связанной с ИИ;

совершенствование режима оборота данных, обезличивание данных;

обеспечение информбезопасности в сфере международного потока данных, в том числе в отношении требования по локализации данных;

недопущение использования продуктов ИИ (дипфейков) в преступных целях;

обеспечение объяснимости алгоритмов принятия;

этические нормы.

Реализованные в Казахстане проекты с технологиями ИИ в различных сферах:

Шесть вузов ведут проекты по разработке корпуса казахского языка: КазНУ им. аль-Фараби (проект Percent), ЕНУ НИИ «Искусственный интеллект», НАО КазНИТУ им. К. И. Сатпаева, КарТУ им. А. Сагинова, ITU «Астана» (доцент Высшей школы информационных технологий и инженерии А. С. Муканова занимается созданием корпуса казахского языка, обработкой естественного языка, семантической обработкой знаний на казахском языке), А. Бокейхан университет (технологический кластер «Abai IT Valley» разрабатывает сайт с элементами ИИ).

Институт умных систем и искусственного интеллекта при Назарбаев Университете реализовал четыре проекта по использованию казахского языка: 1) Казахский речевой корпус 2 (KSC2) – это первый промышленный корпус казахской речи с открытым исходным кодом; 2) набор данных KazakhTTS2 – можно использовать для разработки моделей преобразования текста в речь на казахском языке для многочисленных приложений, таких как интерактивные системы интеллектуальных помощников, навигационные системы, системы объявлений и вспомогательные технологии для людей с особыми потребностями; 3) KazNERD – это крупнейший общедоступный набор данных для распознавания именованных организаций в Казахстане; 4) единая совместная модель E2E ASR, применяемая для одновременного распознавания казахского, русского и английского языков.

Несколько проектов также реализованы в направлении Smart City:

ТОО «Open Technologies Group» – система общественной и дорожной безопасности «Сергек»;

АО «Центр развития города Алматы» – проекты «Ситуационный центр с распределенной динамикой показателей для руководства города», «Комплексная система безопасности в государственных образовательных учреждениях города Алматы», «Единая система видеомониторинга»;

Научно-Инновационный Центр Smart City – интеллектуальные, информационно-телекоммуникационные системы для городской инфраструктуры: транспорта, экологии, энергетики и аналитики данных в концепте Smart City;

РГП на ПХВ «Институт информационных и вычислительных технологий» – система распознавания номеров, лиц и фиксация нарушений правил дорожного движения;

ТОО TargetAI Limited – платформа умной видеоаналитики TargetAI.

В сфере промышленности реализованы следующие проекты:

НАО «КазНИТУ имени К. И. Сатпаева», Институт цифровой техники и технологий – Ситуационный центр для АО «НУХ «БАЙТЕРЕК», Центр управления эффективностью нефтепереработки и сбыта, Цифровой двойник установки ГОБКК МНПЗ Газпром нефть;

Tech Garden. Центр цифровой промышленности IntelliSense-LAB – Технологическая платформа промышленной автоматизации и цифровизации для оптимизации производственных процессов недропользователей, Промышленная платформа искусственного интеллекта brains.app;

ТОО «Центр научно-технических финансовых исследований» – ALAR-MDK, ALAR-17-1-1, ALARm-проекты для КТЖ;

Платформа NEURON OIL для подбора геолого-технических мероприятий на основе многофакторного анализа событий на скважинах.

В финансах реализованы следующие проекты:

Первое кредитное бюро – HR Digital, FCB Bio F2F, FCB Bio LIVE, FCB Bio Core, FCB Decision Making (retail), FCB BML Score;

Банк развития Казахстана – проект по созданию ИИ для расчета оценки уровня достаточности для кредитования крупных предприятий.

В сфере услуг:

чат-бот GPT был анонсирован в мобильном приложении Sulpak;

Kolesa Group – ИИ Гермiona для выявления мошеннических объявлений на сайтах Kolesa.kz, Krisha.kz, Market.kz и Avtoelon.uz.

УДК 339.924

## Развитие искусственного интеллекта в Союзном государстве

А. Г. Карапетян

Центр системного анализа и стратегических исследований  
НАН Беларуси,  
Минск

Искусственный интеллект – это комплекс технологических решений, позволяющих имитировать когнитивные функции человека, такие как обучение, рассуждение, понимание, восприятие, речь, творчество и принятие решений. Искусственный интеллект является одной из самых динамичных и инновационных областей современной науки, которая имеет огромный потенциал для улучшения качества жизни людей, повышения эффективности производства, решения глобальных проблем, например, изменение климата, бедность, здравоохранение и образование.

Республика Беларусь и Российская Федерация являются активными участниками мирового сообщества по искусственному интеллекту, а также стратегическими партнерами в рамках Союзного государства, которое было создано в 1999 г. с целью углубления интеграции между двумя странами в политической, экономической, научной, социальной и гуманитарной сферах.

В настоящее время Республика Беларусь и Российская Федерация разрабатывают и реализуют свои национальные программы и стратегии развития искусственного интеллекта, которые определяют основные цели, задачи, принципы и меры по поддержке и регулированию цифровых проектов.

Подходы в правовом регулировании технологий с искусственным интеллектом отражены в ряде документов стратегического планирования Республики Беларусь. Например, с учетом реализованной Стратегии развития информатизации в Республике Беларусь на 2016–2022 гг. и в соответствии с приоритетными направлениями социально-экономического развития республики до 2025 г. принята Государственная программа «Цифровое развитие Беларуси» на 2021–2025 гг. Данный документ направлен на внедрение информационно-коммуникационных и передовых производственных технологий в отрасли национальной экономики и сферы жизнедеятельности общества. Кроме того, Декретом Президента Республики Бе-

ларусь от 21 декабря 2017 г. № 8 «О развитии цифровой экономики» резидентам Парка высоких технологий предоставлено право на осуществление деятельности в сфере искусственного интеллекта, создание систем беспилотного управления транспортными средствами [1].

В целях обеспечения ускоренного развития искусственного интеллекта Указом Президента Российской Федерации от 10 октября 2019 г. № 490 «О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации» утверждена Национальная стратегия развития искусственного интеллекта на период до 2030 г. Для реализации стратегии в России был создан Федеральный проект «Искусственный интеллект», который является частью национального проекта «Цифровая экономика Российской Федерации». Для координации и реализации федерального проекта «Искусственный интеллект» в России был создан Совет по развитию искусственного интеллекта при Президенте Российской Федерации, который является высшим координационным органом по искусственному интеллекту в стране [1].

Республика Беларусь и Российская Федерация не только разрабатывают и реализуют свои национальные программы и стратегии развития искусственного интеллекта, но также сотрудничают в рамках Союзного государства. Сотрудничество в области искусственного интеллекта является одним из приоритетных направлений интеграции между двумя странами, которое способствует укреплению научно-технологического потенциала, повышению конкурентоспособности и безопасности двух государств. В настоящее время имеется ряд научно-исследовательских организаций и компаний, занимающихся разработкой и внедрением искусственного интеллекта. Однако, несмотря на достигнутые успехи, уровень развития искусственного интеллекта в Союзном государстве все еще отстает от мирового. Одной из причин этого является недостаток квалифицированных работников, поэтому необходимо усилить подготовку специалистов в данной области и привлечь молодых ученых и специалистов из-за рубежа.

Кроме того, необходимо увеличить государственную поддержку научных исследований в области искусственного интеллекта, а также стимулировать развитие инновационных компаний, занимающихся разработкой и внедрением искусственного интеллекта.

Эффективным примером взаимодействия может стать реализация научно-технических программ Союзного государства в области искусственного интеллекта, которые позволят скоординировать усилия ученых и специалистов из разных сфер, объединить ресурсы и знания для достижения общих целей.

На прошедшем 10-м Форуме регионов Беларуси и России был принят итоговый документ, согласно которому стороны договорились определить отдельные задачи, а также первоочередные мероприятия, необходимые для

решения проблем этики применения искусственного интеллекта. Все эти задачи и мероприятия должны лечь в основу стратегии развития искусственного интеллекта в Союзном государстве, которую рекомендовано разработать совместно с правительствами Беларуси и России [2].

Разработка такой стратегии может стать важной задачей для обеих стран и позволит выявить основные направления развития, выделить приоритетные области исследований и инноваций, а также определить меры поддержки и стимулирования развития искусственного интеллекта. Все это будет способствовать ускорению цифровой трансформации экономики и повышению конкурентоспособности Союзного государства на мировом рынке.

### Список литературы

1. Сакомская, Г. С. Подходы в правовом регулировании технологий с искусственным интеллектом [Электронный ресурс] / Г. С. Сакомская // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – Режим доступа: <https://pravo.by/pravovaya-informatsiya/pravo-sovremennoy-belarusi-istoki-uroki-dostizheniya-i-perspektivy/2021/podkhody-v-pravovom-regulirovanii-tekhnologiy-s-iskusstvennym-intellektom/>. – Дата доступа: 12.08.2023.

2. Российская Федерация и Республика Беларусь могут создать совместную стратегию развития искусственного интеллекта [Электронный ресурс] // Новости Москвы – Москва 24. – Режим доступа: <https://www.m24.ru/news/politika/29062023/592911>. – Дата доступа: 12.08.2023.

УДК 004.81+129

## **Искусственный интеллект как форма, повод и поле самопознания человеком самого себя**

**А. В. Колесников**

Институт философии НАН Беларуси,  
Минск

На фоне впечатляющих успехов прикладных технологий искусственного интеллекта развернулась полемика об их влиянии на дальнейшую историческую реальность человеческой цивилизации. Очередной модной «фишкой» стали новые генераторы текстов, продуцирующие нечто весьма на первый взгляд напоминающее реальную вразумительную человеческую речь. Более того, не просто человеческую речь, но сверхсведомленную и компетентную текстовую информацию. Актуальным стал вопрос о статусе этой речи, о правилах дальнейшего ее использования, об авторстве и надежности, наконец.

Многое в нашей жизни, и в науке в частности, зависит от термина, от конкретного слова, которым тот либо иной феномен вещного мира обозначен в нашей повседневной речи. «Искусственный интеллект» – звучит впечатляюще, весомо и красиво. Создается полная иллюзия, что искусственный интеллект действительно создан и существует. Ведь он отвечает на любые вопросы, причем связно и со знанием дела.

На самом деле все не совсем так. Прежде всего тезисно: 1) современный искусственный интеллект представляет собой на низком уровне элементарные двоичные вычисления на цифровых автоматах; 2) современные цифровые автоматы физически не могут быть носителями психики и сознания, так как они спроектированы и предназначены исключительно для осуществления дискретных двоичных арифметических вычислений.

На это можно попытаться возразить, что и нейроны нервных тканей осуществляют электробиохимические процессы, которые в итоге можно свести к дискретной передаче импульсов. Следует, однако, учитывать тот фундаментальный факт, что в отличие от цифровых автоматов вся тонкая физическая атомно-молекулярная структура элементов нейронных ансамблей органично подчинена функции. Процессы условно дискретной передачи электрических импульсов по нейронным сетям нервной ткани представляют собой лишь вершину айсберга тех тонких биофизических явлений, которые их обуславливают. На каком физическом уровне и в резуль-

тате каких физических взаимодействий возникает феномен самовосприятия, нам неизвестно. Поэтому абсолютно беспочвенно ожидать, что этот феномен самовосприятия вдруг самопроизвольно и случайно родится сам собой в процессе триггерных переключений двоичных элементов дискретных цифровых автоматов.

Таким образом, современные цифровые вычислительные машины не могут обладать и не обладают способностью к самовосприятию и, следовательно, по сути своей физической организации ни при каких обстоятельствах не в состоянии обладать никакими зачаточными элементами психики и сознания. В связи с этим современные вычислительные устройства – компьютеры – ни при каких условиях не могут обладать ничем хотя бы отдаленно напоминающим интеллект. Следует четко понимать, что термин «искусственный интеллект» в современном значении представляет собой исключительно условную метафору и ни о каком настоящем компьютерном интеллекте речи быть не может. Современные технологии искусственного интеллекта представляют собой совокупность математических методов, возникших примерно в 50–60-х гг. прошлого века. Частично эти вычислительные процедуры и алгоритмы действительно были «подсмотрены» у природных живых систем, но они отражают лишь весьма поверхностный, элементарно арифметический уровень их понимания и воспроизведения. По существу, современные искусственные нейронные сети представляют собой арифметические системы с настройкой коэффициентов взаимодействия их дискретных элементов.

Кроме того, следует помнить, что все это осуществляется и имитируется еще и на фактически последовательных неймановских машинах, в то время как процессы в истинных нервных тканях и природных нейронных сетях носят принципиально иной параллельный характер.

Рассуждая о современном искусственном интеллекте, можно иметь в виду лишь весьма поверхностную арифметическую имитацию некоторых элементов процессов адаптации, обучения и распознавания, но никак не психики, сознания и тем более интеллекта.

Тогда можно спросить, а как же быть с «разумными» текстами, которые выдают GPT-генераторы. Ответ – никак. Компьютеры и компьютерные программы абсолютно не понимают этих текстов и оперируют только с цепочками байт. Смыслом эти бессмысленные последовательности знаков награждаем уже мы – люди. Да и возникают эти машинные тексты путем механических манипуляций с элементами нашего живого текстового наследия. Просто совершенствуются арифметические методы манипуляций и растет вычислительная мощность аппаратуры, но от этого AI-генераторы не становятся разумнее. Они становятся эффективнее. Эти технологии крайне полезны в прикладном аспекте, например, как средства машинного перево-

да и преодоления языковых барьеров, но творческими, осмысленными, полноценными и настоящими эти тексты и изображения не станут никогда.

Социальное восприятие современных технологий искусственного интеллекта именно как интеллекта вызывает некоторую обеспокоенность и является планетарной ошибкой, обусловленной массовым непониманием их природы и методологии на уровне среднестатистического обыденного сознания. Человек представляет собой не столько функциональное, сколько космическое существо. Главным феноменом существования человека выступает не то, пожалуй, что он мыслит, а то, что он ощущает и осознает свое собственное существование, свое «я». Тут можно поспорить с декартовским «я мыслю, следовательно, я существую», правильнее было бы сказать «я чувствую, следовательно, я существую». Мышление появляется уже потом, вслед за чувствами, вслед за самовосприятием, за ощущением бытия, за ощущением космического времени внутри себя.

У йогов есть практика достижения состояния абсолютного безмыслия, но существование на этом не прекращается. Мысль ушла, прервана, но остается ощущение жизни, космического времени. Прервать или задержать процесс мышления трудно, но возможно. Инстинктивная спонтанная активность мозга путем упорной тренировки поддается контролю сознания и воли. И далее начинается именно тот процесс чистого существования, который первичен. Это древнейшее физическое чудо, которым природа наградила животные органические организмы, – чудо самовосприятия. Уже потом начинается все остальное – тактильные ощущения, зрение, слух, осязание, инстинкты, психические эмоции и в самом конце, на самой вершине пирамиды существования – мышление.

Однако мышление не бывает чистым и отвлеченным, как это иногда представляется математиками или вообще учеными. Мышление глубоко производно от существенно более древнего ощущения самовосприятия. Нет идеальных эйдосов и идеального замысла мира. Есть космическое время, первородный хаос, из которого рождается все сущее и в том числе жизнь и мышление. Можно сказать, что я существую, именно пока я ощущаю этот хаос, это космическое время в себе, пока тонкие молекулярные структуры моего тела способны функционировать когерентно и воспринимать вибрации этого космического хаоса как единое целое, как антенна радиоприемника. Естественно, что никакие современные дискретные автоматы на это неспособны.

Способность самоощущения себя как целостности во времени эволюционно возникла из потребности двигаться, питаться и размножаться. Возникла своеобразная рефлексивная петля – я самоощущаю себя, чтобы найти еду, чтобы продолжать самоощущать себя, я сам не хочу стать едой кому-либо другому, чтобы именно я, а не он, продолжил свое существование,

я хочу, чтобы именно мои потомки продолжили существовать дальше и размножились. Из этой рефлексивной петли жизни возникают желание, страх, воля, страсть – то, без чего немислимо существование. Разумеется, что никакой искусственный интеллект этим не обладает, а следовательно, и не является настоящим, так как интеллект есть не что иное, как придаток к этим фундаментальным экзистенциальным атрибутам. Мы мыслим именно для чего-то. Мысль всегда интенциональна, а интенцию мысли порождает страсть, воля, страх, любопытство, жажда наживы, власти или познания.

Однако все эти чувства так или иначе возникают из физических свойств материи. Следовательно, физическая субстанция уже обладает психическими потенциями. Вещество способно быть живым и чувствующим. Отсюда возникает следующий вопрос – возможно ли искусственное создание чувствующего материального существа техническими средствами. Именно этот вопрос является главным. Очевидно, что, для того чтобы создать техническое устройство, живую машину, необходимо понимать до конца, как собственно устроено живое и на каких физических явлениях и принципах оно существует. Мы этого до конца пока не понимаем. Физическая природа самовосприятия нам пока не ясна. Мы не понимаем, как из физического животного электричества получается субъективное ощущение «я», а следовательно, пока не в состоянии его воспроизвести.

Интуитивно угадывается, что, вероятно, за ощущением «я» стоят квантовые эффекты. Однако, с одной стороны, до настоящего времени нет удовлетворительного объяснения квантовой механики, а с другой – не ясна конкретика, как именно может возникать тот самый эффект наблюдения за наблюдателем и самим собой. Можно лишь пока констатировать, что, видимо, ощущение «я» каким-то образом связано с квантовыми свойствами животного электричества.

Тем не менее природа этого механизма однозначно познаваема. Проблему детерминации самовосприятия необходимо ставить и решать именно как научную проблему. Вместе с тем познание природы «я» не является ординарной научной задачей. В какой-то степени это финальная точка или переломный момент во всей истории познания. Познав природу «я», мы познаем природу самих себя. А что означает познать или понять природу самих себя – это означает смочь воспроизвести «я» искусственно. Именно это является однозначным критерием понимания. Я понимаю нечто только тогда, когда могу это нечто воспроизвести и воплотить в техническом устройстве. Однозначным критерием понимания устройства атома стал атомный реактор и, увы, атомная бомба.

Познав природу «я» и научившись ее воспроизводить, мы фактически приближаемся и становимся равны Богу, ибо одушевлять нечто всегда было исключительно его прерогативой. Что откроется нам за дверями этой

тайны Вселенной, пока не ясно, но человек обречен на то, чтобы приоткрыть и заглянуть за эту дверь даже в том случае, если за ней он увидит финал своей истории.

Итак, создание искусственного существа, чувствующего свое собственное пребывание в мире, следует признать физически возможным. Коль скоро это подвластно природе, то должно быть подвластно и человеку. Но каково призвание, назначение и смысл этой новой гипотетической сущности – живой машины. Вероятно, это единственный способ и вариант будущего разумной земной жизни. Человек, рожденный игрой вселенских законов на Земле, чрезвычайно хрупок и привязан к узкому коридору условий, существующих только на своей планете. Да и сами эти условия крайне непостоянны и нестабильны. Еще совсем немного и глобальное потепление начнет гнать несметные толпы экологических беженцев в северные районы сокращающейся суши планеты. И ничего принципиального с этим поделать будет нельзя в силу элементарных следствий второго начала термодинамики. Далее одна из космических катастроф с неизбежностью когда-то постигнет Землю. Удар массивного астероида, вспышка сверхновой в галактической окрестности Солнечной системы с вероятностью единица когда-нибудь произойдет. И каким бы технологическим могуществом не обладало человечество, сделать что-либо с этим будет невозможно. Масштабы энергии звездной вспышки абсолютно несопоставимы с любыми немислимыми высотами технологического могущества, которого даже в самых смелых фантазиях может достичь человечество.

Экспансия, завоевание новых пространств обитания, расселение и размножение – это неотъемлемые атрибуты жизни. Человечество уже начало робкие попытки освоения космического пространства. Однако биологические ограничения не позволят людям реально существовать и на прочной основе осваивать космос. Поэтому создание искусственных разумных существ представляет собой не только фундаментальную научно-философскую, но и практическую проблему, от решения которой в принципе зависит будущее земного разума.

Создание искусственных космических существ – пока весьма далекая от своего решения научная проблема, но тем не менее ставить и решать ее необходимо уже сегодня. В этой связи актуален вопрос о наборе тех свойств, которыми должны обладать эти искусственные сущности, что лучшее они должны унаследовать от своего эволюционного предшественника и потенциального создателя. Очевидно, что создаваться они должны «по образу и подобию» человеческому, хотя чисто внешнее сходство, вероятно, не является главным. Приоритетное значение имеет именно внутренняя сущность, что из себя должны представлять личности этих будущих новых людей.

УДК 630\*811.4

## Определение фенотипических характеристик древесины с использованием методов компьютерной биометрии

А. П. Кончиц, А. П. Сачек  
Институт леса НАН Беларуси,  
Гомель

### Введение

Необходимым этапом селекции лесных древесных растений является сбор и обработка биометрической информации для подробного описания фенотипических признаков изучаемых объектов. Однако измерения, выполняемые человеком, зачастую содержат значительную погрешность. Проведение измерений вручную является весьма трудоемким и малопродуктивным процессом. Это значительно снижает эффективность проводимых работ и затрудняет дальнейший анализ полученной биометрической информации.

Одним из перспективных путей количественного описания фенотипов растений является использование методов компьютерной биометрии, т. е. подхода, основанного на алгоритмическом анализе цифровых изображений. Благодаря этому можно получать качественно новые характеристики растений, связанные с их формой, окраской, текстурой и другими признаками [1, 2]. Реализация данного подхода требует разработки методов и создания на их основе программно-технологического комплекса для выявления и количественного описания фенотипических признаков древесных растений с использованием компьютерного анализа цифровых изображений. С помощью компьютера и цифровых устройств получения изображений можно выполнять большое количество высокоточных измерений и проводить объективное количественное описание фенотипических признаков путем алгоритмического анализа полученных данных.

Цифровые изображения и получаемые на этой основе данные являются объектом исследования такого направления, а методы анализа изображений [3], в свою очередь, – аналитическим инструментом компьютерной морфометрии. Фенотипические признаки, связанные с окраской различных органов сосны обыкновенной, обладают значительной внутривидовой изменчивостью. Ряд признаков, связанных с окраской, носит устойчивый, генетически обусловленный характер. Эти признаки широко используются при проведении генетико-селекционных работ.

Для оценки влияния эколого-климатических и генетических факторов на рост, развитие и смолопродуктивность фенотипов хвойных видов необходимо измерять годовые приросты деревьев и качественные показатели древесины, что возможно на основе анализа приростных кернов.

### **Определение фенотипических характеристик древесины с использованием программного модуля «Керн»**

Годичный слой – ежегодный прирост древесины, ширина которого зависит от многих факторов: возраста, условий произрастания и положения в стволе дерева [4]. По радиусу ствола дерева ширина годовых слоев увеличивается от сердцевины к периферии (коре). В молодом возрасте при благоприятных условиях произрастания древостоя образуются более широкие годовые слои, в отличие от древостоев, произрастающих на территориях с ограниченным количеством элементов питания в почве.

Годичный слой представляет собой совокупность ранней и поздней древесины. Ранняя зона, более светлая и менее твердая, образуется в первой половине вегетационного периода и обращена к сердцевине ствола дерева. Поздняя (наружная) – более темная и твердая. Переход от ранней древесины к поздней может быть резким или почти незаметным в зависимости от условий произрастания древостоя, а также климатических факторов, влияющих на строение древесины ствола дерева.

Поздняя древесина обладает лучшими физико-механическими свойствами по сравнению с ранней, и в целом с увеличением доли поздней древесины в годовом кольце физико-механические свойства древесины улучшаются.

Некоторые исследователи связывают смолопродуктивность деревьев с долей поздней древесины в годовом слое, поскольку именно в них закладываются вертикальные смоляные ходы. Ввиду этого важным являются выявление и использование в селекции на смолопродуктивность сосны обыкновенной показателей древесины, в том числе оценки накопления запаса поздней древесины.

Для получения цифровых изображений кернов использовался сканер с оптическим разрешением 1200 точек на дюйм и 24-битной глубиной цвета. С помощью программной обработки полученных изображений определялись функции продольной оптической плотности кернов. Для устранения случайных шумов и большей информативности функции оптической плотности изображение суммировалось в поперечном направлении (по ширине керна). По функциям оптической плотности кернов автоматически определялись данные о ходе роста деревьев. Для нахождения годовых приростов определялись точки локальных минимумов функции оптической плотности керна.

Получаемые при таких параметрах цветные изображения имеют размер приблизительно 20 Кб на 1 сантиметр длины керна в формате JPEG. Для ускорения получения цифровых изображений целесообразно сканирование пакетов кернов.

На рис. 1 приведена форма модуля оценки доли поздней древесины программы «КЕРН».

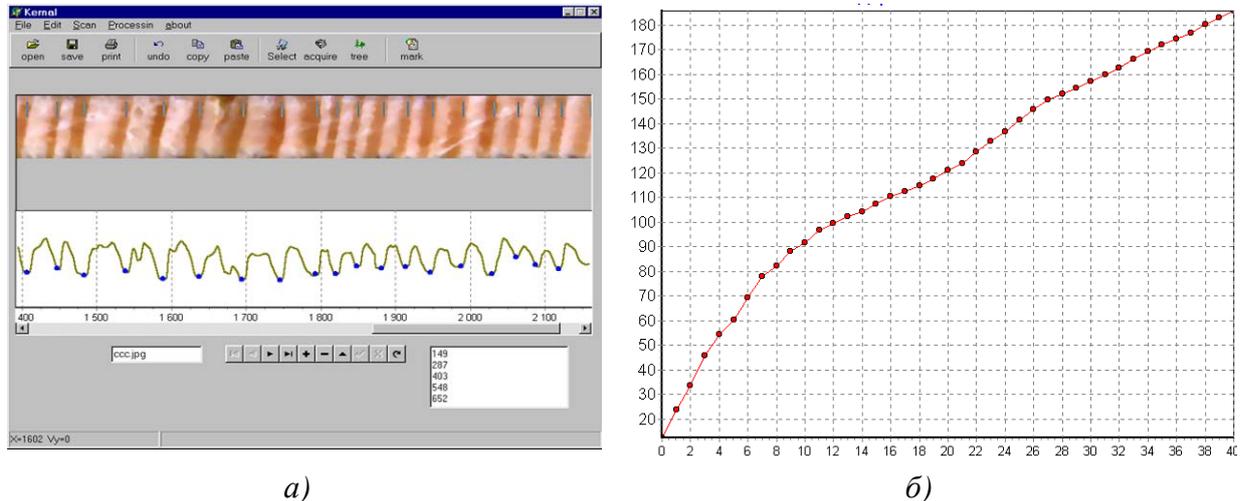


Рис. 1. Головная форма модуля «Керн» для определения годовых приростов:

- а) оценка годовых слоев по графику оптической плотности керна;
- б) график радиального роста дерева

В ходе анализа изображений кернов на основе методов сегментации [5] проводится выделение поздней древесины и определение расположений смоляных ходов. На рис. 2 приведена форма модуля оценки доли поздней древесины программы «КЕРН» и плотности смоляных ходов древесины хвойных видов.

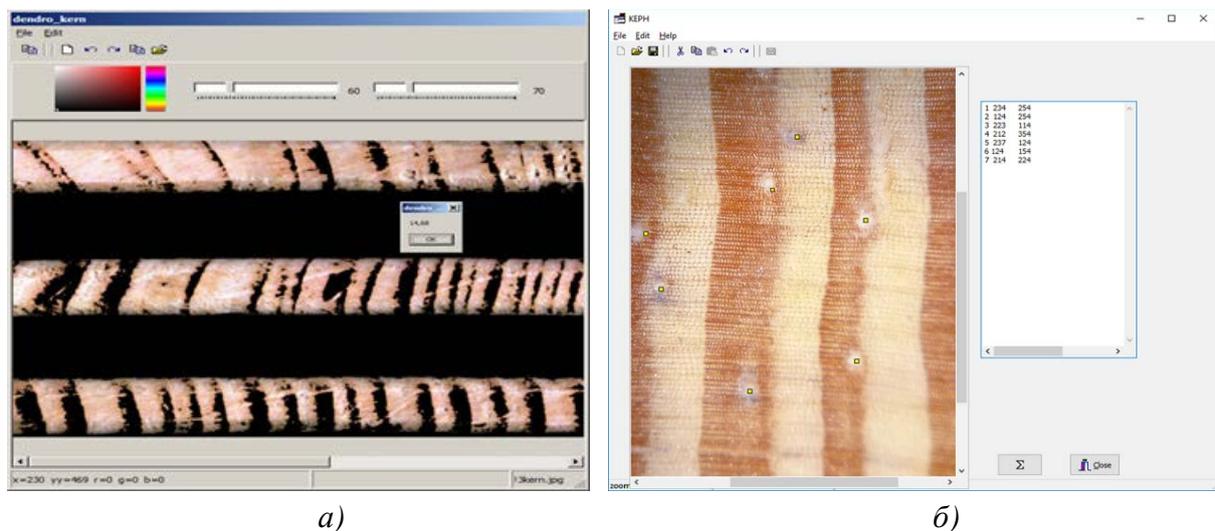


Рис. 2. Определение фенотипических характеристик древесины сосны обыкновенной:

- а) оценка доли поздней древесины;
- б) оценка количества и плотности смоляных ходов древесины

## Апробация методов получения количественных фенотипических характеристик древесины с использованием методов компьютерной биометрии

В ходе апробации предложенных методов и созданного на их основе программного модуля были проведены анализ хода роста и определение доли поздней древесины и плотности вертикальных смоляных ходов приростных кернов сосны обыкновенной. Установлены статистически значимые корреляционные взаимосвязи плотности вертикальных смоляных ходов, плотности кернов и запаса поздней древесины с уровнем смолопродуктивности сосны обыкновенной.

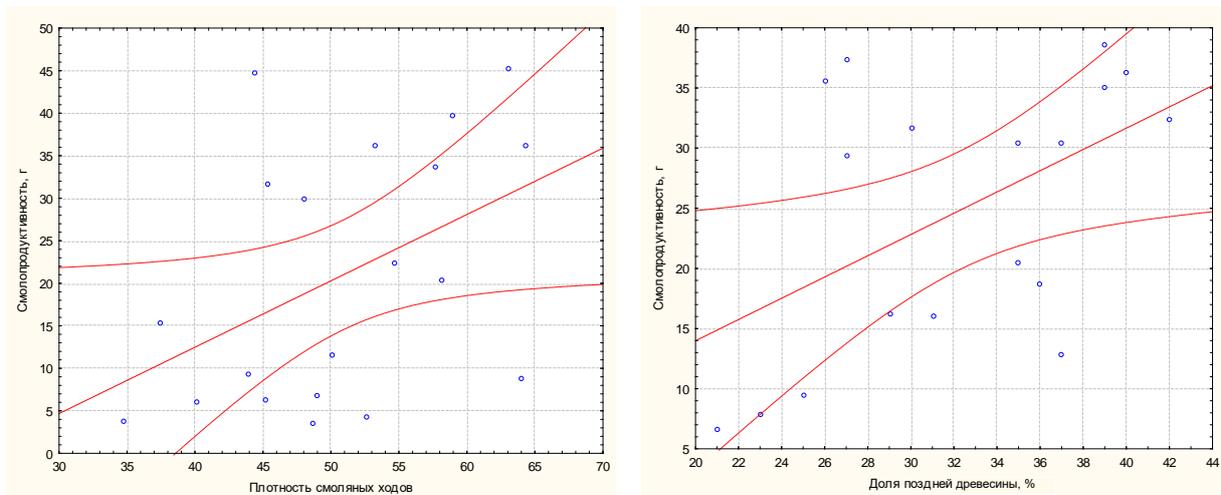


Рис. 3. Зависимость смолопродуктивности сосны от плотности смоляных ходов и доли поздней древесины

На рис. 3 показана зависимость смолопродуктивности сосны обыкновенной от доли поздней древесины и плотности смоляных ходов. Очевидно, что смолопродуктивность дерева, доля поздней древесины кернов и плотности смоляных ходов положительно коррелированы. Это обусловлено тем, что в поздней древесине закладываются вертикальные смоляные ходы.

### Заключение

Предложенные методы хода роста дерева, оценки доли поздней древесины, плотности вертикальных смоляных ходов и текстурных характеристик кернов позволяют учитывать данные количественных фенотипических признаков древесины в лесной дендрологии и селекционных программах.

В ходе анализа количественных характеристик приростных кернов были установлены корреляционные зависимости между процентом позд-

ней древесины, плотностью вертикальных смоляных ходов, текстурными характеристиками древесины кернов и смолопродуктивностью фенотипов сосны обыкновенной.

Морфологические признаки древесины являются важными характеристиками фенотипов древесных растений. Методы компьютерной биометрии могут быть использованы для количественной оценки характеристик древесины, выявления пороков и заболеваний деревьев, а также для количественной оценки степени декоративности древесины ценных пород.

#### **Список использованных источников**

1. Ковалевич, А. И. Оценка фенотипических признаков сосны обыкновенной на основе методов компьютерной биометрии / А. И. Ковалевич, А. П. Кончиц, Е. А. Фомин // Сохранение лесных генетических ресурсов : материалы 5-й Междунар. конф.-совещания, Гомель, 2–7 октября 2017 г. – Гомель : ООО «Колордрук», 2017. – С. 78–80.

2. White, R. J. Automated image acquisition and morphometric description / R. J. White, H. C. Prentice, T. Verwist // Can. J. of Botany. – 2008. – Vol. 66. – P. 450–459.

3. Гонсалес, Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М. : Техносфера, 2012. – 1104 с.

4. Уголев, Б. Н. Древесиноведение с основами лесного товароведения : учебник для лесотехн. вузов / Б. Н. Уголев. – Изд. 3-е, перераб. и доп. – М. : МГУЛ, 2002. – 340 с.

5. Яне, Б. Цифровая обработка изображений / Б. Яне. – М. : Техносфера, 2007. – 584 с.

УДК 616-006-07/.084:[575.1+004

## **Диагностика злокачественных новообразований на основе системы искусственного интеллекта**

**О. Е. Кузнецов**

Институт биохимии биологически активных соединений  
НАН Беларуси, Гродно

*E-mail: olegkuznetsov@inbox.ru*

### **Введение**

Составление и анализ генеалогических данных представляется важным методом популяционной генетики. Целесообразность разработки и внедрения метода диагностики и профилактики опухолей на основе данных генетического консультирования и технологий искусственного интеллекта – перспективное направление. Предложена аналитическая система, позволяющая анализировать данные пациента, полученные в ходе консультирования, результаты молекулярно-биологического обследования, родословную, и что немаловажно, давать предварительное заключение о наличии риска возникновения онкологических заболеваний.

Онкологические заболевания устойчиво занимают ведущее место в структуре смертности населения [1]. В последние годы отмечены изменения в статистике заболеваемости: рак молочной железы (11,7 %) превзошел рак легких (11,4 %), далее по распространенности следуют колоректальный рак (10 %), рак простаты (7,3 %), рак желудка (5,6 %) и рак печени (4,7 %) [2, 3]. Беларусь несильно отличается по заболеваемости и смертности от стран-соседей, она входит в группу стран с относительно невысокими уровнями заболеваемости. В тоже время за десятилетие заболеваемость увеличилась в три раза [4].

В связи с развитием молекулярно-генетических исследований в онкологии появилась возможность диагностировать и отслеживать ранние формы заболеваний, что позволяет сформировать и провести своевременные профилактические мероприятия лицам, находящимся в группе риска. Составление и анализ родословных с учетом этиопатогенетических факторов, подтвержденных молекулярно-генетическими исследованиями, – один из важнейших методов популяционной генетики, позволяющий определить предрасположенность к той или иной патологии.

Системы искусственного интеллекта, появляющиеся в последнее время в медицине, – перспективное направление в мировом здравоохранении.

Искусственный интеллект меняет систему здравоохранения, позволяя ее переоценивать и модернизировать, и в целом повышать качество услуг при одновременном снижении расходов [5]. Использование умных систем улучшает точность диагностики (например, исследование Frost&Sullivan), где технологии искусственного интеллекта повышают точность постановки диагнозов на 30–40 % [6]. Имеющиеся отечественные информационные разработки в области искусственного интеллекта по этому вопросу на сегодняшний день неполные и носят несистемный характер.

Представляется целесообразным разработка и внедрение в практику комплексного метода диагностики и профилактики злокачественных опухолей на основе систем искусственного интеллекта [7].

### **Материал и методы исследования**

Для проведения мероприятий по раннему выявлению опухолей разработана аналитическая система, которая позволяет анализировать данные пациента, полученные в ходе консультирования, с возможностью дополнения ее данными молекулярно-генетического обследования, а также обрабатывать накопленные сведения на основе родословных, рассчитывать популяционный риск, относить обследованных в группы риска.

Необходимый материал исследования: данные о заболеваемости пациента (возраст, год развития заболевания и год смерти, пол, заболеваемость родственников), информация, полученная в ходе консультирования, и данные молекулярно-биологического исследования лиц с опухолевым процессом. Реализация мероприятий по раннему выявлению и возможной профилактике опухолевых процессов основана на алгоритме теорем элементарной теории вероятностей [8]. Система реализована в виде компьютерной программы в среде Microsoft SQL Server, обрабатывает накопленные данные, в том числе на основе составления родословных, анализирует и дает предварительное заключение о наличии риска возникновения опухоли у респондента и членов его семьи, рассчитывает популяционный риск.

### **Результаты**

В электронную форму вносятся данные пробанда. Данные лиц, прошедших предварительный опрос, скрининг или уже обратившихся за медицинской помощью в медицинское учреждение онкологического профиля, импортируются из регистра. На следующем этапе выполняется учет данных о родственниках пробанда и возможном наличии у них онкологических заболеваний. Клиническая группа риска наличия предрасположенности к развитию, например, рака молочной железы (РМЖ), яичника или толстой кишки, как и результаты исследования о возможных мутациях генов, вводятся в базы данных с использованием готовых справочников.

Система также осуществляет интеллектуальный контроль и не позволяет вводить сомнительные данные, а также дублировать регистрацию одного и того же пациента/пробанда/родственника (рис. 1).

The screenshot shows a software interface for an oncological register. At the top, it displays the patient's name 'Вера Семеновна' and her date of birth '01.01.1944'. Below this, there are sections for 'Информационные разделы' (Informational sections) with a tree view containing 'АНКЕТА', 'ПАСПОРТНАЯ ЧАСТЬ', 'СОСТАВ РОДСТВА', 'БОЛЕЗНИ РОДСТВЕННИКОВ', and 'РОДОСЛОВНАЯ'. The main area is titled 'Паспортная часть' (Passport part) and contains fields for 'Анкета №' (477), 'Дата заполнения' (13.05.2008), and '№ в онкорегистре' (24695). The patient's details are entered as follows: 'Фамилия' (Абрамович), 'Имя' (Вера), 'Отчество' (Семеновна), 'Дата рождения' (01.01.1944), 'Место рождения' (blank), 'Место жительства' (1521220504000), 'улица' (ул. Ленина 96-6), and 'Личный номер' (blank). A 'Клинический диагноз' (C50.9) is also present. A search dialog box is overlaid on the main form, titled 'Поиск' (Search), with a 'Очистить условия' (Clear conditions) button. It contains the same patient information and search options: 'начало' (selected), 'вхождение' (unchecked), 'полное совпадение' (unchecked), and 'учитывать регистр' (unchecked). The dialog has 'OK' and 'Cancel' buttons.

Рис. 1. Поиск информации о пробанде в онкологическом регистре

В программном комплексе предусмотрена и реализована возможность визуализации родословной, что существенно облегчает процесс отнесения лиц, пробанда и (или) его родственников в группы риска развития опухолей. При построении родословной используется общепринятая символика.

Система способна анализировать родословную и давать предварительное заключение о наличии риска возникновения наследственного рака у членов семьи по следующим алгоритмам.

Диагностические критерии наследственного РМЖ:

- в родословной три случая РМЖ и (или) даже один случай у мужчины, заключение – высокий риск возникновения РМЖ;
- в родословной два случая, заключение – средний риск;
- в родословной один случай в возрасте до 40 лет и (или) РМЖ сочетается с другими опухолями (первично множественный вариант), заключение – низкий риск;
- в родословной один случай РМЖ, не отвечающий предыдущим критериям. Заключение – популяционный риск;
- любой из указанных выше вариантов плюс наличие мутаций гена BRCA. Заключение – очень высокий риск.

Диагностические критерии наследственного рака яичника (РЯ):

- в родословной три случая, заключение – высокий риск;
- в родословной два случая, заключение – средний риск;
- в родословной один случай в возрасте до 40 лет и (или) РЯ сочетается с другими опухолями (первично множественный вариант), заключение – низкий риск;
- в родословной один случай РЯ, не отвечающий предыдущим критериям, заключение – популяционный риск;
- любой из указанных выше вариантов плюс наличие мутаций гена BRCA, заключение – очень высокий риск.

Диагностические критерии наследственного рака молочной железы и яичника (РМЖЯ):

- в родословной два случая и (или) даже один случай РМЖ у мужчины плюс один случай РЯ, заключение – высокий риск РМЖЯ;
- в родословной один случай РМЖ плюс два случая РЯ, заключение – высокий риск;
- в родословной один случай РМЖ плюс один случай РЯ, заключение – средний риск;
- любой из указанных выше вариантов плюс наличие мутаций гена BRCA, заключение – очень высокий риск.

Диагностические критерии наследственного колоректального рака (КРР):

- в родословной три случая, заключение – высокий риск КРР;
- в родословной два случая КРР, заключение – средний риск;
- в родословной один случай КРР плюс один или более случаев рака другой локализации, не отвечающий предыдущим критериям (не РМЖ, не РЯ, не КРР), заключение – низкий риск;
- в родословной один случай КРР, не отвечающий предыдущим критериям, заключение – популяционный риск.

Опираясь на известные факторы риска развития опухолей и принимая во внимание значимые факторы их развития: возраст – вероятность возникновения опухоли; хронические заболевания кишечника и полипозы; носительство мутаций (риск развития опухоли – 80–85 %); «семейный онкологический анамнез», который является значимым диагностическим признаком и зачастую не анализируется, был проведен анализ вышеупомянутых факторов в онкологическом регистре региона для оценки возможных алгоритмов прогнозирования онкологического риска.

Система автоматически генерирует заключения по всем введенным анкетам и алгоритмам, что не только облегчает поиск нуждающихся во врачебном консультировании, но и формирует группы риска для анализа (рис. 2).

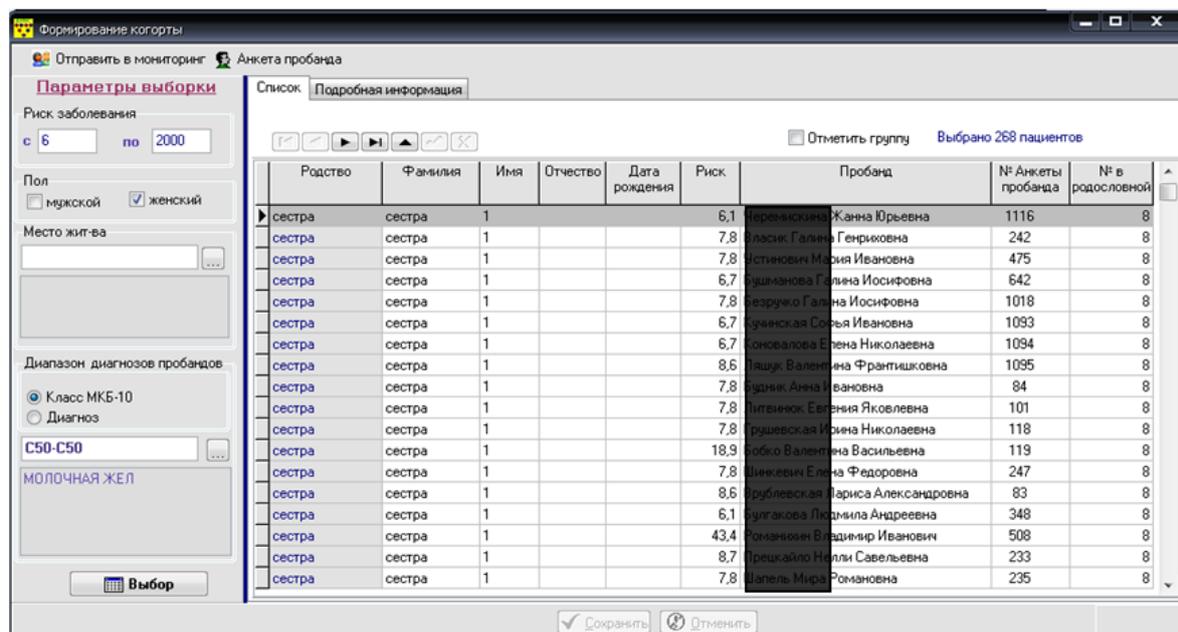


Рис. 2. Формирование когорты по заданным параметрам

Окончательное решение об отнесении пробанда и родственников к какой-либо группе риска принимает специалист после изучения родословной.

Проведение расчета популяционного риска: степень риска развития опухолей (в баллах) у здорового пробанда определяется в том случае, если онкологическим заболеванием страдает его родственник. Если у родственников (одного из родственников) онкологические заболевания развились в более молодом возрасте, то учитывается дополнительный риск, связанный с возрастом. Оценка общего риска помогает определить, во сколько раз у пациента (пробанда) выше риск возникновения опухолей по сравнению с лицами, наследственность которых неотягощена онкологией. Практически все показатели, используемые для расчета популяционного риска, за исключением численности населения в регионе, можно получить непосредственно из системы, что позволяет сделать ее самообучающейся [9]. Для информационного обеспечения амбулаторного наблюдения за лицами с повышенным риском развития опухолей в программном комплексе имеется раздел «мониторинг».

### Заключение

Подводя итоги, следует отметить, что целесообразным является внедрение в клиническую практику комплексного метода диагностики и профилактики опухолей на основе генетических данных и современных информационных технологий. Аналитическая система может успешно использоваться, облегчая консультирование пациентов с подозрением на наличие онкологической патологии.

**Список использованных источников**

1. Опухоли и опухолеподобные процессы у детей / под ред. Е. Д. Черствого, Г. И. Кравцовой, А. В. Фурманчука. – Минск : ООО «Асар», 2002. – 400 с.
2. Global Cancer Statistics 2020: GLOBOCAN Estimates of Incidence and Mortality Worldwide for 36 Cancers in 185 Countries / H. Sung [et al.] // *CA Cancer J. Clin.* – 2021. – Vol. 71. – P. 209–249.
3. The Global Cancer Observatory (GLOBOCAN) International Agency for Research of Cancer (IARC) [Electronic resource]. – Mode of access: <https://gco.iarc.fr/today/online-analysis-map?v=2020>. – Date of access: 14.01.2022.
4. Crawford, K. Atlas of AI: Power, Politics, and the Planetary Costs of Artificial Intelligence / K. Crawford. – London : Yale University Press, 2021. – 336 с.
5. Muller, V. C. Future Progress in Artificial Intelligence: A Survey of Expert Opinion // *Fundamental Issues of Artificial Intelligence* / V. C. Muller, N. Bostrom. – Cham : Springer International Publishing. – 2016. – P. 555–572.
6. Информационная система учета и мониторинга онкологических заболеваний : пат. ВУ 675 / О. Е. Кузнецов. – Опубл. 20.06.2014.
7. Judgment under Uncertainty: Heuristics and Biases / eds. D. Kahneman, P. Slovic, A. Tversky. – New York : Cambridge University Press, 2005. – 555 p.
8. Кузнецов, О. Е. Генеалогическая диагностика новообразований на основе систем искусственного интеллекта / О. Е. Кузнецов // *Изв. Нац. акад. наук Беларуси. Серия медицинских наук.* – 2023. – Т. 20, № 3. – С. 236–242. <https://doi.org/10.29235/1814-6023-2023-20-3-236-242>

УДК 004.8

## **Аналитические системы в спортивной сфере**

**А. А. Лабоцкая**

Центр системного анализа и стратегических исследований

НАН Беларуси, Минск

*E-mail: nastena\_labockaya@mail.ru*

### **Введение**

Ни один профессиональный спорт сейчас не обходится без использования технологий искусственного интеллекта, машинного обучения, обработки больших данных и внедрения аналитических решений.

В числе тенденций, которые наблюдаются в настоящее время во многих видах спорта, следует выделить применение в тренировочном процессе различных информационно-аналитических систем. Речь идет в первую очередь об использовании различных способов фиксации и обработки данных тренировочного и соревновательного процессов при помощи программного обеспечения и автоматизированной обработки различных параметров деятельности спортсменов [1].

### **Сущность аналитических систем**

Под информационно-аналитической системой следует понимать совокупность технических и программных средств, информационных ресурсов, методик, которые используются для обеспечения процесса сбора, обработки, хранения и анализа информации в целях обоснования принимаемых управленческих решений. Информационно-аналитические системы похожи на информационно-справочные системы по выполняемым функциям, а информационно-справочные системы «практически всегда уникальны, нет точной системы их классификации» [2].

### **Аналитические системы в спортивной сфере**

Существует отдельная специальность – аналитик спортивных данных. Его задача – собирать данные с поля и вне поля из различных источников и затем анализировать и интерпретировать их. Полевыми данными являются эффективность игрока и показатели его здоровья. Данные вне игры могут включать в себя поведение фанатов, покупательские привычки, взаимодействие с командой и игроками в социальных сетях. Выводы из этих

данных используются менеджерами команд, тренерами и скаутами, которые ищут новых игроков.

Сегодня спортсмены генерируют огромное количество данных, и их анализ становится важным преимуществом на пути к победе. Анализ данных используется почти во всех видах спорта, влияя не только на выступления спортсменов, но и на саму спортивную индустрию.

Эксперты выделяют два основных направления использования данных и современных способов обработки информации в спорте. Во-первых, это инструменты для обеспечения зрелищности, сбора и доставки контента (в том числе и больших объемов HD-видео), бесперебойной работы мобильных приложений и веб-страниц, предоставляющих болельщикам дополнительные сервисы и информацию. Вторая сторона развития напрямую связана с участниками соревнований. Аналитические системы позволяют взглянуть по-новому на результаты самих спортсменов и их тренировок, помогают увидеть то, что раньше казалось незначительным или было не исследовано вовсе [3].

Рассмотрим аналитические системы, которые позволяют командам эффективнее использовать ресурсы каждого отдельного игрока, а тренеру – принимать тактические и стратегические решения на основе объективных данных. Бейсбольный менеджер команды «Окленд Атлетикс» Билли Бин начал первым применять статистический подход при формировании состава игроков. Это была одна из самых бедных команд в Высшей лиге, но благодаря новой методике смогла раскрыть таланты игроков, выиграть много игр и выйти в плей-офф. С тех пор как Бин привел к победе команду в Супербоуле, системы анализа начали активно развиваться во всех видах спорта [4].

Роль тренера играла важную роль как тогда, так и сейчас. Большие данные – это лишь мощный инструмент в руках тренера, помогающий привести команду к победе. Современный тренер открыт новым идеям (в том числе и технологическим), это интеллект с аналитическим складом ума, который использует современные инструменты для повышения эффективности своей команды.

Разработан сервис спортивной аналитики Iceberg, который работает на стыке технологий искусственного интеллекта, машинного зрения и анализа больших данных. Iceberg оцифровывает и накапливает большой массив данных, обрабатывает его и получает уникальную аналитику. Задача проекта – сделать хоккей более «умным», зрелищным и более популярным.

Так, канадский стартап с русскими корнями Iceberg использует алгоритмы Computer Vision (компьютерное зрение), чтобы помочь тренерам повысить эффективность игры своих команд. Сервис создает детальный разбор матчей, где собраны и классифицированы события игры. Это помогает выстроить оптимальную стратегию для будущих матчей, заметить

слабые и сильные стороны игроков. Сервис спортивной аналитики автоматически разбивает запись игры по каждой собранной метрике, экономя время тренеров и позволяя им уделять больше внимания анализу взаимодействия в команде, пониманию общих трендов и производительности отдельных игроков [5].

Запись игры может вестись вживую – тогда на площадке устанавливаются три камеры, каждая из которых снимает свою зону площадки. Также могут анализироваться данные об играх с телевизионных трансляций. После записи собирается большой массив координат игроков и делается анализ геопозиционирования – на этой основе можно анализировать скоростные показатели, перемещение по площадке, например, кто отрабатывал в обороне, а кто нет [5].

Собрав данные, можно не только анализировать готовую статистику по прошедшим матчам, но и прогнозировать дальнейшие игры и комбинации. Утверждать на 100 %, что эта информация поможет определить победителя в лиге, нельзя, но, если знать статистику оппонента – понимать, кого ставить против игроков другой команды, побеждать будет значительно проще. Можно не только выявлять сильнейшего игрока в команде противника, но и находить его слабые точки и слепые зоны, чтобы понять, как нужно играть, чтобы выиграть. Инструмент позволяет любой хоккейной команде изучать противников и на основе полученных данных полностью менять тактику своей игры [6, с. 103].

В Российской Федерации создана информационно-аналитическая система спортивной отрасли города Москвы ИАС «Спорт», которая обеспечивает поиск информации по видам спорта, организациям, тренерам, мероприятиям, спортсменам, командам, медперсоналу и другим параметрам. Это поможет гражданам найти в Москве подходящую для себя секцию. Записаться на занятие и пройти на него можно будет по QR-коду [7].

Футбольный клуб «Мидтьюлланд» владеет фактически целым отделом аналитиков, которые сидят в Лондоне, и любое стратегическое, менеджерское решение, которое принимает клуб, основано на анализе данных. Не обладая существенным бюджетом, клуб тем не менее находит игроков, которые в стратегических задачах этого клуба оказываются наиболее продуктивными и успешными. В 2014–2015 году клуб впервые в истории стал чемпионом Дании.

Отмеченная выше тенденция касается и парусного спорта, поскольку для него характерно высокое влияние интеллектуальной составляющей при выборе параметров движения яхты и соответствующей ей техники. В связи с этим осуществляются попытки использовать различные информационно-аналитические системы в целях совершенствования технико-тактической подготовки яхтсменов и максимального использования потенциальных технических возможностей яхт [1].

Российская компания «Третий пин» разработала устройство, которое может собирать и записывать данные о местоположении спортсменов, а также подключаться к внешним датчикам, в том числе пульсометру.

Основатель венчурной студии Orbita Дмитрий Кибкало говорит, что компьютерное зрение как способ оцифровки аналоговых данных может еще активнее применяться в футболе, как и в других сферах. Проект видеоаналитики Vighbro на основе компьютерного зрения, который развивает студия, вырос на базе его же сети футбольных школ «Метеор»: им нужно было контролировать прогресс учеников, снимать игры и отправлять видео родителям. В итоге идея прямо сейчас проходит путь от детского формата для маленьких площадок к съемке футбола 11x11 на большом поле. Метод компьютерного зрения можно применить, например, на производстве, чтобы контролировать процесс или просто следить за тем, что сотрудники ходят в касках там, где это обязательно [8].

Очевидно, в спорте тоже много пространства для компьютерного зрения: определить, правильную ли позу принял человек во время самостоятельного занятия йогой, грамотно ли прыгун с трамплина расположил тело в воздухе и т. д. [8].

Необходимо акцентировать внимание на оценке игроков с использованием машинного обучения и аналитики. Существуют многочисленные факторы, которые влияют на общий рейтинг игрока и его ценность на рынке. Общий хайп, бренд, уровень игры, постоянство – все это играет важную роль. В NBA, Национальной баскетбольной ассоциации США, камеры установлены под разными углами для того, чтобы фиксировать игру каждую секунду. Эти камеры смотрят на различные части игровой поверхности, а скорость записи можно изменять. В Национальной футбольной лиге Штатов устанавливаются чипы в мячах и в защитных прокладках на плечах игроков для того, чтобы отслеживать их местонахождение во время подачи. Сравнивая место, где находится мяч, и место, где находится игрок, можно извлечь сложные данные для того, чтобы предсказать период владения мячом, передачи и даже позиции игрока защиты. Также можно мониторить такую информацию, как скорость движения игроков, среднее сердцебиение и общая дистанция, которую прошли игроки. Эти данные позволяют определить, насколько игрок был эффективен в матче, и насколько это был не единичный результат [9].

В плавании используются стационарные камеры, расположенные над и под уровнем воды, которые фиксируют ошибки пловца и сразу же посылают об этом уведомления, записывая количество нарушений.

Основные функции аналитических систем представлены в таблице.

## Функции и особенности аналитических систем

Цель системы	Эффективное использование ресурсов отдельного игрока, принятие тренером тактических и стратегических решений на основе объективных данных
Номенклатура данных	Проанализированные данные матчей
Характер использования системы	Анализ готовой статистики по прошедшим матчам, в том числе обнаружение сильных и слабых сторон игроков, прогноз дальнейших игр и комбинаций
Представление результатов работы	Получение отчетов и статистики на основе просмотренных матчей, которые используются аналитической системой

**Заключение**

Использование искусственного интеллекта в анализе спортивных результатов представляет собой значительное продвижение в развитии спорта.

Так, проведенное исследование показало, что с помощью искусственного интеллекта тренеры могут получить помощь от аналитиков данных, которые могут оценить конкретные качества игроков и то, как эти качества могут быть использованы в команде.

**Список использованных источников**

1. О возможностях использования информационно-аналитической системы SailData в процессе подготовки спортивного резерва в парусном спорте [Электронный ресурс] // Cyberleninka. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/o-vozmozhnostyah-ispolzovaniya-informatsionno-analiticheskoy-sistemy-saildata-v-protssesse-podgotovki-sportivnogo-rezerva-v-parusnom>. – Дата доступа: 28.09.2023.

2. Информационно-аналитические системы как инструмент управления технологиями в цифровой экономике [Электронный ресурс] // Cyberleninka. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/informatsionno-analiticheskie-sistemy-kak-instrument-upravleniya-tehnologiyami-v-tsifrovoy-ekonomike/viewer>. – Дата доступа: 28.09.2023.

3. Аналитика больших данных делает спорт зрелищнее [Электронный ресурс] // ФГБУ «Редакция «Российской газеты». – Режим доступа: <https://rg.ru/2015/09/22/datchiki.html>. – Дата доступа: 28.09.2023.

4. Спортивный интеллект. Новые технологии помогают выигрывать матчи [Электронный ресурс] // АО «АС Рус Медиа». – Режим доступа: <https://www.forbes.ru/tehnologii/360939-sportivnyy-intellekt-novye-tehnologii-pomogayut-vyigryvat-matchi>. – Дата доступа: 18.03.2023.

5. Спортивный интеллект: как ИИ-проекты в спорте улучшают опыт игроков [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://vc.ru/services/>

264673-sportivnyu-intellekt-kak-ii-proekty-v-sporte-uluchshayut-opyt-igrokov. – Дата доступа: 18.03.2023.

6. Усманова, Д. И. Использование искусственного интеллекта в управлении физической культуры и спорта / Д. И. Усманова. – Международный журнал теоретических и практических исследований. – 2022. – Т. 2. – № 1. – С. 97–107.

7. 2021: Создание городской системы для записи на спортивные занятия за 0,5 млрд рублей [Электронный ресурс] // TADVISER. Государство. Бизнес. Технологии. – Режим доступа: [https://www.tadviser.ru/index.php/Продукт:Информационно-аналитическая\\_система\\_Спорт](https://www.tadviser.ru/index.php/Продукт:Информационно-аналитическая_система_Спорт). – Дата доступа: 28.09.2023.

8. «В спорте много пространства для компьютерного зрения». На рынке футбольной аналитики – новые игроки [Электронный ресурс] // АО Бизнес Ньюс Медиа. – Режим доступа: <https://www.vedomosti.ru/sport/football/articles/2023/03/25/968119-na-rinke-futbolnoi-analitiki-novie-igroki>. – Дата доступа: 28.09.2023.

9. Как аналитика данных меняет большой спорт и тренировки любителей [Электронный ресурс] // КОРУС КОНСАЛТИНГ. – Режим доступа: <https://data.korusconsulting.ru/press-center/blog/kak-analitika-dannykh-menyaet-bolshoy-sport-i-trenirovki-lyubiteley/>. – Дата доступа: 28.09.2023.

УДК 537.862

## Автоматический подбор параметров радиофотонных устройств для генерации сверхширокополосных СВЧ-сигналов с линейно-частотной модуляцией

К. Б. Микитчук✉, А. Л. Чиж  
ГНПО «Оптика, оптоэлектроника и лазерная техника»,  
Минск, Беларусь  
E-mail: mikitchuk@oelt.basnet.by

### Введение

Устройства генерации сверхширокополосных СВЧ-сигналов необходимы для развития широкополосной радиосвязи и измерительной СВЧ-техники [1]. Они имеют большое значение для систем радиолокации, так как использование сверхширокополосных СВЧ-сигналов обеспечивает устойчивость к электромагнитным помехам и низкую спектральную плотность мощности зондирующего сигнала, сжатие главного лепестка автокорреляционной функции, что, в свою очередь, позволяет улучшить разрешение радаров по дальности. Электронные устройства генерации традиционно строятся на элементной базе СВЧ-техники, которая характеризуется принципиально ограниченной полосой пропускания, большими размерами, весом и энергопотреблением [2, 3]. Сложная техническая реализация, обусловленная использованием многоступенчатых электронных преобразований вверх или вниз с помощью электронных гетеродинов, является следствием названных ограничений [4]. Радиофотоника позволяет ослабить влияние данных ограничений за счет следующих особенностей. Из-за фундаментальной разницы между временными (частотными) масштабами оптической несущей (~200 ТГц) и модуляционной СВЧ-составляющей (~1–100 ГГц) в радиофотонных устройствах любой модулированный оптический сигнал является узкополосным с точки зрения оптических компонентов. Оптическое волокно и волоконно-оптические компоненты характеризуются уникальными свойствами, некоторые из которых не имеют аналогов в электронике: сверхнизкие потери, невосприимчивость к электромагнитным помехам СВЧ-диапазона, высокая оптическая и полная гальваническая развязки [3].

Методы генерации сверхширокополосных СВЧ-сигналов на основе технологий радиофотоники можно разделить на четыре группы: метод

формирования оптических сигналов в частотной области и преобразования «частота–время», гармоническая Фурье-синхронизация оптоэлектронных генераторов, умножение частоты оптоэлектронными методами и гетеродинирование лазерного излучения [2, 3]. Техническая реализация устройств первых трех групп осложнена тем, что для их создания требуется разработка уникальных как волоконно-оптических, так и СВЧ-компонентов [3]. Напротив, при гетеродинировании лазерного излучения используется частотная модуляция лазерного диода посредством изменения тока накачки (токовый коэффициент частоты составляет 0,5–1 ГГц/мА), причем для получения СВЧ-сигналов с частотно-временной базой свыше  $10^4$  оказывается достаточно применения высокочастотной модуляции тока. При этом биеение двух задержанных и сдвинутых по частоте копий такого сигнала используется для сверхширокополосной СВЧ-генерации. Ранее показана возможность генерации сверхширокополосных СВЧ-сигналов на основе самогетеродинирования излучения лазерного диода, которое реализовано с помощью волоконно-оптического интерферометра [5–7]. Однако для сверхширокополосных радиолокационных систем и систем связи стандартом являются определенные классы СВЧ-сигналов. Например, СВЧ-сигналы именно с линейно-частотной модуляцией длительностью от 100 нс до 100 мкс значительно упрощают прием и обработку эхо-сигналов в системах радиолокации [3]. В общем случае изменение тока накачки лазерного диода приводит к динамической и термической частотной модуляции [5], следствием чего является сильно нелинейная зависимость выходной частоты от тока накачки. Это сильно осложняет формирование СВЧ-сигналов с линейно-частотной модуляцией.

В данной работе рассматриваются радиофотонные модули для генерации сверхширокополосных СВЧ-сигналов на основе продемонстрированного ранее метода самогетеродинирования излучения лазерного диода с помощью волоконно-оптического интерферометра Майкельсона с зеркалами Фарадея [7, 8]. Также предлагается способ формирования импульса тока накачки лазерного диода, обеспечивающего линейно-частотную модуляцию выходного СВЧ-сигнала. Предлагаемый способ предсказания формы импульса тока накачки основан на принципе причинности, когда от некоторого приближения формы импульса тока последовательно варьируется величина тока в каждой следующей точке по времени. Между тем решение о переходе к вариации каждой следующей точки принимается исходя из величины нормы отклонения всех значений частоты от начала и до текущего шага по времени от линейного закона. Приводятся достижимые диапазоны длительностей сверхширокополосных СВЧ-сигналов и экспериментальные результаты по генерации сигнала с линейно-частотной модуляцией.

## Радиофотонные устройства для генерации сверхширокополосных СВЧ-сигналов на основе волоконно-оптических модулей

Подача изменяющегося во времени тока накачки на лазерный диод приводит к излучению им оптического сигнала с изменяющейся во времени частотой. Принцип генерации сверхширокополосных СВЧ-сигналов заключается в том, что лазерный сигнал с изменяющейся во времени частотой направляется в волоконно-оптический интерферометр Майкельсона, после него в любой момент времени оптический сигнал содержит составляющую с постоянной частотой от одного плеча интерферометра Майкельсона, а также составляющую, частота которой меняется со временем в соответствии с изменением тока накачки, от другого плеча интерферометра. На рис. 1 приведена схема радиофотонного устройства для генерации сверхширокополосных СВЧ-сигналов на основе самогетеродинирования излучения лазерного диода с помощью волоконно-оптического интерферометра Майкельсона с зеркалами Фарадея.

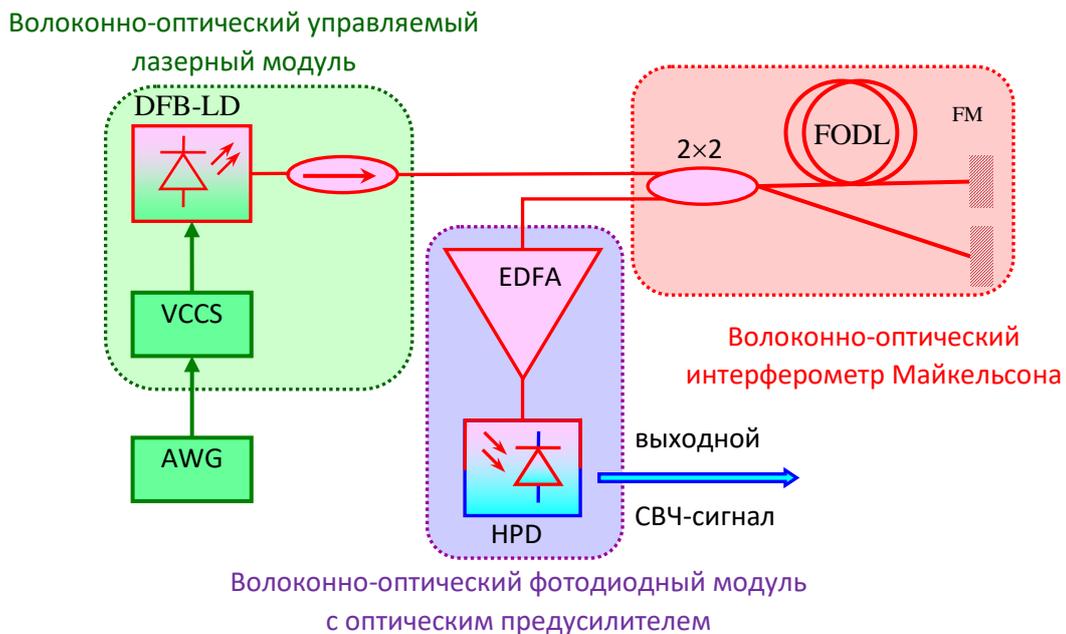


Рис. 1. Схема радиофотонного устройства для генерации сверхширокополосных СВЧ-сигналов на основе самогетеродинирования излучения лазерного диода с помощью волоконно-оптического интерферометра Майкельсона с зеркалами Фарадея:

AWG – генератор сигналов произвольной формы; VCCS – управляемый напряжением источник тока; DFB-LD – лазерный диод с распределенной обратной связью; ISO – волоконно-оптический изолятор; 2×2 – волоконно-оптический разветвитель; FODL – волоконно-оптическая катушка, FM – зеркала Фарадея; EDFA – модуль оптического усилителя на легированном эрбием волокне; HPD – мощный СВЧ-фотодиод

Высокочастотный электрический генератор сигналов произвольной формы используется для задания формы импульса тока накачки для лазер-

ного диода, который формируется с помощью управляемого напряжением источника тока. Подача изменяющегося во времени тока накачки приводит к излучению лазерным диодом оптического сигнала с изменяющейся во времени частотой. Следует отметить, что для обеспечения одночастотной генерации используется лазерный диод с распределенной обратной связью. После этого лазерный сигнал с изменяющейся во времени частотой направляется в волоконно-оптический интерферометр Майкельсона. Паразитные отражения от волоконно-оптического интерферометра подавляются изолятором. Интерферометр Майкельсона суммирует лазерный сигнал и его точную копию с временной задержкой  $\tau$ , которая, в свою очередь, определяется временной разностью задержки между плечами.

Оптический сигнал в виде двух оптических несущих на выходе волоконно-оптического интерферометра Майкельсона усиливается волоконно-оптическим усилителем. Оптоэлектронное преобразование осуществляется мощным СВЧ-фотодиодом. Из-за неравномерности частотной характеристики мощного СВЧ-фотодиода на его выходе формируется СВЧ-сигнал с неравномерной величиной амплитуды во времени, поэтому оптический усилитель в составе радиофотонного устройства генерации работает в режиме насыщения главным образом обеспечивает близкую к постоянной величину амплитуды генерируемого СВЧ-сигнала. Для управления длительностью выходных СВЧ-импульсов и, как следствие, диапазоном частотной модуляции используется напряжение смещения мощного СВЧ-фотодиода. Стоит заметить, что при использовании интерферометра Майкельсона зеркала Фарадея действуют как сопряженные по фазе зеркала, создавая фазовый сдвиг  $\pi/2$ , так что индуцированные в плечах флуктуации состояния поляризации устраняются на обратном пути, поскольку как температурное, так и механическое двулучепреломление в оптическом волокне «заморожены» в масштабе времени распространения света [9].

На рис. 2 показан макет радиофотонного устройства для генерации сверхширокополосных СВЧ-сигналов. В составе устройства использовались волоконно-оптические модули: управляемый лазерный модуль на основе InGaAsP/InP лазерного диода с управляемым напряжением источником тока; волоконно-оптический интерферометр Майкельсона на оптическом разветвителе  $2 \times 2$ , волоконно-оптической катушке, обеспечивающей разницу времен задержки 137 нс, и двух зеркалах Фарадея; фотодиодный модуль с оптическим предусилителем на основе мощного InGaAs/InP СВЧ-фотодиода с частично-обедненным поглощающим слоем [10] и малошумящего оптического усилителя на легированном эрбием волокне [11].

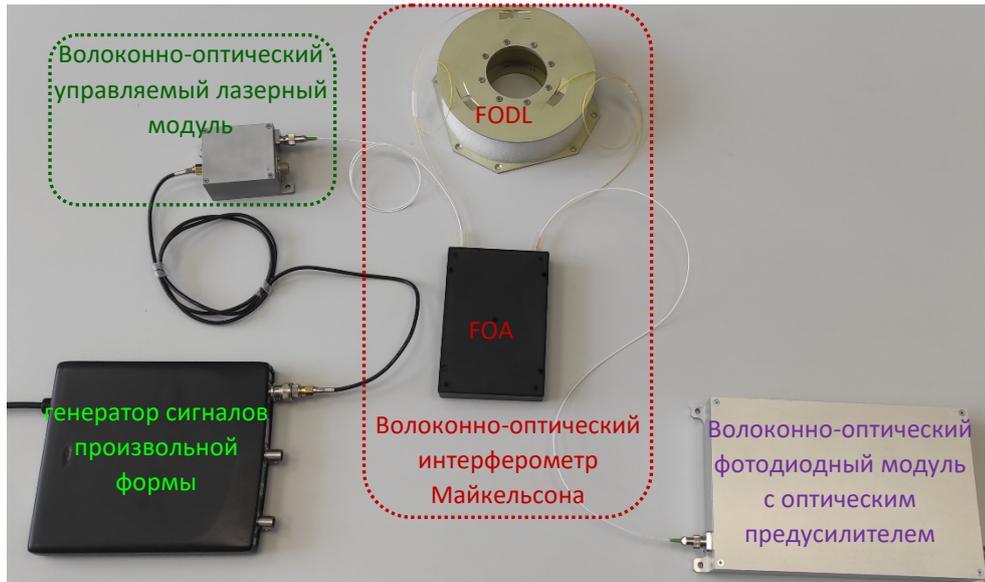


Рис. 2. Радиофотонное устройство для генерации сверхширокополосных СВЧ-сигналов на основе самогетеродинирования излучения лазерного диода с помощью волоконно-оптического интерферометра Майкельсона с зеркалами Фарадея:

FODL – волоконно-оптическая катушка; FOA – волоконно-оптическая сборка интерферометра Майкельсона с зеркалами Фарадея

*Метод расчета предискажения формы импульса тока накачки лазера в составе волоконно-оптического модуля для формирования сигналов с линейно-частотной модуляцией.* При подаче на лазерный диод различных временных зависимостей тока после распространения в обоих плечах интерферометра оптические импульсы сдвигаются на половину периода  $T$ , в случае скважности 2, и периода, равного удвоенной разности задержек плеч волоконно-оптического интерферометра Майкельсона  $T = 2\tau$ , формируется сверхширокополосный СВЧ-сигнал, частота которого изменяется с периодом  $T_p = T/2 = \tau$ , причем частота биений на СВЧ-фотодиоде определяется абсолютным значением разности двух оптических несущих частот. Для обеспечения генерации СВЧ-сигналов с линейно-частотной модуляцией методом самогетеродинирования необходимо предискажение тока накачки, отличное от линейного закона [5]. Чтобы определить параметры предварительного искажения сигнала, ранее предлагалось оценивать переходную [4, 5] или импульсную характеристику частоты лазерного диода [7, 8]. Данные подходы позволяют формировать сверхширокополосные СВЧ-сигналы с линейно-частотной модуляцией, которая содержит значительные нелинейности из-за целого комплекса сложных процессов как в резонаторе лазера (изменения мощности генерации, плотности носителей заряда, эффективного времени жизни в резонаторе лазера, температуры в активной области) [12], так и в лазерном диоде (процессы термализации «чип-кристаллоноситель», «чип-корпус», «чип-устройство согласования»).

В конечном счете частота генерации лазера в текущий момент времени зависит как от тока накачки, так и от всей «предыстории»: формы импульса, длительности и амплитуды. Важно подчеркнуть, что на основе принципа причинности возможно автоматическое формирование предсказания импульса тока накачки лазера в составе волоконно-оптического модуля. Вначале задается приближение формы импульса тока, например, рассчитанное с помощью оценки импульсного отклика частоты лазера [7]. Затем последовательно варьируется величина тока в каждой последующей точке по времени, причем решение о переходе к вариации каждой следующей точки принимается только тогда, когда норма отклонения всех значений частоты от начала  $t = 0$  и до текущего шага по времени  $t = t_j$  от линейного закона станет меньше заданной точности  $\delta$ :

$$\|f_k - f_k^{lin}\|_{k=0}^{k=j} < \delta \Rightarrow j = j + 1, \quad (1)$$

где для линейно-частотной модуляции в форме треугольника линейный закон изменения частоты от времени имеет следующий вид:  $f^{lin} = \alpha t$  для  $t < T_p/2$ , а также  $f^{lin} = \alpha T_p/2 - \alpha t$  для  $T_p/2 < t < T_p$ ,  $\alpha$  – постоянный коэффициент.

На рис. 3 приведен алгоритм метода расчета предсказания формы импульса тока накачки лазера в составе волоконно-оптического модуля для формирования сигналов с линейно-частотной модуляцией в форме треугольника. Выходной СВЧ-сигнал дискретизируется и собирается с помощью осциллографа реального времени с полосой пропускания 5 ГГц (25 Гвыб./с) и разрешением 8 бит. После этого численно рассчитывается частотно-временное распределение СВЧ-сигнала, которое позволяет анализировать произвольные сигналы с изменяющейся во времени частотой и одновременно представляет сигнал во временной и частотной областях. В данной работе преобразование Фурье с синхронным сжатием выбрано в качестве математического инструмента, поскольку для нестационарных сигналов с плавно изменяющейся частотой оно дает более четкие частотно-временные оценки [13]. Зависимость частоты от времени извлекается из частотно-временного распределения энергии  $\rho_{ij}(f = f_i, t = t_j) = \rho_{ij}$  как частотный аргумент наиболее вероятного значения распределения энергии сигнала при постоянном времени. Для этого для каждого значения времени  $t_j$  строится оценка плотности вероятности распределения энергии сигнала  $g_j(f)$ :

$$g_{ij} = \frac{\rho_{ij}}{\sum_i \rho_{ij}}, \rho_{ij} = \rho(f, t) \Big|_{\substack{f=f_i \\ t=t_j}} = \left| \mathbb{F}_{ssft} [s(t)] \right|^2, \quad (2)$$

где  $\mathbb{F}_{ssft}$  – оператор преобразования Фурье с синхронным сжатием,  $s(t)$  – временное представление сигнала. В общем случае мгновенная частота

та, ассоциированная с моментом времени  $t_j$ , – это частотный аргумент максимума оценки плотности вероятности распределения энергии сигнала  $g_{ij}(f)$ . С точки зрения повторяемости экспериментов со случайными выбросами распределения энергии в частотно-временной плоскости более надежно для оценки наиболее вероятного значения пользоваться критерием значения равенства функции распределения  $\frac{1}{2}$  при фиксированном времени  $t = t_j$ :

$$f_j = f|_{t=t_j} = \arg \left\{ \min_i \left| G_{ij} - \frac{1}{2} \right| \right\}, G_{ij} = \sum_{k=0}^{k=i} g_{kj}, \quad (3)$$

где  $G_{ij}$  – функция распределения, рассчитанная как кумулятивная сумма из оценки плотности вероятности распределения энергии сигнала для каждого отдельного момента времени  $t_j$ , индекс  $j$  значения мгновенной частоты, ассоциированного с моментом времени  $t_j$ , определяется как частотный аргумент функции распределения при достижении ею значения  $\frac{1}{2}$ .

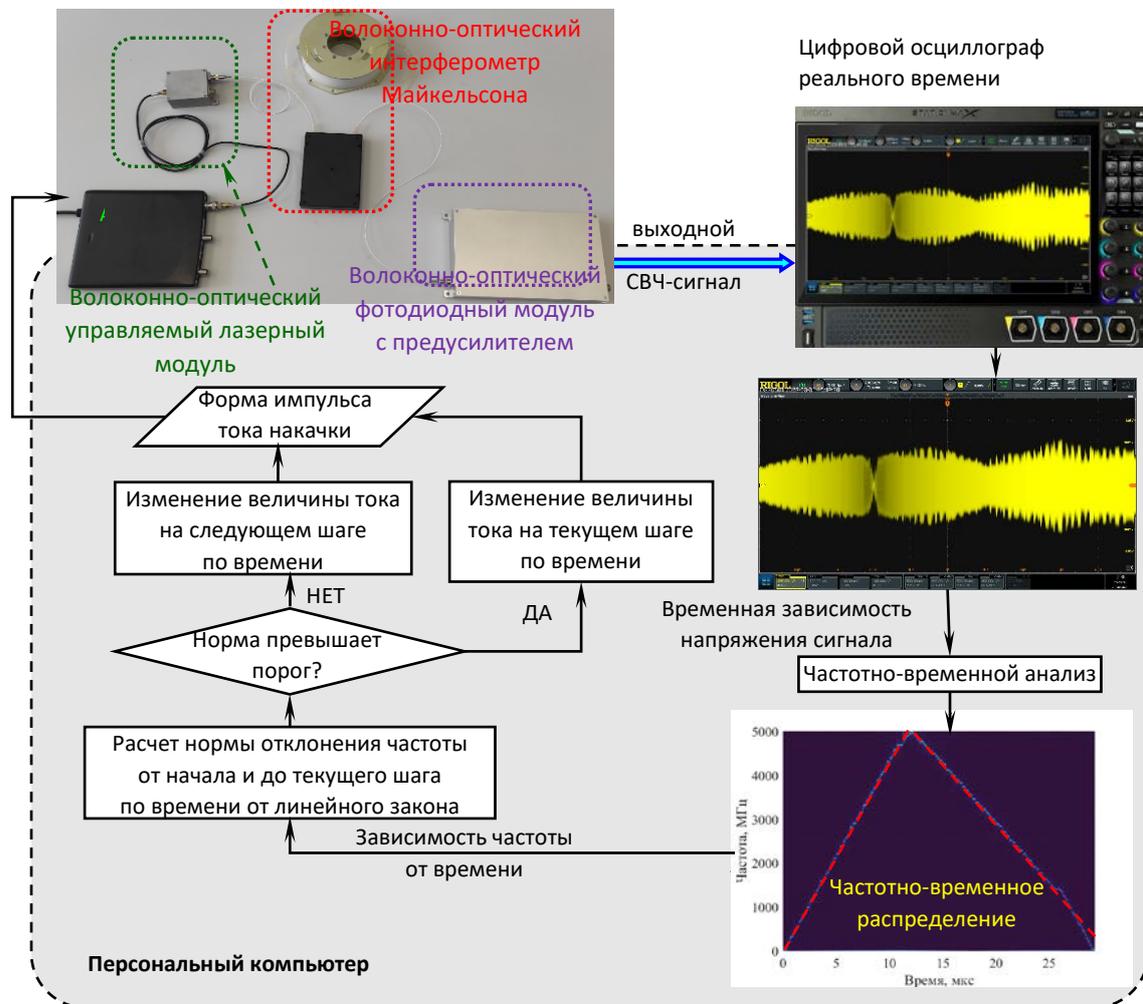


Рис. 3. Алгоритм метода расчета предсказания формы импульса тока накачки лазера в составе волоконно-оптического модуля для формирования сигналов с линейно-частотной модуляцией

В результате реализации алгоритма расчета предсказания формы импульса тока накачки лазера в составе волоконно-оптического модуля была создана программа для управления генератором сигналов произвольной формы и осциллографом реального времени, позволяющая в автоматическом режиме формировать форму импульса тока накачки, обеспечивающую генерацию СВЧ-сигналов с линейно-частотной модуляцией, например в форме треугольника [8]. Следует отметить, что такие сигналы обладают большой важностью для радиолокационных систем построения изображений. Более того, в рамках предлагаемого подхода возможно также формирование «классической» асимметричной пилообразной формы частоты с помощью управления напряжением смещения СВЧ-фотодиода в составе волоконно-оптического модуля.

### Характеристики радиопотонного генератора

На рис. 4 приведена форма импульса тока накачки, обеспечивающая формирование сигналов с линейно-частотной модуляцией в форме треугольника для случая, когда период повторения равен удвоенной разности длительностей задержки в плечах интерферометра Майкельсона  $T = 2\tau$ , длительность импульса сигнала с изменением частоты равна разности длительностей задержки в плечах интерферометра Майкельсона  $T_p = \tau$ , а также значительно превосходит характерное время термализации частоты лазерного диода, которое составляет единицы микросекунд [7].

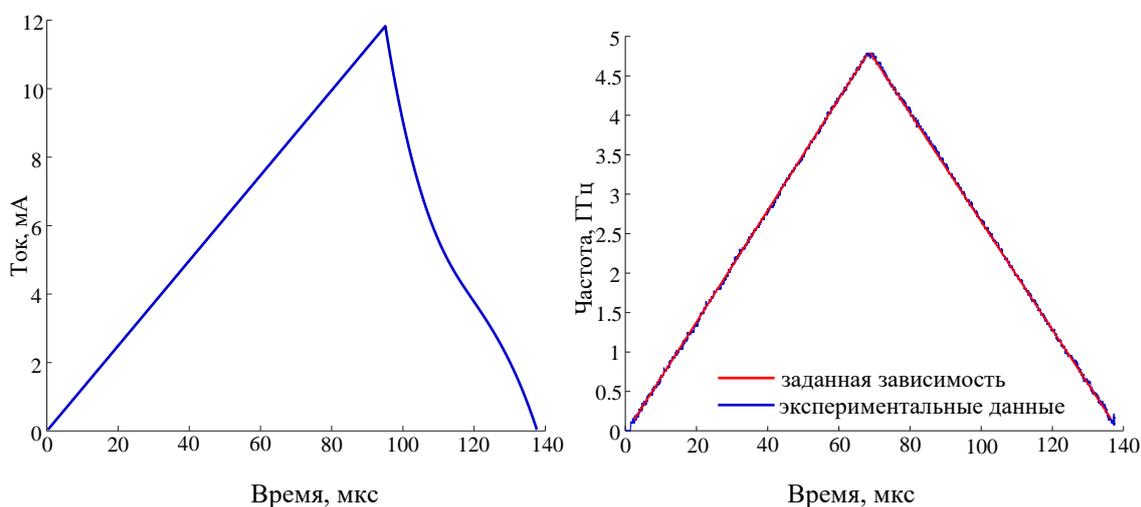


Рис. 4. Временное представление импульса тока, который инжектируется в лазерный диод, и соответствующая ему зависимость частоты формируемого СВЧ-сигнала от времени

На рис. 4 также приведена соответствующая зависимость частоты от времени для сверхширокополосного СВЧ-сигнала с линейно-частотной модуляцией в форме треугольника. Видна высокая степень линейности из-

менения частоты в диапазоне от 0 до 4,8 ГГц. Необходимо добавить, что на графике присутствуют артефакты метода измерения из-за неопределенности постоянной составляющей для метода оценки вероятности распределения энергии сигнала в частотно-временной плоскости. С помощью предложенного метода самогетеродинамирования излучения лазерного диода возможно формировать целый ряд типов сверхширокополосных СВЧ-сигналов. Из-за использования интерферометра Майкельсона с фиксированной разностью длительностей задержки в плечах, а также из-за тепловой инертности лазерного диода имеются следующие ограничения:

1) период повторения равен целому четному числу разностей длительностей задержки в плечах интерферометра Майкельсона  $T \geq 2N\tau$ , где  $N$  – целое число;

2) длительность импульса сигнала с изменением частоты не превышает разности длительностей задержки в плечах интерферометра Майкельсона  $T_p \leq \tau$ , а также меньше характерного времени термализации частоты лазерного диода  $T_p < T_{therm}$ .

Таким образом, при использовании радиофотонного устройства для генерации сверхширокополосных СВЧ-сигналов на основе самогетеродинамирования излучения лазерного диода с помощью волоконно-оптического интерферометра Майкельсона в составе систем радиолокации возможно кратно замедлять или ускорять сбор радиолокационных данных, а также регулировать скважность вплоть до формирования сигналов для непрерывных локаторов. Для лазерных диодов InGaAsP/InP с распределенной обратной связью характерное время термализации частоты составляет ~1–5 мкс, поэтому необходимо выбирать разность длительностей задержки в плечах интерферометра Майкельсона по меньшей мере 10–30 мкс, что, в свою очередь, обеспечивает формирование сверхширокополосных СВЧ-сигналов с периодом повторения свыше  $(20–60)N$  мкс, где  $N$  – целое число. С другой стороны, если необходимо формирование «длинных» сверхширокополосных СВЧ-сигналов с большой частотно-временной базой, разность длительностей задержки в плечах интерферометра Майкельсона ограничивается нелинейным рассеянием Бриллюэна в оптическом волокне, причем типично для мощностей генерации лазерного диода в составе волоконно-оптического модуля ~10 мВт возможно использовать отрезки оптического волокна с длительностью задержки до 200 мкс, что обеспечивает формирование сверхширокополосных СВЧ-сигналов с периодом повторения  $400N$  мкс, где  $N$  – целое число, а внутри каждого периода также возможно формировать «внутрипериодные пачки» сверхширокополосных СВЧ-сигналов. Важно отметить, что управление частотным составом формируемых сверхширокополосных СВЧ-сигналов осуществляется с помощью высокочастотного генератора сигналов произвольной формы, помимо этого отсутствуют технические ограничения на перестройку типа

(формы) спектрального состава формируемых СВЧ-сигналов для каждой пары импульсов. Таким образом, возможно формирование последовательности сверхширокополосных СВЧ-сигналов, например, с перестройкой частотного диапазона для каждого сигнала: [линейно-частотная модуляция от 0 до 2 ГГц длительностью 40 мкс] – [линейно-частотная модуляция от 0 до 12 ГГц длительностью 40 мкс] – [линейно-частотная модуляция от 0 до 5 ГГц длительностью 40 мкс] –... Максимальная частота генерации СВЧ-сигнала ограничена максимальной величиной допустимого тока для лазерного диода в составе волоконно-оптического модуля и для лазерных диодов InGaAsP/InP с распределенной обратной связью составляет свыше 80 мА, что соответствует максимальной частоте свыше 40 ГГц.

### Заключение

Предложено использовать радиодиффузные лазерные и фотодиодные модули для генерации сверхширокополосных СВЧ-сигналов на основе продемонстрированного ранее метода самогетеродинамирования излучения лазерного диода с помощью волоконно-оптического интерферометра Майкельсона с зеркалами Фарадея. На базе созданного метода предсказания импульса тока накачки лазерного диода реализован алгоритм для управления генератором сигналов произвольной формы и осциллографом реального времени, позволяющий в автоматическом режиме формировать форму импульса тока накачки, обеспечивающую формирование сигналов с линейно-частотной модуляцией.

Установлено, что из-за использования интерферометра Майкельсона с фиксированной разностью длительностей задержки в плечах, а также из-за тепловой инертности лазерного диода период повторения формируемых сигналов равен целому четному числу разностей длительностей задержки в плечах интерферометра Майкельсона, а длительность импульса сигнала с изменением частоты не превышает разности длительностей задержки в плечах интерферометра Майкельсона, а также меньше характерного времени термализации частоты лазерного диода.

Экспериментально продемонстрирована генерация с линейно-частотной модуляцией от 0 до 4,8 ГГц при полной длительности сигнала с треугольной формой изменения частоты 137 мкс. Управление частотным составом формируемых сверхширокополосных СВЧ-сигналов осуществляется с помощью высокочастотного генератора сигналов произвольной формы, при этом отсутствуют технические ограничения на перестройку типа (формы) спектрального состава формируемых СВЧ-сигналов для каждой пары импульсов, т. е. возможно формирование последовательности сверхширокополосных СВЧ-сигналов с перестройкой частотного диапазона для каждого сигнала.

**Список использованных источников**

1. Chi, H. Photonic generation of wideband chirped microwave waveforms / H. Chi, C. Wang, J. Yao // *IEEE Journal of Microwaves*. – 2021. – Vol. 1, № 3. – P. 787–803.
2. Pan, S. Microwave photonic radars / S. Pan, Y. Zhang // *Journal of Lightwave Technology*. – 2020. – Vol. 38, № 19. – P. 5450–5484.
3. Microwave photonic video imaging radar with widely tunable bandwidth for monitoring diverse airspace targets / X. Luo [et al.] // *Optics Communications*. – 2019. – Vol. 451. – P. 296–300.
4. Toward a new generation of radar systems based on microwave photonic technologies / G. Serafino [et al.] // *Journal of Lightwave Technology*. – 2019. – Vol. 37, № 2. – P. 643–650.
5. A promising outlook for imaging radar. Imaging flash radar realized using photonic spatial beam processing / C. Schuetz [et al.] // *IEEE Microwave Magazine*. – 2018. – Vol. 19, № 3. – P. 91–101.
6. Photonic generation and transmission of linearly chirped microwave pulses with high TBWP by self-heterodyne technique / L. Herrera [et al.] // *Journal of Lightwave Technology*. – 2018. – Vol. 36, № 19. – P. 4408–4415.
7. Photonic generation of NLFM microwave pulses from DFB-laser chirp / P. Tovar [et al.] // *IEEE Photonics Technology Letters*. – 2019. – Vol. 31, № 17. – P. 1417–1420.
8. Tovar, P. Time-resolved spectroscopy for laser chirp characterization and self-heterodyne generation of apodized-NLFM microwave pulses / P. Tovar, L. Herrera, J. von der Weid // *Proceedings of International Topical Meeting on Microwave Photonics, 22–25 Oct. 2018, Toulouse*. – Toulouse, 2018. – P. 1–4.
9. Comparison between a Mach-Zender interferometer and a Michelson interferometer employing Faraday mirrors for delayed self-heterodyne interferometry / M. Aslund [et al.] // *35<sup>th</sup> Australian Conference on Optical Fibre Technology, 5–7 Dec. 2010, Melbourne*. – Melbourne, 2010. – P. 1–4.
10. Pistoni, N. Polarization noise suppression in retracing optical fiber circuits / N. Pistoni, M. Martinelli // *Optics Letters*. – 1991. – Vol. 16, № 10. – P. 711–713.
11. Malyshev, S. High-power InGaAs/InP partially depleted absorber photodiodes for microwave generation / S. Malyshev, A. Chizh, Y. Vasileuski // *Journal of Lightwave Technology*. – 2008. – Vol. 26, № 15. – P. 2732–2739.
12. Mikitchuk, K. Noise and gain of an erbium-doped fiber amplifier for delay-line optoelectronic oscillator // K. Mikitchuk, A. Chizh, S. Malyshev // *IEEE International Conference on Noise and Fluctuations, Vilnius, 20–23 June 2017*. – Vilnius, 2017. – P. 1–4.
13. Oberlin, T. The Fourier-based synchrosqueezing transform / T. Oberlin, M. Sylvain, V. Perrier // *IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, 4–9 May 2014, Florence*. – Florence, 2014. – P. 315–319.

УДК 004

## Правовое регулирование применения технологий искусственного интеллекта

Н. Н. Мухитдинов

Генеральный директор Исполнительного комитета Регионального содружества  
в области связи, зам. председателя Экспертного совета МПА СНГ – РСС

6 июля 2023 г. Генеральный секретарь ООН Антониу Гутерриш выступил в формате телеконференции на глобальном саммите МСЭ «Искусственный интеллект во благо».

Глава ООН подчеркнул, что искусственный интеллект (ИИ) «может принести огромную пользу», так как «его мощные инструменты могут способствовать реализации Повестки дня на период до 2030 г. и Целей устойчивого развития» (ЦУР).

Созванный МСЭ в Женеве форум «признает совместную ответственность правительств, частного сектора, учреждений ООН, академических кругов и других участников за обеспечение того, чтобы ИИ полностью реализовал свой потенциал, предотвращая и смягчая вред».

По словам Гутерриша, необходимо «срочно найти консенсус в отношении основных страховочных барьеров, регулирующих разработку и развертывание ИИ на благо всех».

В свою очередь Генеральный секретарь МСЭ Дорин Богдан-Мартин в выступлении на форуме напомнила, что до 2030 года остается не так много времени, а выполняются только 12 % задач, поставленных ЦУР, тогда как «прогресс по другим застопорился». «Использование ИИ для реализации Повестки дня на период до 2030 г. – это уже не просто возможность, это наша обязанность», – резюмировала глава МСЭ.

ИИ включает в себя набор самых разных технологий, которые в широком смысле можно собирательно охарактеризовать как «самообучающиеся адаптивные системы».

Существуют различные варианты определения ИИ:

- по технологиям, методам и (или) подходам (например, нейросетевой подход к машинному переводу);
- по назначению (распознавание лиц, распознавание образов);
- по выполняемым функциям (например, способность понимать язык, распознавать изображения, решать задачи и учиться);
- по агентам, машинам или алгоритмам (например, роботы, беспилотные автомобили).

Нормативно-правовая база для ИИ все еще находится на начальной стадии формирования. Возникающие в связи с этим ключевые вопросы политики охватывают следующие области:

- использование инструментов на базе ИИ, их надежность и методы;
- подотчетность и ответственность в связи с использованием моделей ИИ;
- цели, для которых они используются;
- наборы данных, используемые для их обучения, и методы сбора данных.

Серьезной проблемой стало владение данными. Данные необходимо постоянно агрегировать, чтобы каждая модель сохраняла свои достоверность, точность и эффективность при прогнозировании результатов.

ИИ делает возможным предоставление новых услуг во многих направлениях ЦУР. В сфере здравоохранения (ЦУР 3) ИИ способен анализировать большие объемы данных, систематизируя информацию по многочисленным группам пациентов, улучшая диагностику и прогнозный анализ.

В сфере образования (ЦУР 4) во многих странах ИИ используется для разработки персонализированных инструментов тестирования, выявления слабых мест и оказания учащимся помощи в повышении успеваемости.

В финансовой сфере ИИ во многих случаях позволяет получать информацию, необходимую для бухгалтерского учета и отчетности, а также для инвестиционной деятельности, тем самым способствуя микроинвестициям для борьбы с нищетой (ЦУР 1), внедрению новых финансовых услуг и созданию соответствующей инфраструктуры (ЦУР 9).

В сфере производства, индустриализации и в контексте содействия устойчивому экономическому росту (ЦУР 8) ИИ способствует использованию автоматизации, подвижной телефонной связи пятого поколения (5G), интернета вещей (IoT) и более широкому внедрению робототехники.

В сфере транспорта ИИ помогает создавать и использовать полностью автономные транспортные средства и системы автономного вождения, а также управлять дорожным движением в режиме реального времени в городских условиях.

В сфере сельского хозяйства ИИ может использоваться для управления фермерским хозяйством и в качестве инструмента прогнозного анализа на основе данных мониторинга культур, почвы и погоды для содействия принятию решений и оптимизации использования ресурсов. Использование сельскохозяйственных роботов и автоматизация сокращают трудозатраты на выполнение многих ресурсоемких функций.

Деятельность МСЭ в области ИИ. МСЭ осуществляет деятельность в самых разных областях, анализируя новые и формирующиеся тенденции в области ИИ, а также помогает членам МСЭ, государствам-членам

и заинтересованным сторонам подготовиться к далеко идущим политическим и регламентарным последствиям.

ИИ во благо в качестве платформы. Платформа «ИИ во благо» ([URL: https://aiforgood.itu.int/programme](https://aiforgood.itu.int/programme)) предназначена главным образом для помощи при использовании ИИ для удовлетворения основных потребностей человечества, включая достижение установленных ООН 17 ЦУР к 2030 г., и функционирует как круглогодичная и постоянно подключенная к Интернету программа. Цель саммита «ИИ во благо» – выявление способов практического применения ИИ для прогресса в достижении Целей в области устойчивого развития и масштабирование принятых решений для оказания воздействия на глобальном уровне. Саммит организуется МСЭ в партнерстве с 38 родственными учреждениями системы ООН и совместно с правительством Швейцарии.

Политика и регулирование, создание благоприятной политической и нормативной базы для цифрового развития. Проводя ежегодные обследования и осуществляя мониторинг системы регулирования ([URL: https://www.itu.int/itu-d/sites/regulatory-market/](https://www.itu.int/itu-d/sites/regulatory-market/)), МСЭ отслеживает процесс разработки национальных стратегий и политики в области ИИ.

МСЭ опубликован отчет «ИИ и большие данные для развития 4.0», в котором описаны возможности, эффективная политика и передовые методы регулирования и содержатся рекомендации в отношении управления и преодоления барьеров. В отчете также описаны основные компоненты национальной системы ИИ и данных для развития, включая управление, регулирование, этические соображения, цифровые навыки и навыки работы с данными.

В условиях быстрого глобального развития генеративного ИИ обострилась проблема отсутствия его нормативно-правового регулирования. Страны по всему миру активизировали усилия по разработке законодательства в области ИИ.

10 марта в штаб-квартире Межпарламентской Ассамблеи государств – участников Содружества Независимых Государств состоялось заседание Постоянной комиссии МПА СНГ по науке и образованию, на котором была завершена работа над проектом Рекомендаций по нормативному регулированию использования ИИ, включая этические стандарты исследований и разработок для стран Содружества. Рекомендации касаются исключительно гуманитарных сфер, которые должны сыграть роль дорожной карты для формирования системы законов в сфере ИИ на территории СНГ.

Для этического регулирования ИИ необходимо обеспечить благополучие и безопасность человека, запрет на причинение вреда в результате работы систем ИИ, подконтрольность человеку, соответствие закону, определение ответственных лиц за действия конкретных систем ИИ.

Принят Указ Президента Азербайджанской Республики от 27 апреля 2021 г. № 1325 «О совершенствовании управления в сфере цифровой трансформации». «Азербайджан прорабатывает вопрос внедрения ИИ в госуправление», – заявил директор Консорциума по экспорту инноваций Азербайджана Фарид Кязимов.

Тема ИИ в последние годы является одной из главных в области высоких технологий и наиболее активно применяется в бизнесе. Целесообразно применение ИИ в образовании, медицине, финансах, транспорте, отдельных сегментах бизнес-администрирования (HR, юридические услуги, бухгалтерия), торговле. Настоящего прорыва стоит ожидать к 2028–2030 гг., когда, по некоторым прогнозам, ИИ сможет приблизиться к функционалу человеческого мозга.

В Армении (Ереван) в прошлом году состоялся Глобальный инновационный форум, в рамках которого прошла панельная дискуссия «Искусственный интеллект в повседневной жизни». ИИ сейчас используется в различных медицинских устройствах.

В настоящее время в Армении внедрен ИИ, который помогает определять социально не защищенных граждан. Также в Армении разрабатывается другая социальная платформа для помощи гражданам. Она будет действовать в сфере трудоустройства. Любой человек сможет оставить в базе свое резюме и просмотреть вакансии, которые будут размещены на этой платформе. Предполагается, что новый проект принесет пользу как работодателям, так и соискателям. Некоторые профессии стали неконкурентоспособными, поэтому многие люди не могут найти работу и становятся уязвимыми. В результате появляется необходимость смены профессии.

Декретом Президента Республики Беларусь от 21 декабря 2017 г. № 8 «О развитии цифровой экономики» резидентам Парка высоких технологий предоставлено право на осуществление в установленном порядке деятельности в сфере ИИ, создание систем беспилотного управления транспортными средствами.

С целью обеспечения защиты персональных данных, прав и свобод физических лиц при обработке их персональных данных принят Закон Республики Беларусь «О защите персональных данных».

Беларусь разработала и предложила странам СНГ модельный закон о регулировании ИИ. Разработка модельного закона об ИИ является формированием системы правового регулирования общественных отношений, возникающих в связи с развитием и использованием ИИ. Основные задачи этого модельного закона:

Во-первых, это создание благоприятных правовых и организационных условий для развития технологий ИИ, содействие инвестициям в исследования и инновации в области ИИ. Во-вторых, это формирование единого

рынка законных, безопасных и заслуживающих доверия приложений на основе ИИ.

Обязательно должен решаться вопрос о повышении цифровой грамотности населения, а также соответствующих управленцев в государственных органах. И, конечно же, должна гарантироваться безопасность использования и размещения систем ИИ и их внедрения.

В Казахстане действует Закон о персональных данных, при этом еще не предприняты попытки прямого урегулирования использования ИИ в разрезе защиты данных.

19 мая 2023 г. в столице Казахстана состоялась Международная научно-практическая конференция «Искусственный интеллект и большие данные в судебной и правоохранительной системе: реалии и требования времени». Участники обменялись мнениями и опытом по целому ряду тем, таких как правовое регулирование ИИ, кибербезопасность в условиях современных вызовов, проблемы и перспективы применения ИИ в судебной и правоохранительной деятельности. Министр цифрового развития, инноваций и аэрокосмической промышленности Республики Казахстан Багдат Мусин заявил о необходимости разработать конкретные меры для регулирования вопросов ИИ.

Круглый стол по обсуждению возможностей технологии ИИ и подходов к их регулированию состоялся в Кыргызстане. Он был организован Министерством цифрового развития Кыргызской Республики. Тема круглого стола – «Системы и технологии искусственного интеллекта: риски, возможности и подходы к регулированию в Кыргызской Республике». В работе круглого стола приняли участие представители государственных органов, международных организаций, гражданского общества и представители средств массовой информации. По итогам круглого стола участники сошлись во мнении, что новые технологии являются драйвером развития и в обозримом будущем существенно изменят жизнь человека во всех сферах, а их применение диктует необходимость поиска новых решений правового регулирования.

Последние несколько лет в России ИИ активно развивают. Указом Президента Российской Федерации 10 октября 2019 г. ФЗ № 490 «О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации» утверждена Национальная стратегия развития ИИ на период до 2030 г.

В 2021 г. появился федеральный проект «Искусственный интеллект» нацпроекта «Цифровая экономика», а с 1 сентября 2022 г. заработал Национальный центр развития ИИ при Правительстве России. В развитие Национальной стратегии утвержден федеральный проект «Искусственный интеллект» сроком реализации до конца 2024 г. Предусмотрено бюджетное финансирование в размере 24,1 млрд руб., а также из внебюджетных источников – 5,1 млрд руб.

Проект обновленной Национальной стратегии по развитию искусственного интеллекта планирует в ноябре получить одобрение Президента Российской Федерации. Обновленная национальная стратегия будет отвечать стоящим перед рынком масштабным вызовам, среди которых стремительный рост вычислительных мощностей в странах, лидирующих в этой технологии, дефицит ИИ-специалистов, кратное уменьшение объема венчурных инвестиций в стартапы средней стадии со стороны частных фондов.

В Таджикистане в 2022 г. Правительством Республики Таджикистан была принята «Национальная стратегия развития искусственного интеллекта до 2030 года». Стратегия прежде всего учитывает международные обязательства Республики Таджикистан по Повестке дня на XXI век и Целям устойчивого развития, одобренным 70-й сессией Генеральной Ассамблеи ООН в сентябре 2015 г.

Основным фокусом ЦУР является концепция устойчивого человеческого развития, которая предполагает выбор научно обоснованных базовых принципов будущего развития национальной экономики и общества.

В основу системного подхода разработки НСР-2030 положены три базовых принципа будущего развития:

- 1) превентивность или упреждение (снижение) уязвимости будущего развития;
- 2) индустриальность или повышение эффективности использования национальных ресурсов;
- 3) инновационность или развитие на основе нововведений во всех сферах социально-экономической жизни страны.

Туркменистан присоединился к обсуждению разработки законодательных основ для ИИ. Депутаты парламента Туркменистана приняли участие в онлайн-встрече Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР), в ходе которой обсуждались законодательные основы развития и применения ИИ. Участники заседания обсудили правовую основу ИИ, которая должна разрабатываться с учетом прав человека и демократических ценностей, а также отвечать стандартам надежности и безопасности систем, использующих ИИ. Туркменистан исходит из актуальности принципов ИИ, который должен служить глобальным целям – устойчивому социально-экономическому и экологичному развитию, благополучию людей.

Республика Узбекистан вступает в новую эру – эру цифровизации, технические и технологические возможности которой кардинально меняют существующую социально-экономическую модель мира. И технологии ИИ играют важнейшую роль в этих процессах. Они уже широко внедряются и находят широкое применение в индустрии. (URL: <https://mitc.uz/ru/news/2345>).

Постановление «О мерах по созданию условий для ускоренного внедрения технологий искусственного интеллекта» принято Президентом Узбекистана 17.02.2021 г.

Указы и постановления Президента Республики Узбекистан:

Постановление «О мерах по созданию условий для ускоренного внедрения технологий искусственного интеллекта»;

Постановление «О мерах по внедрению специального режима применения технологий искусственного интеллекта»;

Указ «Об утверждении стратегии «Цифровой Узбекистан – 2030» и мерах по ее эффективной реализации» от 5 октября 2020 г., № УП-6079.

Таким образом, в настоящее время в мире наблюдается беспрецедентный рост интереса к регулированию общественных отношений, связанных с ИИ.

Представляется, что одним из главных выводов, которые можно сделать исходя из последних событий, касающихся регулирования ИИ, является вывод о неотъемлемой связи между ИИ и защитой прав субъектов персональных данных.

В этом контексте принципиально важными являются следующие положения:

1. Развитое и современное законодательство о защите прав субъектов персональных данных служит необходимой основой правового регулирования и предпосылкой для ответа на вызовы, создаваемые ИИ.

2. Независимый надзорный орган по защите прав субъектов персональных данных, обладающий достаточными полномочиями и ресурсами, является ключевым элементом, обеспечивающим защиту прав граждан и публичный контроль над технологическими компаниями, обладающими ИИ. Наиболее целесообразно наделять контрольно-надзорными полномочиями в сфере ИИ именно органы по защите прав субъектов персональных данных.

3. Регулирование ИИ требует гибких подходов и сочетания различных инструментов, включая саморегулирование, стандартизацию, морально-этическое регулирование, а также технические способы регулирования (маркировку, использование кода, метаданных).

4. Ни одна юрисдикция сама по себе не способна обеспечить регулирование и контроль над ИИ. Только сочетание национальных и международных правовых инструментов, широкое и тесное международное сотрудничество, наличие международных механизмов принудительного правоприменения способны заставить ИИ служить людям.

УДК 004.75

## **Интеграция искусственного интеллекта с IoT на основе платформы «Абсолют: SmartCloud»: возможности для «умного города»**

С. Е. Нечаев, И. С. Терех, Е. А. Криштопова ✉  
ООО «НЬЮЛЭНД технолоджи»,  
Минск, Беларусь  
*E-mail: contact@newland.by*

Модернизация городов с целью обеспечения комфорта и безопасности жителей при эффективном использовании ресурсов становится возможной благодаря внедрению концепции «умного города». Данная концепция заключается в объединении миллионов устройств в единое контролируемое пространство и выделении отдельных подсистем для управления, таких как транспортная, коммуникационная и коммунальная инфраструктуры. Это достигается при помощи Интернета вещей (Internet of Things, IoT) – комплекса технологий передачи и обмена данными между физическими объектами, имеющими встроенные средства взаимодействия друг с другом и с внешней средой, и соответствующим программно-аппаратным обеспечением.

Технологии Интернета вещей разрабатывались с учетом рационального использования ресурсов города, повышения качества городской среды, ее безопасности. Межмашинное взаимодействие, на котором строится IoT, подразумевает моментальную реакцию управляющих программ (центров мониторинга) на определенные события на основе анализа больших объемов данных. Здесь сложно обойтись без технологий искусственного интеллекта (ИИ).

Под IoT-платформой понимается многоуровневая система, которая используется для мониторинга и удаленного управления подключенных устройств (датчиков, приборов учета, контроллеров и т. д.), межмашинного взаимодействия между ними.

Зарубежными компаниями разработан ряд IoT-платформ. Однако при использовании импортных решений имеются риски безопасности хранения данных и выхода из строя систем города, так как возможно управляющее воздействие на программное обеспечение извне. Кроме того, важно учитывать требования национального законодательства, связанные с защитой данных и кибербезопасностью, при выборе и использовании IoT-платформ для «умных городов».

IoT-платформа «Абсолют: SmartCloud» разработана белорусской компанией «НЬЮЛЭНД технолоджи» и объединяет в себе возможности IoT и ИИ. Решение было разработано в рамках Государственной программы «Цифровое развитие Беларуси» на 2021–2025 годы с целью содействия развитию цифровой экосистемы «умного города», а также других сфер в области применения IoT-решений.

Задача IoT-платформы «Абсолют: SmartCloud» – объединение датчиков, приборов учета, контроллеров, видеокамер и других устройств в одно цифровое пространство для мониторинга и управления системами «умного города». Архитектура платформы представлена на рис. 1.

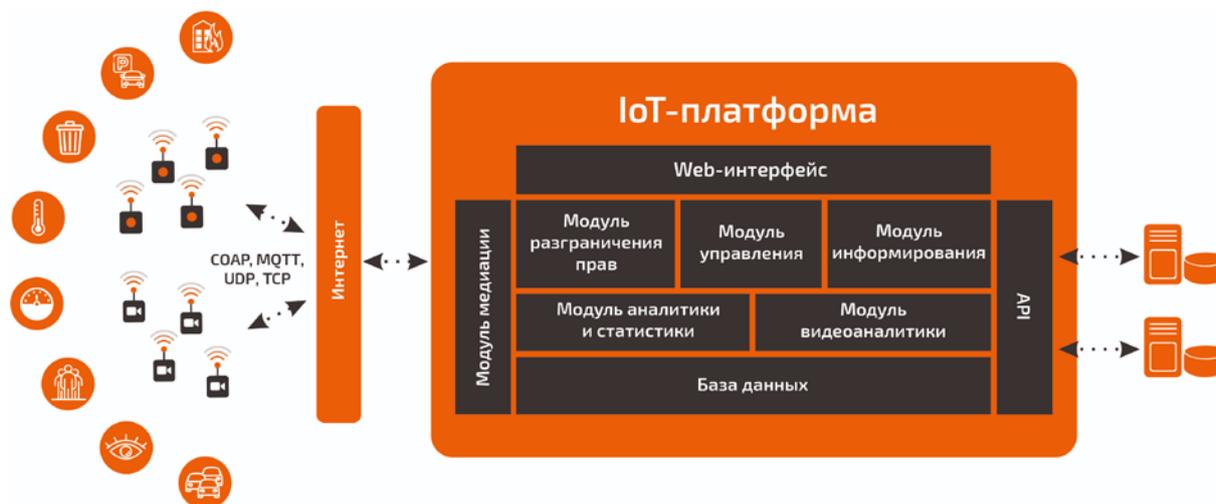


Рис. 1. Архитектура IoT-платформы «Абсолют: SmartCloud»

Для получения данных «Абсолют: SmartCloud» с устройств, размещенных на объектах мониторинга, используются современные технологии: 2G/3G/4G/5G, NB-IoT, Ethernet, UDP/TCP, LoRaWAN и т. д.

Платформа была создана по запросам операторов мобильной электросвязи с целью мониторинга и управления инженерными системами территориально распределенных объектов различного масштаба и сложности.

Объединив IoT-платформу «Абсолют: SmartCloud» и «умные устройства» собственного производства с современными технологиями связи, компания «НЬЮЛЭНД технолоджи», разработала ряд проектных решений в рамках концепции «умного города»:

1. Удаленный сбор и хранение данных, полученных с приборов учета потребления ресурсов.
2. Удаленный мониторинг наполненности мусорных контейнеров и вывоза мусора.
3. Удаленный мониторинг угла наклона конструкций (мачты, антенны, подъемных кранов).

4. Удаленный мониторинг затопления, отображения данных об уровне жидкости в помещениях, канализациях, водохранилищах, плотинах и т. п.
  5. Удаленный мониторинг перемещения грузов на всем пути следования, в том числе там, где невозможно использовать GPS.
  6. Удаленный мониторинг параметров микроклимата для помещений, контейнеров, складов.
  7. Удаленный мониторинг состояния канализационных шахт и колодцев. Оповещение об открытии люков и перемещении их крышек.
  8. Дистанционное умное управление освещением с диммированием, контролем и диагностикой осветительного оборудования.
  9. Удаленный мониторинг железнодорожных тормозных башмаков с определением их местоположения и состояния (рабочее или аварийное).
- На рис. 2 приведена схема решения для «умного квартала» (на примере одного из реальных проектов).

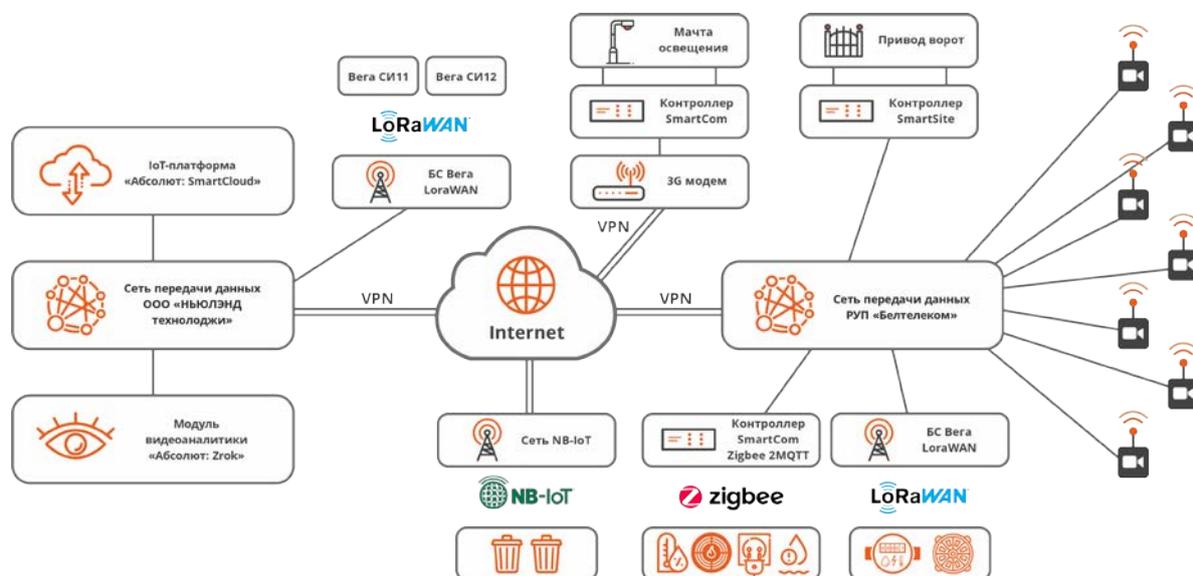


Рис. 2. Схема решения для «умного квартала» на основе IoT-платформы «Абсолют: SmartCloud»

Отличие IoT-платформы «Абсолют: SmartCloud» от других IoT-платформ – объединение в единое пространство не только датчиков, но и видеокамер. В результате поток данных с видеокамер не только отображается и хранится на «Абсолют: SmartCloud», а обрабатывается с помощью ИИ посредством модуля видеоаналитики «Абсолют: Zrok».

Одновременное использование данных с датчиков и видеокамер позволяет повысить достоверность получаемой информации о событиях на объекте удаленного мониторинга и точность принятия решений, расширить спектр реализуемых задач для «умного города». Например, использование данных с видеокамер при анализе городской инфраструктуры может помочь выявить неисправности или повреждения на дорогах, тротуарах

или зданиях. Это позволит оперативно проводить ремонтные работы и предотвращать возникновение аварийных ситуаций. Анализируя видеозаписи дорожной обстановки, можно определить причину пробки (авария или дорожное происшествие) и принять соответствующие меры, например перенаправить движение или организовать выезд необходимых служб на место происшествия.

«Абсолют: Zrok» при помощи ИИ анализирует видеопоток и позволяет идентифицировать людей, распознавать государственные номера транспортных средств, контролировать доступ, проникновение и перемещение объектов в помещениях и на закрытых территориях, детектировать дым и огонь. Панель событий модуля видеоаналитики представлена на рис. 3.

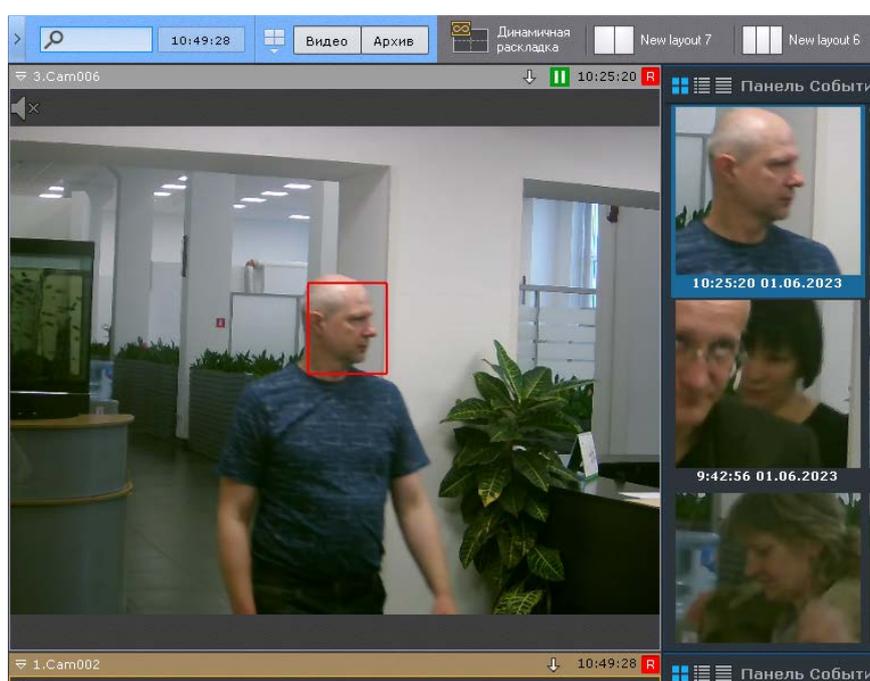


Рис. 3. Интерфейс панели событий модуля видеоаналитики

Модуль видеоаналитики решает задачи:

- мониторинга государственных и социально значимых объектов для обеспечения общественного порядка;
- профилактики, раскрытия, пресечения преступлений и других правонарушений;
- своевременного выявления нестандартных ситуаций, что позволяет оперативно принимать решения и предотвращать чрезвычайные происшествия;
- обработки большого объема данных в режиме реального времени с максимальной эффективностью в масштабах города или страны.

Функциональность модуля видеоаналитики «Абсолют: Zrok» подробно раскрыта в таблице.

Функции модуля видеоаналитики «Абсолют: Zrok»

Возможности	Сфера применения
<i>Распознавание лиц и идентификация людей</i>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Контроль доступа в помещения и работы сотрудников;</li> <li>– анализ движения на объекте и посещаемости объектов в режиме реального времени;</li> <li>– детекция людей из черного списка (преступников, уволенных и т. д.);</li> <li>– подсчет количества уникальных посетителей (для бизнес- и торговых центров, стадионов, ресторанов и т. д.);</li> <li>– соблюдение карантинных ограничений</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Учреждения образования и здравоохранения;</li> <li>– торгово-развлекательные, бизнес-центры;</li> <li>– ритейл;</li> <li>– опасные и потенциально опасные объекты (заводы, стройплощадки, АЗС, железнодорожные пути);</li> <li>– места массового скопления людей;</li> <li>– помощь в расследовании инцидентов и преступлений</li> </ul>
<i>Распознавание автомобильных номеров</i>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Управление воротами (шлагбаумами);</li> <li>– помощь в расследовании инцидентов и преступлений;</li> <li>– контроль доступа и движения транспорта на закрытых территориях;</li> <li>– соблюдение правил парковки и остановки;</li> <li>– соблюдение правил движения по выделенным полосам, проезда перекрестков;</li> <li>– контроль скоростного движения на участках дорог;</li> <li>– заполненность парковки в реальном времени</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Органы контроля безопасности движения;</li> <li>– городские парковки;</li> <li>– торгово-развлекательные, бизнес-центры;</li> <li>– опасные и потенциально опасные объекты (заводы, стройплощадки, АЗС, железнодорожные пути и др.)</li> </ul>
<i>Анализ пересечения линии (периметра)</i>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Охрана периметра;</li> <li>– анализ движения транспорта;</li> <li>– контроль в ограниченных и опасных для посещения местах;</li> <li>– подсчет количества посетителей</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Службы контроля безопасности движения и дорожные службы;</li> <li>– торгово-развлекательные и бизнес-центры;</li> <li>– места массового посещения людей;</li> <li>– опасные и потенциально опасные объекты (заводы, стройплощадки, АЗС, железнодорожные пути), производства, офисы</li> </ul>

Информация с устройств, подключенных к IoT-платформе «Абсолют: SmartCloud», и о событиях, распознанных модулем видеоаналитики, накапливается в базе данных на сервере, что позволяет проводить оперативный анализ данных для принятия управленческих решений и получать необходимые аналитические отчеты и графики. Скриншот одного из интерфейсов «Абсолют: SmartCloud», отображающий данные с подключенных устройств, приведен на рис. 4.

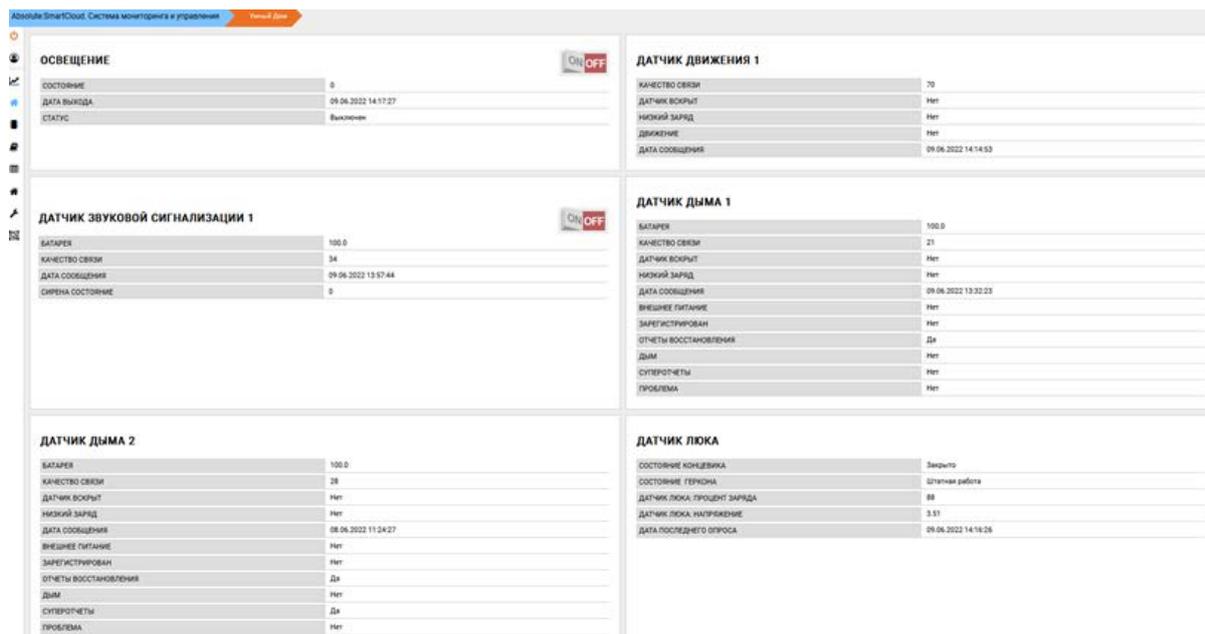


Рис. 4. Интерфейс подключенных к IoT-платформе «Абсолют: SmartCloud» устройств

Кабинет пользователя IoT-платформы «Абсолют: SmartCloud» предоставляет большие возможности – от назначения прав доступа до визуализации получаемых данных.

Реализация управления любой городской подсистемой с помощью IoT-платформы сопровождается анализом, визуализацией данных в графическом и картографическом форматах.

Апробация решения в пилотном проекте «Умный Квартал г. Орша 2022» на территории Оршанского РУЭС» (совместно с РУП «Белтелеком») показала эффективность и целесообразность реализации концепции «умного города» на основе IoT-платформы «Абсолют: SmartCloud».

В настоящее время IoT-платформа «Абсолют: SmartCloud» используется для мониторинга инженерной инфраструктуры удаленных объектов операторов мобильной электросвязи Беларуси, Азербайджана, Казахстана и Кыргызстана.

IoT-платформа «Абсолют: SmartCloud» является полностью отечественной разработкой. Поэтому все управляющие воздействия и хранение данных производятся на территории Республики Беларусь, что гарантирует техническую поддержку и взаимодействие с разработчиками в случае необходимости адаптации решения к требованиям заказчика.

В дальнейшем на основе платформы «Абсолют: SmartCloud» могут быть разработаны и внедрены конкретные решения для реализации целей цифрового развития страны.

УДК 004

## **Глубокая нейронная сеть архитектуры трансформер для оценки и прогноза параметров состояния экосистем на территориях с высоким уровнем радиоактивного загрязнения**

**А. Н. Никитин, И. А. Чешик, Е. В. Мищенко, Д. В. Сухарева, О. А. Шуранкова**  
Институт радиобиологии НАН Беларуси,  
Гомель

**М. В. Кудин, С. А. Калиниченко**  
Полесский государственный радиационно-экологический заповедник,  
Хойники, Беларусь

Параметры накопления  $^{137}\text{Cs}$  в компонентах лесных экосистем имеют высокую вариабельность и сложную зависимость от факторов окружающей среды, что затрудняет прогноз соответствия древесины на территориях с высоким уровнем радиоактивного загрязнения санитарно-гигиеническим нормативам. С целью решения данной проблемы проведена оценка возможности использования мультиспектральных спутниковых снимков для оценки коэффициента перехода радиоактивного изотопа цезия в древесину.

Мультиспектральные данные спутникового обследования Земли в настоящее время активно используются для оценки различных аспектов состояния растительного и почвенного покрова: тип растительного покрова, биологическая продуктивность и стресс растений, тип почвы, обеспеченность элементами питания и влагообеспеченность, запасы органического вещества в почве и другие параметры состояния [1–5]. Спектральный отклик растительного покрова косвенно отражает почвенные характеристики, а также может использоваться для анализа состояния растений. На основании этого сделано предположение о том, что мультиспектральные данные дистанционных наблюдений можно использовать для оценки параметров модели прогноза накопления радиоактивных веществ в растениях. В частности, представляет интерес оценка возможности использования данных Sentinel-2 для прогноза накопления  $^{137}\text{Cs}$  в древесине сосны, произрастающей в Полесском государственном радиационно-экологическом заповеднике.

Использование глубоких нейронных сетей позволяет автоматизировать задачу поиска и конструирования входных параметров моделей. Дан-

ная задача решается одновременно с обучением модели. Скрытый слой или слои модели можно рассматривать в качестве скрытого представления (*embedding*), являющегося вектором в виртуальном многомерном пространстве возможных состояний моделируемой системы [6].

Авторами сделано предположение, что совокупность спектров отражения в видимом и инфракрасном диапазонах поверхности экосистемы, полученных в различные моменты времени, несет в себе информацию о ее состоянии, включая видовой состав, значения эдафических, климатических, биотических и антропогенных факторов и т. п. Эта информация может быть использована в том числе и для определения параметров накопления техногенных радионуклидов в компонентах экосистемы. С другой стороны, временной набор фрагментов мультиспектральных спутниковых изображений поверхности экосистемы может использоваться для кодирования вектора скрытого представления экосистемы. Обучение модели для его вычисления может осуществляться без учителя с использованием коллекции снимков спутниковых наблюдений за поверхностью Земли.

Как правило, обучение глубоких нейронных сетей для обработки графической информации требует достаточно большого объема размеченных данных [7]. Вместе с тем получение размеченного набора данных дистанционного зондирования Земли требует больших затрат и привлечения экспертов в соответствующих областях. Выходом из данной ситуации является предобучение модели без учителя и активная разметка данных. Предобученная модель тренируется на неразмеченных данных с опорой на наличие внутренней структуры. После этого модель дообучается с учителем на ограниченном наборе размеченных данных, соответствующих конкретной решаемой задаче. При этом общие «знания» модели о структуре данных, полученные при обучении на большом объеме данных без учителя, переносятся на узкую задачу, решение которой тренируется на размеченных данных. Такой подход позволяет добиться более высокой обобщающей способности модели, избежав ее переобучения на ограниченном наборе размеченных данных. При активной разметке осуществляется дополнение размеченных данных новыми на основе результатов оценки эффективности модели на предыдущем шаге.

На данный момент одной из наиболее совершенных архитектур глубоких нейронных сетей для решения широкого круга задач являются трансформеры, построенные на основе механизма автовнимания. В обзоре Ghaffarian и др. [8] было показано, что механизм внимания, как правило, улучшает показатели моделей для обработки изображений дистанционного зондирования. Мультиспектральное представление поверхности естественных экосистем имеет выраженные закономерности временной динамики как сезонной, так и более продолжительной, обусловленной сукцессионными процессами. Спектральная динамика содержит большой объем

семантической информации, имеющей свое выражение в видовых, фенологических и других особенностях растительных сообществ. Это положение было наглядно показано в работе [9]. Yuan и Lin создали модель, основанную на нескольких слоях трансформеров, для семантической классификации объектов на спутниковых мультиспектральных снимках, извлекающей значимые спектрально-временные структуры, в процессе обучения без учителя с маскированием случайных элементов во временной последовательности. Обученная на восстановлении этих элементов глубокая нейронная сеть в дальнейшем относительно легко дообучается на ограниченном наборе размеченных данных для решения задачи семантической классификации.

В модель BERT наряду с последовательными изменениями во времени авторами интегрировано пространственное измерение. Пространственная структура оптического представления экосистем в данных дистанционного зондирования несет важную экологическую информацию и не может быть полностью выведена из временной и спектральной осей. Сама по себе она позволяет решать множество сложных задач. Гипотезой настоящего исследования явилось предположение, что глубокая нейронная сеть, обученная на выявление закономерностей пространственно-спектрально-временной структуры экосистем, должна содержать в векторах скрытого состояния информацию о параметрах состояния этих экосистем, что позволяет получать оценку их значений.

### Материалы и методы

Исследования основаны на результатах обследования 1033 пробных площадок, заложенных в сосновых насаждениях на территориях с высоким уровнем радиоактивного загрязнения. На площадках определена плотность загрязнения почвы  $^{137}\text{Cs}$  и удельная активность данного радионуклида в неокоренной деловой древесине сосны. На основании этих значений определены коэффициенты перехода радионуклида из почвы в неокоренную древесину, представляющие собой отношение его удельной активности в древесине к плотности загрязнения почвы.

Плотность загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  обследованных участков лесных насаждений составляла от 33 до 10496 кБк/м<sup>2</sup> со средним значением 559 кБк/м<sup>2</sup> и межквартильным интервалом 179–596 кБк/м<sup>2</sup>. При этом содержание  $^{137}\text{Cs}$  в неокоренной древесине составляло от 18 до 34214 Бк/кг со средним значением 1120 Бк/кг и межквартильным интервалом 208–923 Бк/кг. Допустимому уровню содержания  $^{137}\text{Cs}$  740 Бк/кг (лесоматериалы круглые для строительства стен жилых зданий) соответствует древесина на 68,4 % обследованных участках, допустимому уровню 1480 Бк/кг (лесоматериалы круглые прочие) – на 86,7 % обследованных участках.

Результаты обследования свидетельствуют о широком варьировании коэффициента перехода  $^{137}\text{Cs}$  из почвы в неокоренную древесину сосны – от  $0,07$  до  $19,01 \times 10^{-3} \text{ м}^2 \cdot \text{кг}^{-1}$  со средним значением  $2,19 \times 10^{-3} \text{ м}^2 \cdot \text{кг}^{-1}$  и медианой  $1,63 \times 10^{-3} \text{ м}^2 \cdot \text{кг}^{-1}$ .

### Модель RS-BERT

Авторами разработана единая (end-to-end) архитектура глубокой нейронной сети с несколькими режимами обучения: предобучения исключительно на данных дистанционного зондирования Земли (мультиспектральных снимках Sentinel-2) и дообучения на данных дистанционного зондирования Земли, размеченных на основании наземных наблюдений в конкретных участках лесных экосистем. Название данной глубокой нейронной сети RS-BERT отражает тот факт, что она построена на основе архитектуры BERT и предназначена для решения задач обработки данных дистанционного зондирования Земли (*Remote Sensing BERT*).

Введем условные обозначения для описания архитектуры нейронной сети, принципов ее работы и обучения. Пусть

$$X = \{\langle O_1, t_1 \rangle, \dots, \langle O_L, t_L \rangle\},$$

где  $O_i \in \langle R^{d_{c1}, s_{c1}^2}, \dots, R^{d_{ck}, s_{ck}^2} \rangle$  означает фрагмент мультиспектрального снимка для момента времени  $t_i$ , состоящий из набора каналов с различным пространственным разрешением. Каналы с одинаковым пространственным разрешением собраны в трехмерные матрицы размером  $c_j$  (количество используемых каналов данного разрешения)  $s_j \times s_j$  (размеры сторон квадрата фрагмента мультиспектрального изображения в пикселях). При этом пространственные размеры фрагментов в метрах идентичны для матриц различного пространственного разрешения.

Метка времени в наборе данных задается в количестве дней от точки отсчета, отстоящей на заданный промежуток (глубину во времени) от первого числа года, в котором находится последний элемент последовательности  $x$ .

Собственно модель RS-BERT состоит из четырех основных компонентов:

- 1) кодировщика, переводящего мультиспектральные данные и метку времени в вектор внутреннего состояния объекта с размерностью ( $r$ );
- 2) нескольких слоев стандартных трансформеров, представляющих ядро архитектуры нейронной сети;
- 3) декодера для формирования мультиспектрального представления из вектора скрытого состояния (используется при обучении без учителя);
- 4) декодера для проекции на ось параметра состояния экосистемы из вектора скрытого состояния (используется при дообучении модели).

Все пары  $\langle O_i, t_i \rangle$  вначале преобразовываются в вектор заданной размерности  $r$  в кодировщике. Здесь пространственно-спектральные данные проходят через фильтр свертки размером  $s_j \times s_j$ , на выходе из которого формируется исходный вектор, подающийся на вход первого слоя трансформера. Он является проекцией из пространственно-спектральных данных объекта в заданный момент времени. Метка времени проходит через синус/косинусное кодирование и конкатенируется с вектором, представляющим пространственно-спектральную характеристику объекта. На выходе кодировщика получается единый начальный вектор характеристики объекта в  $r$ -мерном пространстве. Синус/косинусное преобразование осуществляется согласно выражениям

$$p_{i,2j} = \sin\left(\frac{i}{5844^{2j/d}}\right),$$

$$p_{i,2j+1} = \cos\left(\frac{i}{5844^{2j/d}}\right),$$

где  $i$  – метка времени;  $j$  – элемент вектора на выходе кодировщика положения во временной последовательности; 5844 – основание степенной функции. Размерность вектора на выходе кодировщика временной метки составляет 128. Размерность вектора состояния трансформеров составляет 256.

В испытанной реализации модели пространственный размер фрагмента мультиспектральных данных Sentinel-2 на входе составляет  $320 \times 320$  м, что соответствует входным матрицам размером  $4 \times 32 \times 32$  для четырех каналов с пространственным разрешением 10 м и  $6 \times 16 \times 16$  для шести каналов с пространственным разрешением 20 м.

Исходный вектор проходит через шесть слоев трансформеров, в которых осуществляется взаимодействие между промежуточными векторами скрытого представления данного участка в другие моменты времени. На выходе последнего трансформера формируется  $r$ -мерный вектор скрытого состояния объекта (эмбеддинг), в котором заключается наиболее важная спектрально-пространственно-временная информация о нем. Таким образом, первые два компонента RS-BERT выступают в роли репрезентативной модели. Третий и четвертый компоненты позволяют декодировать представление объекта из эмбеддинга в целевые характеристики.

Трансформер построен по классической схеме. Каждый его блок состоит из двух основных компонентов: множественного внимания (multi-head attention) и двухслойного перцептрона (рисунок). Кроме того, каждый компонент снабжен замыкающей связью и послылой нормализацией. Множественное внимание состоит из  $H$  параллельных элементов внимания, построенных на масштабирующем векторном умножении. Каждый из

этих элементов внимания называется головкой (head). Масштабируемое векторное умножение транслирует вектор запроса ( $Q$ ) и вектор ключ/значение ( $K, V$ ) в выходной вектор:

$$Attention(Q, K, V) = softmax\left(\frac{QK^T}{\sqrt{d_k}}\right)V,$$

где  $d_k$  – размерность векторов запрос/ключ.

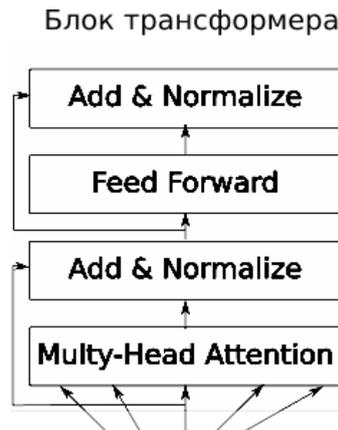


Схема блока трансформера, состоящего в каждом слое из блока мультивнимания (Multy-Head Attention), двухслойного перцептрона (Feed Forward) и двух блоков нормализации и сложения (Add & Normalize). Внутри блока имеются две замыкающие связи

Множественное внимание делает дополнительный шаг. Оно транслирует  $Q, K, V$  в несколько различных подпространств уменьшенной размерности через дополнительные полносвязные слои, а затем полученный результат использует для расчета внимания. Результирующее внимание от  $H$  головок конкатенируется и проецируется в вектор внутреннего состояния на выходе посредством еще одного полносвязного слоя:

$$MultyHead(Q, K, V) = Concat(head_1, \dots, head_h W^o),$$

где

$$head_i = Attention(QW_i^Q, KW_i^K, VW_i^V).$$

Здесь  $W_i^Q, W_i^K, W_i^V$  – матрицы весов соответствующих полносвязных слоев, а  $W^o$  – матрица весов финального полносвязного слоя. В модели RS-BERT  $W_i^Q, W_i^K, W_i^V$  имеют размерность  $m \times v$ , а  $W^o$  –  $v \times m$ . В настоящей реализации модели используются восемь головок внимания ( $H = 8$ ). При размерности вектора внутреннего состояния, равной 256, размерность вектора на выходе каждой отдельной головки внимания составляет  $v = m/8 = 32$ .

Конкатенированный результат внимания проходит через двухслойный перцептрон (FFN), одинаковый для каждой из позиций в последовательно-

сти. Двухслойный персептрон состоит из двух линейных трансформаций с функцией активации ReLU между ними:

$$FFN(x_i) = \max(0, x_i W_1 + b_1) W_2 + b_2,$$

где  $x_i$  – вектор на выходе блока автовнимания,  $W_1$  и  $W_2$  – матрицы весов, а  $b_1$  и  $b_2$  – обучаемые векторы смещения внутреннего и внешнего слоев соответственно. Внутренняя размерность между слоями двухслойного персептрона равняется 1024.

На выходе последнего слоя трансформера формируются векторы скрытого состояния для каждого момента времени. В качестве вектора скрытого состояния экосистемы используется эмбединг для заданного момента времени.

Декодер в мультиспектральное представление объекта преобразует вектор скрытого состояния в каналы мультиспектрального снимка. Он используется для обучения RS-BERT без учителя. С учетом предположения, что для прогноза состояния пространственного фрагмента экосистемы важна информация не только об этом фрагменте, но и о его окружении, пространственный размер мультиспектрального снимка выхода ( $40 \times 40$  м) меньше размера на входе ( $320 \times 320$  м).

Формирование мультиспектрального снимка осуществляется посредством двух слоев транспонированной свертки со сверткой с единичным размером фильтра между ними для приведения количества каналов на выходе модели до количества каналов в мультиспектральном снимке. Пространственное разрешение всех каналов на выходе составляет 10 м. Для расчета среднеквадратичной ошибки с реальными данными каналы с более грубым пространственным разрешением проходят через агрегацию усреднением. Функцией потерь для обучения модели без учителя является среднеквадратичная ошибка между наблюдаемыми и предсказанными данными.

Обучение без учителя производится посредством решения моделью задачи восстановления мультиспектрального представления заданного участка на основании серии предыдущих по времени (в масштабе нескольких лет) мультиспектральных представлений данного участка. Таким образом на этапе предобучения решается задача регрессии с набором выходных значений. Прогнозируемое мультиспектральное представление участка формируется элементом глубокой нейронной сети – мультиспектральным декодером. На вход мультиспектрального декодера подается вектор скрытого представления участка лесной экосистемы в заданный момент времени. По нашей гипотезе, в векторе скрытого состояния закодировано не только мультиспектральное представление участка, но и параметры состояния экосистемы. Извлечение этих параметров состояния, включая коэффициенты перехода радионуклидов, из вектора скрытого состояния может быть произ-

ведено с помощью соответствующих декодеров, являющихся слоями нейронной сети, дообучаемыми впоследствии на размеченных данных.

Декодер параметров состояния экосистемы используется для получения целевого параметра состояния. В настоящей работе на выходе декодера параметра состояния – коэффициент перехода  $^{137}\text{Cs}$  из почвы в неокоренную древесину сосны. Данный компонент состоит из двухслойного персептрона с функцией активации ReLU между ними. На вход декодера подается вектор скрытого состояния последнего элемента в последовательности, генерируемого моделью для заданного времени.

Для обучения модели на обоих этапах использован алгоритм Adam с базовой скоростью обучения 0,0001. В схему обучения добавлен этап разогрева на протяжении 30 эпох и последующее экспоненциальное уменьшение темпа обучения. Для повышения уровня обобщения модели принято решение о включении дропаута в блоки слоев трансформеров. Уровень дропаута составляет 0,1. Дообучение на размеченных данных осуществляется на протяжении 200 эпох. Размер пакета как на этапе предобучения, так и при дообучении составляет 64. При дообучении модели параметры энкодера и слоев трансформера замораживаются (остаются неизменными).

Данные для предварительного обучения модели представляют собой элементы мультиспектральных снимков Sentinel-2 (Level-2A), отобранные в случайных географических позициях в пределах лесных насаждений на территории Полесского государственного радиационно-экологического заповедника. Для каждой из позиций имеется не менее 16 снимков, полученных в течение вегетационных периодов 2017 и 2018 годов. В набор включены снимки, захватывающие период времени от начала до окончания вегетационного периода. В том случае если географическая позиция закрыта облаками, снимок исключался из набора.

Дообучение глубокой нейронной сети RS-BERT для определения коэффициента перехода  $^{137}\text{Cs}$  из почвы в неокоренную древесину сосны осуществлялось на тренировочной выборке, составляющей 60 % от набора данных, собранных на пробных площадках. Аугментация данных осуществлялась посредством отбора фрагментов снимков Sentinel-2 с центрами на расстоянии друг от друга 10 м по широте и долготе и сосредоточенных в 40 м вокруг центра пункта проведения полевых исследований. Кроме того, 15 снимков для подачи на вход модели отбирались рандомизированно из полного набора данных, объем которого для каждой позиции составлял до 50 снимков. Вектор скрытого состояния последнего снимка в последовательности моделировался на дату 15.11.2018 и использовался для подачи в декодер коэффициента перехода.

## Результаты и обсуждение

Обычно прогноз загрязнения древесины техногенными радионуклидами ( $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ) осуществляется на основе типологической принадлежности насаждения (ТЛ) и типа лесорастительных условий по Воробьеву-Погребняку (ТЛУ). Преимуществами такого подхода являются его простота и отсутствие необходимости в проведении дополнительных анализов. Он использован в качестве базовой модели сравнения. Применение среднеарифметических значений коэффициента перехода  $^{137}\text{Cs}$  из почвы в неокоренную древесину сосны с разбивкой по типам леса позволяет сделать прогноз коэффициента перехода с довольно высоким значением среднеквадратичного отклонения (СКО) – 3,951 (таблица). При использовании в качестве параметра модели типа условий произрастания (ТУМ) СКО несколько выше. Комбинация ТЛ и ТУМ в одной модели практически не изменила СКО относительно модели, основанной только на ТЛ.

Показатели точности испытанных эмпирических моделей прогноза накопления  $^{137}\text{Cs}$  в неокоренной древесине сосны

Модель	СКО	Норматив 740 кБк/кг			Норматив 1480 кБк/кг		
		Точность	Полнота	F-мера	Точность	Полнота	F-мера
Среднее по ТЛ	3,951	0,846	0,623	0,718	0,926	0,864	0,894
Среднее по ТУМ	4,013	0,852	0,620	0,718	0,927	0,862	0,893
Среднее по ТМ+ТУМ	3,948	0,845	0,625	0,718	0,926	0,864	0,894
RS-BERT, данные ДЗЗ	<b>2,397</b>	<b>0,862</b>	<b>0,781</b>	<b>0,820</b>	<b>0,942</b>	<b>0,951</b>	<b>0,946</b>

Таким образом, использование для прогноза коэффициента перехода  $^{137}\text{Cs}$  в неокоренную древесину сосны оставляет высокую степень неопределенности результата. Поэтому поиск альтернативных подходов к решению данной задачи является актуальным.

Оценка адекватности обученной модели RS-BERT на тестовой выборке показала, что СКО для коэффициента перехода  $^{137}\text{Cs}$  из почвы в неокоренную древесину составляет 2,397. Это является лучшим результатом среди испытанных методов. Данная модель позволяет получить наиболее надежный прогноз соответствия древесины РДУ/ЛХ-2001 по таким метрикам, как F-мера, точность и полнота.

Следует отметить, что преимуществом использования данных дистанционного зондирования Земли для прогноза параметров накопления радионуклидов лесными насаждениями является не только более высокая точ-

ность, но и отсутствие необходимости в наземном обследовании экосистем и данных лесоустройства. Этот факт актуален для лесных земель на территориях с высокими уровнями радиоактивного загрязнения, где не ведется хозяйственная деятельность, а пребывание человека ограничено исходя из требований радиационной безопасности.

Анализ возможности использования временных серий мультиспектральных спутниковых снимков для прогноза параметров перехода  $^{137}\text{Cs}$  в древесину проведен только для ограниченной территории – Полесского государственного радиационно-экологического заповедника, этапа отдаленных радиоэкологических последствий выброса радионуклидов в окружающую среду и одной породы – сосны. Для более обоснованных выводов необходимо расширить географию исследования и перечень лесных пород. Следующим шагом может стать введение в модель фактора времени после радиоактивных выпадений.

Вместе с тем полученный результат подтверждает предположение о возможности построения модели прогноза коэффициента перехода  $^{137}\text{Cs}$  в древесину сосны на основании только мультиспектральных спутниковых снимков с обработкой в глубокой нейронной сети. При этом точность полученного прогноза оказывается выше прогноза на основании лесотипологических признаков.

#### Список использованных источников

1. Deep learning and process understanding for data-driven earth system science / M. Reichstein [et al.] // *Nature*. – 2019. – Vol. 566, № 7743. – P. 195–204.
2. Evaluating the capabilities of sentinel-2 for quantitative estimation of biophysical variables in vegetation / W. J. Frampton [et al.] // *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing*. – 2013. – Vol. 82. – P. 83–92.
3. Toward global soil moisture monitoring with sentinel-1: Harnessing assets and overcoming obstacles / B. Bauer-Marschallinger [et al.] // *IEEE transactions on geoscience and remote sensing*. – 2019. – Vol. 57, № 1. – P. 520–539.
4. Dynamic world, near real-time global 10 m land use land cover mapping / C. F. Brown [et al.] // *Scientific data*. – 2022. – Vol. 9, № 1. – P. 251.
5. Soilgrids250m: Global gridded soil information based on machine learning / T. Hengl [et al.] // *PLOS One*. – 2017. – Vol. 12, № 2. – P. E0169748.
6. Learned embeddings from deep learning to visualize and predict protein sets / C. Dallago [et al.] // *Current protocols*. – 2021. – Vol. 1, № 5.
7. Ban. Y. Global land cover mapping using earth observation satellite data: Recent progresses and challenges / Y. Ban, P. Gong, C. Giri // *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing*. – 2015. – Vol. 103. – P. 1–6.

8. Effect of attention mechanism in deep learning-based remote sensing image processing: A systematic literature review / S. Ghaffarian [et al.] // *Remote sensing*. – 2021. – Vol. 13, № 15.

9. Yuan, Y. Self-supervised pre-training of transformers for satellite image time series classification / Y. Yuan, L. Lin // *IEEE journal of selected topics in applied Earth observations and remote sensing*. – 2020. – Vol. 14. – P. 474–487.

УДК 004.032.26, 004.8

## О преподавании дисциплины «Нейронные сети»

Д. И. Пирштук

Белорусский государственный университет,

Минск

*E-mail: PirштukDI@bsu.by*

### Введение

Использование глубоких нейронных сетей, особенно с большим количеством параметров, является одним из важнейших современных подходов к обработке различных неструктурированных данных, таких как изображения, тексты, речь. Вклад современных нейросетевых моделей в научно-технический прорыв последних 10 лет в компьютерном зрении в различных областях, машинном понимании естественного языка, построении диалоговых вопрос-ответных систем оказался настолько значительным, что нейронные сети в представлении многих людей и вовсе ошибочно стали отождествляться с искусственным интеллектом в целом. В условиях распространения большого количества аппаратных и программных средств для сбора и интеллектуальной обработки значительного объема разнообразных данных важно правильное знакомство студентов с современными основами машинного обучения, нейронными сетями, создание необходимой теоретической базы и формирование практических навыков для применения алгоритмов анализа данных в прикладных задачах.

В работе рассмотрен личный опыт преподавания автором дисциплины «Нейронные сети» [1] для студентов магистратуры профилизации «Алгоритмы и системы обработки больших данных», спецкурса «Машинное обучение и анализ данных» [2] для студентов 3-го курса специальности «Информатика» и научно-исследовательского руководства студентами кафедры дискретной математики и алгоритмики на факультете прикладной математики и информатики БГУ с 2019 года по настоящее время.

### О дисциплинах

Целями курса «Машинное обучение и анализ данных», предлагаемого студентам 3-го курса в 5-м семестре, являются [2]:

1. Изучение теоретических основ машинного обучения и алгоритмов, обучаемых на данных.

2. Умение выполнять исследовательские циклы анализа данных: выдвижение гипотез, визуализацию, выбор подходящих алгоритмов, обучение моделей, оценку качества и интерпретацию полученных результатов.

3. Формирование навыков решения прикладных задач на реальных данных при помощи алгоритмов обучения с учителем.

Среди тем, относящихся к нейронным сетям, в курс входят:

1. Общее понятие об искусственных нейронных сетях.
2. Линейная и логистическая регрессии. Модель перцептрона.
3. Многослойные сети прямого распространения.
4. Метод обратного распространения ошибки. Стохастический градиентный спуск. Пакетная нормализация.

5. Проблема затухающего градиента и различные функции активации, ее решающие.

6. Современные сверточные нейронные сети и глубокое обучение.

7. Программные средства для обучения нейронных сетей.

Курс для магистрантов «Нейронные сети» дополнительно включал в себя такие темы, как рекуррентные нейронные сети, seq2seq-архитектуры для обработки последовательностей, сети с механизмом внимания, глубокие нейронные сети для обработки естественных языков, генеративно-состязательное обучение нейронных сетей и вариационные автокодировщики.

В качестве основных учебных пособий использовались книги [3, 4].

### **Используемые технические средства**

Для лабораторных практикумов используется язык программирования Python. Вводные лабораторные работы, предполагающие знакомство с моделями нейрона, слоя нейронов, перцептрона, автоматическим дифференцированием, алгоритмом обратного распространения ошибки, требуют от студентов самостоятельной реализации базовых операций с использованием библиотеки для работы с многомерными массивами NumPy. Для обучения более сложных нейронных сетей в остальных заданиях студентам рекомендовалось использовать готовые библиотеки Tensorflow/Keras и PyTorch.

Обучение современных глубоких нейронных сетей фактически невозможно без использования GPU-ускорителей или специальных процессоров для тензорных вычислений. Для выполнения лабораторных работ студентам предлагалось использовать облачные вычисления на платформе Google Colab [5], которая предоставляет собой условно бесплатный облачный Jupyter Notebook с возможностью вычисления на графических и тензорных процессорах.

К плюсам платформы Google Colab можно отнести:

1. Готовое настроенное Python-окружение с уже установленными библиотеками NumPy, Tensorflow, Keras, PyTorch, включая дополнения TorchVision, TorchAudio, TorchText, а также OpenCV, transformers и многие другие.

2. Возможность использовать видеокарту Nvidia Tesla T4 [6] с 15 Гб памяти и вычислительной способностью до 8 терафлопсов в режиме обычной точности FP32 и до 65 терафлопсов в режиме половинчатой точности FP16 на специальных тензорных ядрах.

3. Использовать тензорные процессоры (TPU) Google второго поколения для вычислений на фреймворке Tensorflow/Keras с теоретической вычислительной способностью до 180 терафлопсов, но во многих задачах такого ускорения может и не быть, так как много времени может занимать пересылка данных на TPU.

Без использования GPU как универсального простого ускорителя обучения нейронных сетей преподавание глубокого обучения фактически невозможно. Так, например, обучение сети из примера [7] занимает в облаке на CPU, GPU и TPU 31 ч, 18 мин и 33 ч соответственно.

К минусам Google Colab стоит отнести следующее:

1. Бесплатные вычислительные ресурсы не гарантированы. В случае высокого спроса в бесплатных облачных вычислениях может быть отказано.

2. Вычисления будут прерваны в случае разрыва интернет-соединения между клиентом (веб-интерфейсом Google Colab в браузере) и сервером, в том числе в случае ухода компьютера-клиента в сон.

3. Вычисления будут прерваны принудительно спустя 12 ч работы.

4. Более мощные модели GPU, которые особенно актуальны при работе с современными большими моделями, доступны только по подписке за дополнительную плату.

Возникает вопрос, для решения каких задач достаточно возможностей, предоставляемых Google Colab? Опыт показывает, что их вполне достаточно для быстрого выполнения разумно разработанных задания для лабораторного практикума, о чем речь еще будет идти ниже, но не всегда достаточно для исследования некоторых возможных тем курсовых и дипломных работ в области исследования генеративных нейронных сетей, языковых моделей.

Для выполнения и оценки конкурсных заданий дополнительно использовалась платформа <https://kaggle.com/>, которая также предоставляет возможность применять свои GPU-ресурсы для обучения моделей в рамках организуемых на данном сайте конкурсов по машинному обучению и работы с размеченными там публичными наборами данных для анализа. Квота на использования GPU – 30 ч в неделю [8].

Для выполнения курсовых и дипломных работ студенты БГУ также получали грант на облачные вычислительные GPU-ресурсы платформы Yandex DataSphere [9], являющейся аналогом Google Colab, в рамках программы содействия образованию и науке в области компьютерных наук компании Яндекс [10]. Однако размера предоставляемого гранта хватает лишь для достаточно небольшого по меркам современных нейронных сетей количества арендного машинного времени, что позволяет в основном экспериментировать с небольшими моделями или проводить только небольшое количество вычислительных экспериментов с большими моделями. Поэтому наличие у университетов собственной инфраструктуры для GPU-вычислений, доступной студентам для выполнения курсовых и дипломных работ, позволило бы преподавателям предлагать для исследования прикладные задачи, требующие в том числе обучения нейронных сетей с большим количеством параметров.

### Лабораторный практикум и его особенности

Многие лабораторные работы проводятся в форме конкурса на обучение самой точной модели в форме Kaggle. Оценка студента состоит из нескольких частей:

1. Базовый балл за реализацию процедуры обучения нейронной сети, удовлетворяющей описанным в задании минимальным требованиям.
2. Баллы за ответы на контрольные вопросы, такие как, например, полезность слоя пакетной нормализации для улучшения градиентного спуска, с выводами, подкрепленными результатами вычислительных экспериментов.
3. Баллы за точность предсказания согласно метрике.
4. Поощрительные баллы лучшим трем-пяти студентам за разработку самых лучших моделей среди предложенных в группе в соответствии с турнирной таблицей точности прогнозов на тестовой выборке.

Наличие состязательного элемента повышает мотивацию студентов к более глубокому анализу предложенных задач, планированию и анализу вычислительных экспериментов, поиску и использованию дополнительных источников, а также повышает интерес к изучению дисциплины в целом.

Рассмотрим примеры некоторых конкурсных лабораторных работ, предлагавшихся студентам.

*Классификация рукописных символов Extended MNIST* [11]. Этот набор данных является усложненным вариантом классического набора данных рукописных цифр MNIST и содержит около 814 тысяч примеров изображений  $28 \times 28$  пикселей в оттенках серого, относящихся к 62 классам – по 26 строчных и прописных букв латинского алфавита, а также 10 арабских цифр. Такой набор данных хорошо подходит для одной из первых работ по следующим причинам:

1. Доступность и простота базового решения. Любой демонстрационный пример для набора данных MNIST в принципе подойдет и для набора данных Extended MNIST.

2. Классы в этом наборе данных в отличие от MNIST не являются сбалансированными, причем некоторые классы достаточно сильно похожи друг на друга. Например, рукописные «v» / «u», «D» / «O» / «o» / «0», «C» / «с» / «е», «q» / «g» / «у» и др.

Таким образом, набор Extended MNIST является более сложным для классификации и более интересным для наиболее сильных и заинтересованных в дисциплине студентов, чем обычный набор данных MNIST, оставаясь при этом по-прежнему полезным и вполне доступным для всех остальных студентов группы. Студенты могут искать и применять многочисленные научные работы, использующие набор данных MNIST, в том числе самостоятельно изучать различные подходы к нейросетевым архитектурам, идя от самых простых к современным, в поиске лучшего решения для Extended MNIST для победы в конкурсе.

*Выявление пневмонии по рентгеновскому снимку грудной клетки.* Студентам предлагалось поработать над задачей бинарной классификации на рентгеновских снимках из набора данных [12]. Требовалось:

1. Подготовить набор данных для обучения.
2. Выбрать и применить алгоритмы аугментации данных, исходя из специфики предметной области задачи.
3. Выбрать сверточную нейронную сеть какой-нибудь архитектуры, визуализировать ее с помощью программы Netron [13].
4. Оценить количество параметров и операций сложения и умножения, требуемых для ее использования, обучить модель и оценить качество.

Для уменьшения времени выполнения лабораторных работ по сверточным нейронным сетям в Google Colab студентам рекомендовалось использование своих архитектур на базе сепарабельных сверток или дообучение готовых небольших архитектур, таких как MobileNetV2, MobileNetV3, EfficientNet, DenseNet, NASNet, изначально разработанных и отчасти экспериментально автоматически подобранных как быстрые и довольно точные на классификации набора данных ImageNet. Количество параметров, вычислительных операций, равно как и время обучения, у них на порядок меньше, чем в популярных классических архитектурах (рис. 1). Для решения задач обработки текстов аналогично могут быть полезны легковесные архитектуры MobileBERT [14], ruBERT-tiny [15].

Заметим, что данные архитектуры подбирались для возможности эффективного использования нейронных сетей в прикладных задачах на потребительских устройствах, таких как ноутбуки и смартфоны, включая задачи компьютерного зрения для дополненной реальности в режиме видео-

потока в реальном времени, но это оказывается весьма полезно также при обучении нейронных сетей за ограниченное время выполнения лабораторной работы на ресурсах Google Colab.

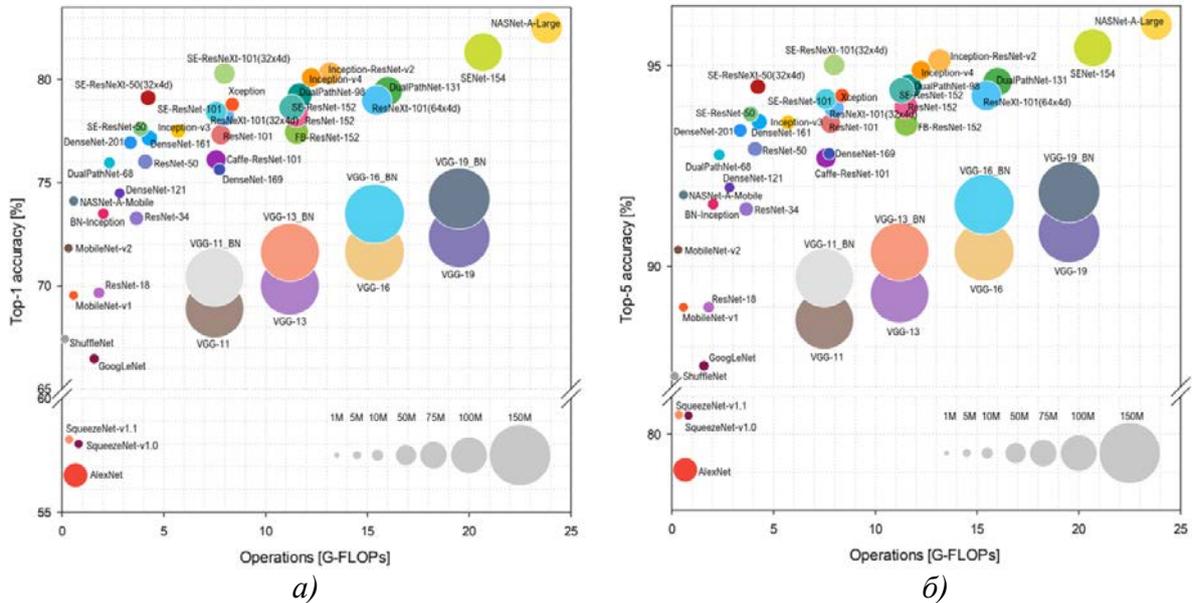


Рис. 1. Пузырьковые диаграммы, показывающие точность некоторых популярных архитектур для классификации набора данных ImageNet по метрикам top-1 (а) и top-5 (б) ассурасу в зависимости от вычислительной сложности признаков [16]

*Сегментация птиц в естественной среде.* Студентам предлагалось поработать над задачей бинарной сегментации [17]. Требовалось реализовать обучение U-Net подобной архитектуры с кодировщиком на основе какой-нибудь из упомянутых на рис. 1 легких архитектур с инициализацией параметров этого кодировщика предобученными на ImageNet значениями весов.

Последняя лабораторная работа проводилась в формате командного хакатона по теме «Современные методы глубокого обучения» с использованием проектного метода обучения. Среди задач, предложенных студентам в разные годы, в том числе были:

1. Быстрое вычисление ключевых точек лица человека на фотографии.
2. Автоматическая модерация отзывов о работодателе на сайте <https://hh.ru>.
3. Восстановление возраста клиента банка по его транзакциям.
4. Категоризация новостей на португальском языке.
5. Генерация заголовка научной статьи по ее аннотации.

Отметим, что мы стараемся использовать в образовательном процессе именно реальные наборы данных, следуя практико-ориентированному подходу, для лучшего усвоения всех стадий прикладного анализа данных по методологии Cross-Industry Standard Process for Data Mining (CRISP-DM, рис. 2) [18].

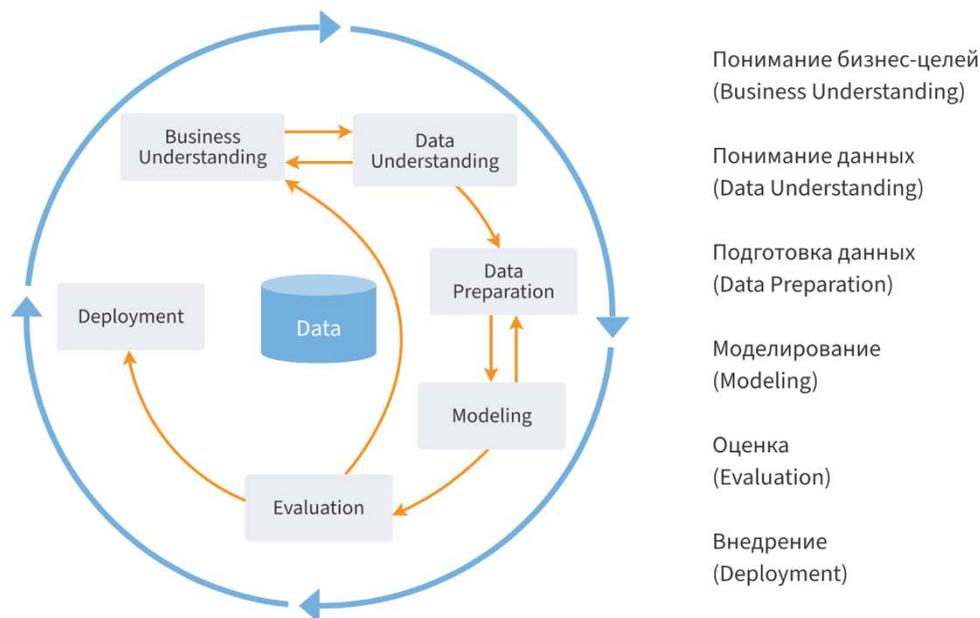


Рис. 2. Методология CRISP-DM [18]

Неаккуратное выполнение стадий понимания бизнес-целей, данных, сопоставления целей с данными, подготовки данных, предшествующих непосредственно самому моделированию, на практике приводит к неправильному выбору метрик, к искаженным результатам или попытке решить некорректную задачу. Примером такой ошибки на практике может служить следующая ситуация. Банк никогда ранее не рассматривал кредитные заявки от безработных. При внедрении новой модели кредитного скоринга на основе нейронных сетей, обученной на исторических данных банка о возвращенных и невозвращенных займах, старые ограничения были отменены и на оценку кредитоспособности стали поступать в том числе и анкеты безработных. Такое смещение в обучающих данных, очевидно, привело к негативным последствиям на новой генеральной совокупности, хотя должно было быть выявлено на стадии понимания данных.

Приведем еще один пример. Модель сегментации человека на изображении, обученная на наборах популярных данных PASCAL-VOC или MS-COCO, будет плохо работать для виртуальной замены фона при видеозвонке, так как между изображениями в этих наборах данных и кадрами из видеозвонка с веб-камеры есть большая разница в масштабе человека, позе, доле тела в кадре, в освещении, шумах камеры и т. д. Поэтому указанные наборы данных могут использоваться для предварительного обучения, но в план решения задачи обязательно должна быть включена стадия доменной адаптации сегментационной нейронной сети под кадры, приходящие с веб-камеры. В том числе, возможно, должны быть использованы какие-нибудь специальные аугментации данных и иные подходы.

Поэтому для формирования навыков практического решения задач интеллектуального анализа данных мы стараемся использовать понятные студентам реальные наборы данных, чтобы студенты на примере предлагаемых заданий в том числе понимали, что такое смещение выборки, выбросы и шумы в данных, неточности в разметке, важность первичного анализа данных, учились составлять моделирование и т. д.

### Заключение

Рассмотрен опыт преподавания нейронных сетей для студентов факультета прикладной математики и информатики БГУ. Отмечено следующее:

1. Проведение лабораторных работ в форме конкурсов повышает мотивацию студентов к более глубокому анализу предложенных задач, планированию и анализу результатов вычислительных экспериментов, поиску и использованию дополнительных источников, а также повышает интерес к изучению дисциплины в целом. Приведены конкретные примеры конкурсных заданий.

2. Использование легковесных сверточных архитектур с инициализацией параметров значениями весов, предобученными на наборе данных ImageNet, более предпочтительно в условиях выполнения лабораторных работ в ограниченное время на ограниченных вычислительных ресурсах.

3. Использование современных легковесных архитектур на реальных данных практических задач полезнее для подготовки специалистов, чем обучение классических сетей на модельных данных.

4. Наличие у университетов собственной инфраструктуры для GPU-вычислений позволило бы предлагать для исследования студентам больше актуальных прикладных задач, требующих обучения нейронных сетей с большим количеством параметров, таких как современные языковые нейросетевые модели, и повысило бы уровень подготовки студентов, специализирующихся в области искусственного интеллекта.

### Список использованных источников

1. Пирштук, Д. И. Нейронные сети. № УД-6779/уч. : учеб. программа [Электронный ресурс] / Д. И. Пирштук. – Минск : БГУ, 2019. – 12 с. – Режим доступа: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/228665>. – Дата доступа: 30.09.23.

2. Пирштук, Д. И. Машинное обучение и анализ данных. № УД-9927/уч. : учеб. программа [Электронный ресурс] / Д. И. Пирштук. – Минск : БГУ, 2021. – 14 с. – Режим доступа: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/270017>. – Дата доступа: 30.09.23.

3. Николенко, С. Глубокое обучение. Погружение в мир нейронных сетей / С. Николенко, А. Кадурич, Е. Архангельская. – СПб. : Питер, 2018. – 480 с.

4. Шолле, Ф. Глубокое обучение на Python / Ф. Шолле. – СПб. : Питер, 2018. – 400 с.
5. Google Colab [Electronic resource]. – Mode of access: <https://colab.google>. – Date of access: 27.09.2023.
6. Nvidia Tesla T4 Specification [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.techpowerup.com/gpu-specs/tesla-t4.c3316>. – Date of access: 27.09.2023.
7. Image Captioning [Electronic resource]. – Mode of access: [https://keras.io/examples/vision/image\\_captioning](https://keras.io/examples/vision/image_captioning). – Date of access: 27.09.2023.
8. Kaggle: Weekly Maximum GPU Usage [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.kaggle.com/discussions/general/108481>. – Date of access: 27.09.2023.
9. Yandex DataSphere – среда ML-разработки полного цикла [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cloud.yandex.ru/services/datasphere>. – Дата доступа: 27.09.2023.
10. Программа содействия образованию и науке в области Computer Science [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cloud.yandex.ru/datasphere-education-program>. – Дата доступа: 27.09.2023.
11. The EMNIST Dataset [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.nist.gov/itl/products-and-services/emnist-dataset>. – Date of access: 27.09.2023.
12. Large Dataset of Labeled Optical Coherence Tomography (OCT) and Chest X-Ray Images [Electronic resource]. – Mode of access: <https://data.mendeley.com/datasets/rsbjbr9sj/3>. – Date of access: 27.09.2023.
13. Netron [Electronic resource]. – Mode of access: <https://github.com/lutzroeder/netron>. – Date of access: 27.09.2023.
14. MobileBERT: a Compact Task-Agnostic BERT for Resource-Limited Devices / Z. Sun [et al.] // Proceedings of the 58th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (Online). – 2020. – P. 2158–2170.
15. Маленький и быстрый BERT для русского языка [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/articles/562064>. – Дата доступа: 27.09.2023.
16. Benchmark Analysis of Representative Deep Neural Network Architectures / S. Bianco [et al.] // IEEE Access. – 2018. – Vol. 6, iss. 1. – P. 64270–64277.
17. EE4211 course project: segmentation task [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.kaggle.com/competitions/ee4211-seg>. – Date of access: 27.09.2023.
18. Методология CRISP-DM [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://wiki.loginom.ru/articles/crisp-dm.html>. – Дата доступа: 27.09.2023.

УДК 528.88; 235.41

## **Разработка системы дистанционного лесопатологического мониторинга с использованием беспилотных летательных аппаратов и искусственного интеллекта автоматической детекции полученных материалов съемки**

**А. Р. Понтус** , М. Л. Романова  
Институт экспериментальной ботаники НАН Беларуси,  
Минск  
*E-mail: par2004@yandex.by*

**Ю. С. Давидович**  
Белорусский государственный университет,  
Минск  
*E-mail: seg98001@gmail.com*

**В. Л. Дольский**  
Центральный ботанический сад НАН Беларуси,  
Минск  
*E-mail: office@cbg.org.by*

**И. П. Аниськов**  
Научно-производственный центр многофункциональных  
беспилотных комплексов НАН Беларуси,  
Минск  
*E-mail: anisavia@gmail.com*

Для эффективного ведения лесного хозяйства необходимо оперативно получать текущую информацию о состоянии лесных массивов, подвергающихся воздействию стихийных и антропогенных факторов (лесные пожары, поражения вредителями, ветровалы, буреломы, вырубки) и постоянному контролю за лесопользованием. Помимо этого, требуется систематически осуществлять таксирование лесов. Как правило, эти работы проводятся планомерно с применением штатных средств, в том числе малой авиации и космического мониторинга. Для эффективного лесопатологического мониторинга текущего состояния лесов возможно сочетание методов сегментации изображений, полученных БЛА в режиме текущего времени, и методов глубокого обучения. В частности, авторами показана эффективность использования пяти современных архитектур нейронных сетей на основе U-Net, чтобы решать задачи скорости сегментации степени раннего ослабления хвойных насаждений на ортофотоплане. Обучение, а также оценка

эффективности нейросетевых моделей проводились на основе данных, полученных лесопатологической службой ГЛХУ «Минский лесхоз», а также данных, полученных с помощью БАС «Гексакоптер-1» на территории Минского лесхоза за 2021–2023 годы. Съёмка осуществлялась на мультиспектральную камеру МСПК-40 и гиперспектральную камеру ГПСК-140. В результате было получено более 12 тысяч изображений территорий лесхоза, общая площадь которых составляет около 640 га. На каждом тестовом участке было расположено по четыре-шесть калибровочных площадок с известным патогеном и текущим уровнем эколого-функционального состояния хвойных насаждений. Снимки этих участков использовались для обучения моделей нейронных сетей (U-Net, Attention U-Net, R2-UNet, Attention R2-Unet и U-Net3+). Также в наших исследованиях были проведены эксперименты по оценке влияния выбора комбинации каналов снимков (RGB, RedEdge, NearIR и NDVI) на точность рассматриваемых методов сегментации мульти- и гиперспектральных изображений.

Традиционные снимки, получаемые, например, RGB или NIR-сенсорами, доказали свою полезность во многих областях сельского и лесного хозяйства. Тем не менее, говоря о ранней диагностике эколого-функционального состояния растительности (как лесной, так и сельскохозяйственной), таким снимкам не хватает спектрального диапазона (особенно в средней и дальней части электромагнитного спектра) и их точного геопозиционирования для корректной классификации и диагностики идентифицируемых объектов растительного мира, которую могут обеспечить только гиперспектральные сенсоры. Этот вид сенсоров высокого разрешения вначале использовался на спутниках, а затем на пилотируемых самолетах, которые оказались достаточно дорогими в эксплуатации и обслуживании. В последнее время беспилотные летательные аппараты (БПЛА) стали очень популярным и экономически эффективным средством для дистанционного зондирования и мониторинга растительного покрова, так как они способны нести малогабаритные и легкие по весу сенсоры.

Для расчета и дальнейшей визуальной оценки информативности вегетационных индексов в целях дифференциации породного состава лесной растительности были рассчитаны спектральные индексные показатели (DVI, Simple Ratio, TSR, NDVI, TNDVI, ARVI, EVI), различающиеся по сложности вычисления. В ходе визуального анализа результирующих изображений расчета индексов установлено, что наилучшими индексными показателями при дифференциации растительности по породному составу на уровне отдельных выделов по данным Sentinel-2 является расширенный индекс озелененности EVI.

Классификация изображений является важной частью дистанционного зондирования, анализа изображений и распознавания образов. Из воз-

можных вариантов контролируемой классификации был выбран метод расстояний Махаланобиса. На основе данных выполненной классификации была составлена и оформлена карта-схема породного состава лесной растительности на территории ГЛХУ «Минский лесхоз».

Развитие гиперспектральных цифровых технологий постоянно приводит к созданию все меньших по габаритам и легких сенсоров, которые в настоящее время могут быть установлены на БПЛА для научных и производственных (коммерческих) целей. Способность гиперспектральных сенсоров вести съемку в сотнях спектральных каналах (полос) увеличивает сложность их тематической обработки и интерпретации при дешифрировании огромного количества полученных данных. Дальнейшие шаги относительно обработки гиперспектральных данных должны выполняться в направлении поиска и получения соответствующей опорной (эталонной) информации, которая обеспечивает своевременные меры реагирования в лесоводственные, лесохозяйственные и агротехнические процессы.

АФС проводилась в соответствии со следующими технологическими этапами:

1. Проверка погодных условий (осадков, скорости ветра), а также выбор лучшей даты для съемки.

2. Подготовка техники: зарядка и заправка генератора, зарядка аккумуляторов (для RTK (Real time kinematics – система кинематического позиционирования в реальном времени) для беспилотных воздушных средств всех типов, проверка камеры, отгрузка.

3. Выезд полетной группы на полигон, развертывание оборудования беспилотного авиационного комплекса, выбор точек посадки и взлета, калибровка мультиспектральной камеры.

4. Создание плана полета в программе Geoscan Planner на основе картографической основы Google Maps (OSM), выбор основных параметров съемки: высоты полета, скорости БАС, пространственного разрешения съемки и т. д.

5. Запуск дрона и управление полетом.

6. Посадка дрона, калибровка мультиспектральной камеры, сохранение аэрофотоснимков и создание геопривязанных файлов.

7. Сборка оборудования, отъезд полетной группы, разгрузка в офисе, перевод комплекса в режим Storage.

За 2021–2023 годы было собрано более 15 000 снимков с пространственным разрешением 2–6 см/пк. Полученные результаты обрабатывались в программе Agisoft Metashape: загрузка снимков одного тестового участка за один полет, поиск изображений калибровочной панели для камеры, совмещение изображений, построение плотного облака точек и ортофотоплана.

В результате было построено 10 детальных ортофотопланов, каждый из которых состоит из пяти слоев (красного, зеленого, синего, ближнего инфракрасного и дальнего красного). Для улучшения качества набора данных авторы дополнительно обработали их в бесплатной программе SAGA GIS:

– все слои были нормализованы с помощью инструмента Calculator-Grid normalization;

– в качестве шестого слоя была построена карта NDVI с использованием инструмента Vegetation index NDVI;

– в качестве седьмого слоя был создан shape-слой с помощью инструмента Create shape, где отдельно выделялись тестовые участки и в качестве атрибутов записывались данные о текущем состоянии фотосинтетического аппарата тестовых древостоев и их основных показателей стрессоустойчивости.

В результате исходный набор данных был расширен до семи слоев в каждом ортофотоплане.

Получение размеченных данных для обучения нейронных сетей – трудоемкий процесс, поскольку метки требуются для всего сельскохозяйственного поля. Эту проблему можно было бы решить, равномерно покрыв все поле датчиками для сбора агрофизических данных о почве. Однако это дорогое решение, так как размеры полей могут быть значительными. Для минимизации расходов авторы статьи разработали процедуру генерации синтетических данных. В ее основе лежит гипотеза о том, что азот распределяется по полю случайным образом, при этом его содержание на участках может быть высоким и низким. Процедура состоит из следующих шагов:

Шаг 1. Из ортофотоплана извлекаются изображения тестовых участков.

Шаг 2. Снимки, принадлежащие одному и тому же каналу, смешиваются, чтобы создать, во-первых, изображения для оценки производительности модели после обучения и, во-вторых, изображения для генерации набора данных. Смешение происходит путем замены каждой второй строки строкой другого изображения того же канала.

Шаг 3. Случайным образом выбирается одно из исходных изображений с полученными данными физиолого-биохимических исследований.

Шаг 4. Выбирается другое исходное изображение, но с другим уровнем азота, которое затем смешивается с первым с использованием случайно сгенерированной маски, содержащей 3–6 фрагментов тестового участка, для имитации случайного распространения стволовых вредителей.

Шаг 5. Все шесть исходных изображений выбираются и смешиваются в одно, чтобы имитировать поле за пределами тестовых зон с неизвестным текущим уровнем эколого-функционального состояния хвойных насаждений.

Необходимо отметить, что как мульти-, так и гиперспектральные изображения имеют большой потенциал для перехода на совершенно новый

уровень исследований при организации и ведении мониторинга лесного покрова и сельскохозяйственных культур. Например, можно оценить показатели продуктивности и стресса как в сельскохозяйственных, так и в лесных экосистемах, которые могут быть получены путем измерения индекса фотохимического отражения (PRI), основанного на узкополосном поглощении ксантофильных пигментов в диапазонах 531 и 570 нм. Однако при этом более высокое спектральное разрешение присутствует в гиперспектральных данных дистанционного зондирования узкополосного спектрального состава, которое невозможно достичь при использовании мультиспектральных данных. Таким образом, гиперспектральные данные имеют большие возможности для узкого профилирования материалов и получаемых соответствующих конечных результатов за счет его почти непрерывных спектров. С одной стороны, они охватывают спектральные особенности, которые могут пройти незамеченными в мультиспектральных данных из-за их дискретного и разреженного характера. Например, так называемый «красный край» (RE, 670–780 нм) недоступен для широкополосного сенсора, но дает исчерпывающую характеристику (на дату съемки) содержания хлорофилла в листьях, фенологического состояния и наличия (отсутствия) так называемого растительного стресса – параметров, которые четко проявляются в этом спектральном диапазоне. С другой стороны, гиперспектральные данные обладают способностью идентифицировать некоторые компоненты растительного покрова, которые могут быть неправильно сгруппированы по мультиспектральным каналам (полосам). Как правило, при использовании БПЛА требуется наличие и взаимодействие нескольких взаимосвязанных технических устройств: наземного пункта управления (НПУ) и связи, пилотажно-навигационного комплекса (ПНК) для выполнения полетных заданий БПЛА, полевого пункта обработки поступающей информации (ППОИ). При обработке гиперспектральных данных необходимо выполнить ряд технологических этапов: 1) получение гиперспектрального изображения; 2) калибровка полученных гиперспектральных изображений; 3) спектральная (пространственная) обработка полученных данных (получение так называемого спектрального гиперкуба); 4) уменьшение размерности и получение селективных гиперспектральных каналов; 5) тематическое дешифрирование на основе обучающих (эталонных) спектральных сигнатур-библиотек гиперспектральных изображений (анализ, классификация, обнаружение и т. д.).

В работе широко использовались вегетационные индексы (VI), рассчитываемые при тематической обработке гиперспектральных изображений, что позволило проанализировать и оценить эколого-функциональное состояние хвойных насаждений, находящихся на территории ГЛХУ «Минский лесхоз» (Волмянское и Станьковское лесничества) по индексу площади хвои/листьев (LAI) с оценкой их биофизических, физиологических

и биохимических параметров. Авторами были установлены и классифицированы как широкие, так и узкие спектральные селективные полосы для полученных гиперспектральных данных. Кроме того, рассчитывался индекс коэффициента поглощения хлорофилла (CARI), индекс «зелености» (GI), индекс вегетации зелени (GVI), модифицированный индекс коэффициента поглощения хлорофилла (MCARI), модифицированный индекс нормализованной разности вегетации (MNDVI), простое соотношение (SR), включая узкополосные варианты (1–4 нм), трансформированный индекс коэффициента поглощения хлорофилла (TCARI), треугольный индекс растительности (TVI), модифицированный коэффициент стресса растительности (MVSR), модифицированный индекс почвенной растительности (MSAVI) и фотохимический индекс отражения (PRI).

Необходимо отметить, что вегетационные индексы (VI) широко используются при тематической обработке гиперспектральных данных для оценки чувствительности VI к коэффициенту LAI. Модифицированные версии TVI и MCARI оказались лучшими для прогнозирования зеленого цвета в LAI. Выполненная авторами оценка состояния хвойных насаждений указала на то, что PRI является одним из наиболее чувствительных к каротиноидам и хлорофилл-каротиноидным соотношениям. Индекс TCARI в сочетании с широкополосным индексом, известным как оптимизированный индекс растительности с поправкой на почву (OSAVI), был наиболее подходящим для оценки величины индекса текущих изменений ( $C_{ab}$ ) на агрегированных и чистых пикселях сосновых средневозрастных насаждений, подверженных воздействию корневой губки. Гиперспектральные данные, полученные в течение вегетационного периода с использованием БПЛА «Гексакоптер-1», оснащенного гиперспектральной камерой ГПСК-120, при съемке хвойных лесов, были использованы для разработки технологии диагностики усыхания лесов на ранней стадии с различными комбинациями вегетационных индексов (VI), результатом которых стал вывод, что комбинации различных вегетационных индексов наиболее информативны в красной и ближней инфракрасной области электромагнитного спектра. Комбинация индексов TCARI / OSAVI оказалась весьма информативной для картирования концентрации каротиноидов фотосинтетического аппарата хвойных насаждений, который характеризует ослабление эколого-функционального состояния хвойных насаждений уже на ранней стадии. Что касается оценки содержания хлорофилла, то индексы SR и SR2 являются наилучшими для оценки текущего эколого-функционального состояния растительного покрова (на дату съемки). Также по результатам работ можно сделать вывод, что индекс MSAVI является весьма информативным из всех VI и тесно связан с оценкой LAI на разных фенологических стадиях развития растительного покрова.

В заключение необходимо отметить, что большое внимание авторами было уделено разработке и адаптации имеющегося программного обеспечения (ПО) для обработки гиперспектральных данных. В результате работ был апробирован бесплатный вариант с открытым исходным кодом – модуль Spectral Python (SPy), который выпущен под общедоступной лицензией GPL. Кроме того, может быть рекомендован также программный модуль Hyperspectral Python (HypPy), который работает с форматом файлов пакета ENVI. Еще один вариант – Hyperspectral Image Analysis Toolbox (HIAT), который состоит из набора функций для анализа гиперспектральных и мультиспектральных данных в среде Matlab, и бесплатный пакет MultiSpec.

Преобразование выборки в формат, необходимый для обучения моделей, включало ее представление в виде тайлов размером  $256 \times 256$  пикселей. Каждый тайл содержит целевую маску и набор входных признаков. Для предотвращения переобучения моделей использовалась аугментация изображений, а именно геометрические преобразования (поворот, зеркальное отображение и др.). С этой же целью были добавлены слои дропаута.

Полученная обучающая выборка была использована для обучения двух моделей машинного обучения: попиксельного классификатора Random Forest и сверточной нейронной сети архитектуры U-net, с помощью которых было построено семь ортофотопланов. Из них авторы смогли извлечь порядка 60 эталонных обучающих изображений: из которых 30 были использованы для оценки производительности нейросетевой модели и еще 30 – для создания набора обучающих данных.

В результате были созданы два обучающих и два оценочных набора: один для тестового участка № 12, расположенного на территории Станьковского лесничества Минского лесхоза (С. мшистый, 70–80 лет, кв. 8, выд. 7,2, площадь 1,2 га), другой, № 13, расположен в Волмянском лесничестве (Е. кисличник, 60–70 лет, кв. 15, выд. 27, площадь 1,2 га). Соответственно, обучались две нейросетевые модели. Каждый набор данных для обучения содержит 12 000 случайно сгенерированных изображений, а для эколого-функциональной оценки – 30 изображений.

Чтобы разработать готовый к машинному обучению набор данных, авторы сначала случайным образом сгенерировали 12 030 изображений таким образом, чтобы каждое имело шесть различных уровней текущего эколого-функционального состояния. Во время обучения были использованы дополнительные методы увеличения данных, такие как вращение, горизонтальное отражение, сдвиг по ширине и высоте.

Как уже было сказано, исследователи разделили коллекцию изображений на два набора: 12 030 снимков для обучения и 30 для оценки. Чтобы улучшить данный процесс и избежать переобучения, они использовали адаптивное обучение и методы ранней остановки. Если производитель-

ность нейросетевой модели не улучшалась, скорость обучения умножалась на 0,15. Максимальный номер эпохи был установлен на 100, но модель прекращала работу, если за четыре попытки улучшения не наблюдались.

Затем исследовалось применение пяти сверточных нейронных сетей: U-Net, Attention U-Net, R2U-Net, Attention R2U-Net и U-Net3+. Базовая модель для всех – U-Net.

Так, в рамках эксперимента с размером (количеством) батчей (эталонных обучающих объектов), т. е. с количеством изображений, подаваемых в нейронную сеть за один прямой проход, выяснилось, что этот параметр влияет на конечный результат. Настройка производилась вручную путем обучения с разными размерами и оценки результата. Для эксперимента были выбраны следующие размеры батчей: 5, 25 и 50. Для обучения моделей использовались диапазоны RGB, NearIR и NDVI.

Количественные результаты оценки эффективности моделей, обученных для тестового участка № 12, показали следующую закономерность: чем больше размер батча, тем выше производительность.

При размере батча 5 лучшими моделями являются Attention R2U-Net (t3), U-Net3+ с глубоким контролем и R2U-Net (t3), при размере батча 25 – U-Net3+ с глубоким контролем, Attention R2U-Net (t2) и R2U-Net (t2), при размере батча 50 – R2U-Net (t4), U-Net3+ с глубоким контролем и Attention R2U-Net (t2).

Результаты оценки эффективности моделей, обученных для тестового участка № 13, показали противоположную зависимость: производительность была лучше при меньшем размере батча.

В итоге среди всех моделей Attention R2U-Net (t2) оказалась более устойчивой и надежной для разных видов культур (точность 97,59–99,96 %). В качестве универсального размера батча (для разных типов агроландшафтов) для предлагаемой модели рекомендуется использовать батч, равный 25.

Исследователи использовали данную модель и в эксперименте по определению того, какое сочетание каналов больше подходит для обучения и сегментации изображения. В результате оказалось, что для обучения нейронной сети подходят только три комбинации: RGB, RGB + NearIR и RGB + NearIR + NDVI. Они позволили достичь высоких значений всех восьми метрик (на 0,41–1,77 % больше, чем стандартное сочетание каналов RGB). Другие комбинации приводят либо к низкому результату метрики, либо к ошибке деления на ноль. Использование дальнего красного канала оказывает существенное негативное влияние на качество сегментации текущего состояния хвойных насаждений на тестовых участках.

Следует отметить, что полученные результаты показывают значительный потенциал рассмотренных подходов в решении проблематики ранней диагностики кризисных состояний хвойных насаждений за счет

охвата различного формационно-типологического и возрастного разнообразия хвойных экосистем и возможности съемки больших территорий, оперативного эколого-функционального анализа состояния древостоев при помощи компьютерных программ, снижения объема работ, выполняемых в полевых условиях при наземном лесопатологическом мониторинге. В целом предложенный подход является относительно недорогим и перспективным методом получения оперативных тематических картографических материалов, отражающих текущую лесопатологическую обстановку. Данный подход позволил получить карты усыханий хвойных лесов за период с 2021 по 2023 год на территорию ГЛХУ «Минский лесхоз».

Результаты исследования могут быть использованы для дальнейшей оценки экономических и экологических последствий усыханий хвойных лесов на территории Беларуси и своевременного принятия лесохозяйственных мер по минимизации последствий данного природного явления.

УДК 631.17

## **Разработка информационной системы высокоинтенсивного ведения сельскохозяйственного производства с использованием данных ДЗЗ и элементов искусственного интеллекта при дешифрировании полученных материалов**

**А. Р. Понтус** , **М. Л. Романова, Г. В. Ермоленкова**  
Институт экспериментальной ботаники НАН Беларуси,  
Минск  
*E-mail: par2004@yandex.by*

**А. Н. Червань**  
Белорусский государственный университет,  
Минск,  
*E-mail: chervanalex1@mail.ru*

В настоящее время в распоряжении лаборатории геоботаники и картографии растительности имеются архивные снимки, датированные 50-ми годами 20-го века (бывший архив НП РУП «Космоаэрогеология» Минприроды), по которым выделены сочетания ареалов почвенных разновидностей и растительных ассоциаций, образующие хорошо различимые на космоснимках, повторяющиеся в пространстве «узоры» (ансамбли), отражающие целый комплекс физико-географических показателей, что позволяет отнести такие сочетания (комбинации) к категории закономерно организованных природных систем – «геосистем» или «типов земель». Таким образом, на территории Припятского Полесья выделено около двух десятков геосистем, которые дифференцируют территорию в соответствии с наиболее характерными ее геоморфологическими, почвенно-гидрологическими и другими особенностями, что позволяет осуществлять системно-детализированный подход при организации сельскохозяйственной, природоохранной и туристической деятельности, обусловленной соответствующими экономико-технологическими укладами. Ядро нового технологического уклада составляют компьютерная техника, мобильные информационные услуги, системы искусственного интеллекта, глобальные информационные сети, что связано с ростом кумулятивного опыта и технологий, их интегральными проявлениями в генерировании инноваций и быстрым их внедрением. Ранее разработанная параметризация основных характеристик почвенных комбинаций с перспективой полуавтоматического и автоматического учета и мониторинга для обоснования стратегии целесообразного

землепользования в условиях интенсификации сельского хозяйства позволила оценить состояние структуры почвенного покрова пилотных агроландшафтов в Пинском районе Брестской области Беларуси: ОАО «Ласицкое», ОАО «Лопатино» и ОАО «Ставокское».

База аэрокосмических разновременных снимков и соответствующая им наземная (эталонная) информация, полученная на системе пилотных агроландшафтов, послужат основой для экологического и хозяйственно-функционального зонирования исследуемой территории, организации долговременного мониторинга и в целом могут определять на геосистемном уровне в Полесском регионе долгосрочную динамику растительного компонента геосистем. Также будет использоваться библиотека (архив), из которой можно выбирать вегетационные индексы (ВИ) для нескольких сезонов и генерировать временные ряды, отслеживая тенденции роста, что требуют высококачественных измерений коэффициента отражения с помощью мультиспектральных или гиперспектральных датчиков. Общая пространственная структура геосистем Припятского Полесья представлена на рис. 1.



Рис. 1. Пространственная структура расположения эталонно-калибровочных участков на территории исследований

Сравнивая показатели ВИ и соотнося их с измеренными в поле, можно оценить, какие индексы в конкретной категории лучше всего моделируют данную сцену. Из почти 150 разработанных ВИ следует подбирать те, которые наилучшим образом коррелируют с данными, полученными в полевых условиях для нескольких измерений, что значительно повысит качество дальнейшей обработки.

Таким образом, для сельскохозяйственных угодий ВИ помогут измерить биомассу и оценить состояние культур, спрогнозировать будущий урожай, наблюдать за динамикой в течение сезона вегетации, выявить очаги болезней, пересохшие и вымокшие участки на полях, наличие засоренности сорняками. Следовательно, можно подсчитать урожай и убытки от экстремальных погодных условий, а на основе исторических снимков получить информацию о состоянии геосистем на протяжении 40-летнего (и более) периода, что поможет выявить основные долговременные климатические тренды. В 1960–1980 гг., когда переувлажненная территория была «краем болот и лесов», мелиораторы прокладывали каналы открытого типа, но при этом глубина торфяной залежи оказалась очень неравномерной. Это вызвало на некоторых участках мелиорированных территорий застой воды и, наоборот, ее избыточный сброс, что просматривается на ретроспективных снимках. Карты фактического и предпочтительного использования земель на примере Столинского района Брестской области представлены на рис. 2.

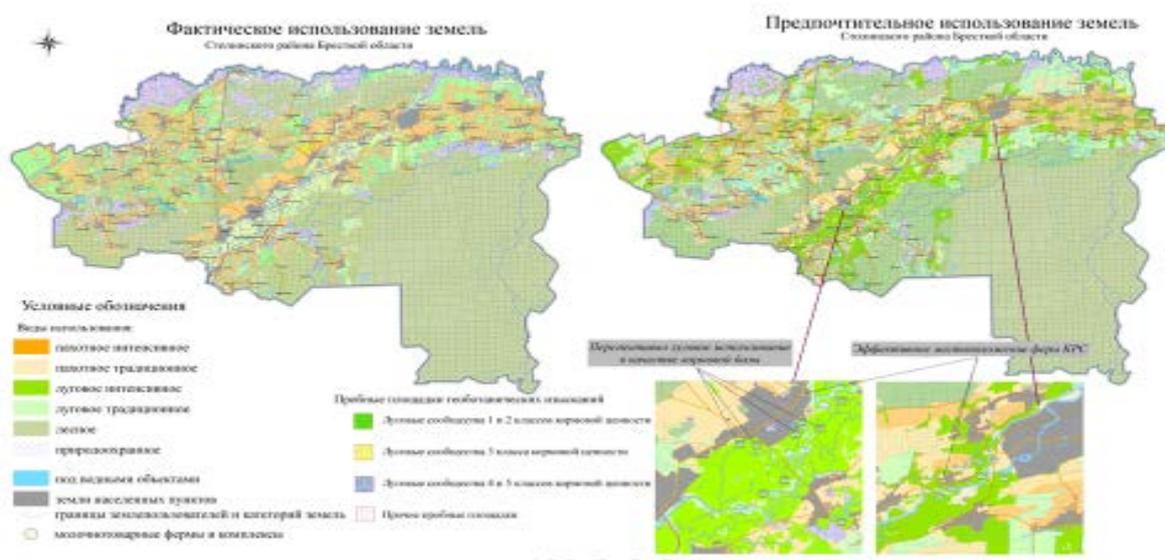


Рис. 2. Результат геопространственного анализа геосистем и структуры почвенного покрова в их пределах

Все полесские метеостанции уже давно фиксируют почвенную засуху, что происходит и в текущем 2023 г., поэтому если не адаптировать сельское хозяйство к складывающимся экологическим условиям, то неизбежно наступление катастрофических явлений, способных нанести непоправимый урон экономике страны. Оперативное принятие управленческих решений как в сельском хозяйстве, так и в природопользовании в целом требует надежной и постоянно действующей системы регулирования землепользованием, что целесообразно реализовывать с применением современных геоинформационных технологий, а актуализация данных дистанцион-

ных методов зондирования обеспечивает методическую и информационную основу устойчивого природопользования.

В настоящее время культуртехническое состояние преобладающей части пойменных земель с природной луговой растительностью неудовлетворительное – происходит интенсивное зарастание поймы, одновременно с зарастанием из-за вторичного заболачивания ухудшается водный режим лугов, что сопровождается обеднением состава трав, засорением лугов сорными видами, не поедаемыми скотом (в основном ядовитыми, колючими, балластными), и также отрицательно сказывается на фауне региона.

При разработке информационной системы поддержки ведения высокоинтенсивного сельскохозяйственного производства в регионе авторами использовался специальный классификатор изображений спектральных сигнатур основных сельскохозяйственных культур для обучения нейросети сверточного типа и специально разработанного на этой основе аппроксиматора с максимальным правдоподобием, позволяющий интегрально оценивать особенности объектов хозяйствования в любом масштабе без потери качества информации. Это ГИС-моделирование, применение разновременных данных дистанционного зондирования и полевые геоботанические исследования местности. Геосистемный подход комплексно характеризует особенности территории различной площади и конфигурации, их геоморфологические, гидрологические условия, продукционную способность земель и растительный компонент. Эти показатели заносились в базы геоданных с последующим получением комплекса электронных карт. В настоящее время на основе геоинформационных технологий в границах поймы р. Припяти и прилегающих районов были выделены 12 геосистем, которые достаточно рельефно дифференцируют территорию в соответствии с наиболее характерными ее особенностями. Это позволило совершить дальнейшие шаги, способствующие переходу от абстрактных величин к достаточно точной оценке природных особенностей региона на основе геореляционной, послойно организованной топологически корректной базы геоданных, пространственно учитывающей качественные и количественные признаки геосистем, выделенных в пойме Припяти. Такая работа позволит реконструировать ситуацию в прошлом (с 1970-х гг.) и моделировать будущее. Созданная картографическая база данных может служить основой для экологического зонирования территории, мониторинга состояния лугов и в целом характеризовать интенсивность естественной динамики растительности в условиях Полесья. Это позволит организовывать экологически устойчивые биогеоценозы, создаваемые на базе имитационных моделей, и разрабатывать оптимальные сценарии управления растительными ресурсами. В 2011–2013 гг. сотрудниками лаборатории геоботаники и картографии растительности Института экспериментальной ботаники НАН

Беларуси во всех районах Припятского Полесья в пределах геосистем были исследованы около 110 луговых сообществ. При этом для каждого лугового фитоценоза определялся видовой состав, агроботанические группы, хозяйственный урожай (ц/га). В камеральных условиях вычислялось количество видов, процент проективного покрытия ими на пробной площади, а также индексы биологического разнообразия. Было выделено более 20 луговых ассоциаций, насчитывающих около 250 видов.

В сезон 2023 г. были организованы две экспедиции с целью определения качества луговых сообществ в семи районах. Предварительно были составлены карты луговых угодий районов с отмеченными наиболее важными пунктами (пробными площадями) для полевого обследования. В результате обследований в районах Припятского Полесья было сделано 300 описаний напочвенного покрова, в Гомельской области 130, в Брестской 170 (во многих случаях луговые земли были заняты пропашными культурами). При обработке луговых описаний их разносили по классам кормовой ценности, затем производили разбивку на основные группы: луговые сообщества 1–2-го класса, 3-го класса, 4–5-х классов. Полученные данные были занесены в базу для составления в будущем точных карт предпочтительного использования земель каждого района, а на современном этапе составляются карты фактического использования земель, где отражаются виды использования всех земель территории по следующим градациям: пахотное интенсивное, пахотное традиционное, луговое интенсивное, луговое традиционное, лесное и природоохранное.

К настоящему времени составлена карта фактического и предпочтительного использования земель Петриковского района Гомельской области. Предпочтительный вид использования земельных ресурсов определялся исходя из местных почвенных и ботанических условий ведения сельского хозяйства. Так, в районе насчитывается 13 сельскохозяйственных организаций. Для каждой организации показано, насколько можно улучшить качество использования земель:

– шире практиковать использование естественных лугов поймы р. Припяти и ее притоков для развития мясного скотоводства, что позволит увеличить поголовье крупного рогатого скота и уменьшить риск утраты ценнейших луговых угодий в случаях их зарастания древесно-кустарниковой растительностью;

– осуществлять раскорчевку кустарниковой растительности, не имеющей водоохранного значения, на угодьях, ранее занятых ценными мезофильными травостоями с последующим их залужением;

– развивать и улучшать имеющуюся сеть подъездных дорог к сельскохозяйственным угодьям для прохождения по ним современной техники, осуществляющей уход, сбор и вывоз продукции;

– в целях улучшения качества лугов следует подвергать коренному улучшению (с распашкой и подсевом ценных луговых трав) деградированные луговые фитоценозы (щучковые, белоусовые и сильно засоренные);

– на остепненных и низинных лугах, где коренное улучшение нецелесообразно, периодически (раз в 3–4 года) оставлять травостой до обсеменения с последующим дискованием и внесением удобрений;

– особый уход осуществлять за малочисленными сохранившимися мелкоконтурными лугами (луголисохвостовыми, келериевыми, виноградниковополевицевыми, лугомятликовыми и др.) во избежание потери биоразнообразия.

Для наилучшего использования земельных ресурсов надо создавать районные карты, отражающие фактическое и предпочтительное использования земель по следующим грациям: пахотное интенсивное, пахотное традиционное, луговое интенсивное, луговое традиционное, лесное и природоохранное;

– следует обратить внимание на повышение уровня ботанических знаний агрономов в хозяйствах, для этого предлагается составить атлас наиболее часто встречающихся луговых видов Полесья, в котором травы разбиты по классам пищевой ценности (на электронных и бумажных носителях);

– управлениям сельского хозяйства следует следить за неуклонным и своевременным выполнением всех агротехнических приемов по уходу за луговыми угодьями;

– в луговодстве на мелиорированных пойменных и прилегающих землях более широко использовать приемы насыщения севооборотов пожнивными и поукосными культурами, что позволит получать два-три урожая в год и значительно продлит пастбищный период.

Предварительная обработка изображений и спектральные диапазоны. Авторами использовались изображения высокого разрешения (6 см/пк), полученные с помощью беспилотных авиационных систем в период вегетации сельскохозяйственных культур. Снимки содержат пять каналов: красный, зеленый, синий, ближний инфракрасный и дальний красный, однако для обучения нейронных сетей были задействованы только первые четыре.

Получение опорных (эталонных) данных для обучения нейронных сетей – трудоемкий процесс, поскольку калибровочные участки требуются для всего сельскохозяйственного поля и в том числе для каждого рабочего участка. По материалам космосъемки (сенсоры Landsat 8,9 и Sentinel 2) авторами было получено пять ортофотопланов, из которых извлечены 25 отдельных изображений: 20 использовались для оценки производительности нейросетевой модели и еще 5 – для создания набора данных.

В результате было создано несколько обучающих и оценочных наборов по основным видам сельскохозяйственных культур на каждое из пяти

пилотных хозяйств. Соответственно, обучались две нейросетевые модели. Авторы использовали пять основных типов сверточных нейронных сетей: U-Net, Attention U-Net, R2U-Net, Attention R2U-Net и U-Net3+. Базовая модель для всех – U-Net.

По результатам исследований можно сформулировать основные выводы:

– оценка эффективности технологий ведения сельскохозяйственной деятельности на мелиорированных и пойменных землях с использованием аэрокосмической информации и нейросетевых подходов при ее обработке позволила сделать следующие предложения и рекомендации по повышению результативности сельскохозяйственного производства на ранее заболоченных и пойменных землях Припятского Полесья;

– выведение мелиорированных земель из сельскохозяйственного оборота невыгодно ни экономически, ни с точки зрения обеспечения продовольственной безопасности. Автоморфные почвы региона при самом оптимистичном сценарии развития событий, при использовании самых высших уровней интенсификации сельскохозяйственного производства могут обеспечить поддержание лишь критически низкого уровня продовольственной безопасности;

– имеется значительный резерв повышения хозяйственной эффективности сельскохозяйственного производства на осушенных пойменных землях Припятского Полесья как за счет улучшения качества управления водным режимом, так и за счет совершенствования агротехнологий.

УДК 004.8; 165; 111

## Неоэкзистенциализм М. Габриэля против искусственного интеллекта

И. Е. Прись  
Институт философии НАН Беларуси,  
Минск

### 1. Искусственный интеллект

Современный так называемый «искусственный интеллект» (ИИ) – не интеллект. Он не мыслит. Во всяком случае он не мыслит в том смысле, в котором мыслят люди, если не ограничиваться чисто механическими формами мышления, например механическим употреблением таблицы умножения или логических правил. ИИ не способен к рефлексии, т. е. к мысли о мысли. У него нет сознания, причем не только феноменального.<sup>1</sup> У ИИ нет интенциональности. В частности, у него отсутствуют убеждения (мнения) и желания. ИИ не способен самостоятельно формировать планы, ставить перед собою цели, задачи. За него это делает человек. В конечном итоге именно человек программирует ИИ, в том числе и тогда, когда делает ИИ способным самому писать программы. ИИ не рационален и не иррационален.

Человек отличается от ИИ материально (человек – биологическое существо, и это принципиально), а также тем, что он способен употреблять естественный язык, который не может быть редуцирован к математическим алгоритмам, механическому следованию правилам. ИИ следует формальным правилам, а человек – естественным правилам, т. е. правилам, укорененным в индивидуальной или социальной практике, опыте, реальности. Применение таких правил чувствительно к контексту, не предопределено, непредсказуемо, но в то же время рационально. У человека, но не у машины, ИИ, есть свобода воли.

Различают гипотетический так называемый «сильный ИИ», который действительно способен ощущать, чувствовать и мыслить, и слабый ИИ,

---

<sup>1</sup> В настоящее время не только не существует критериев, позволяющих установить наличие у гипотетического ИИ будущего или гипотетического существа, имеющего отличную от человека физическую конституцию, феноменального сознания, но даже неясно, каким образом такие критерии могут быть выработаны. Другими словами, феноменальное сознание такого ИИ или существа оказывается метанедоступным [1]. М. Битболь пишет: «Искусственное (феноменальное) сознание – бессмысленный концепт» [2].

о котором речь шла выше. Слабый ИИ – лишь имитация интеллекта человека.

Существует несколько широко известных аргументов против сильного ИИ (аргумент Дж. Серла «китайская комната», аргумент с привлечением теоремы Геделя о неполноте, аргумент Х. Дрейфуса и др. [3]). На взгляд автора, все они эксплицитно или имплицитно основываются на принятии категориального различия (дуализма) между идеальным и реальным. Человек, его сознание реальны. Машина, сделанная человеком, ее программа идеальны (машина, конечно, реальна как материальный объект, но речь идет об отношении машины и человека). Не имеет смысла трактовать идеальное как реальное. Категориальный (не субстанциальный) дуализм, о котором идет речь, – один из постулатов контекстуального реализма – философской позиции, которой придерживается автор.

Согласно неоекзистенциалисту М. Габриэлю, метафизика проецирует модели (в наших терминах – идеальное) на реальность за пределами области их применимости, принимает их за реальность [4]. Метафизика глобальной информационной эпохи за реальность принимает информационные модели. Мозг человека и мир в целом представляются как запрограммированный компьютер. В физике и, в частности, в рамках некоторых информационных интерпретаций квантовой механики получила распространение идея, что информация – это фундаментальная онтологическая характеристика физических систем, Вселенной. Это идеалистическая идеология. Она сходна с другими сциентистскими идеологиями и, в частности, «нейроцентризмом» и трансгуманизмом, о которых речь пойдет ниже. С точки зрения нашего контекстуального реализма, информация – не часть реальности; она идеальна, если, конечно, это понятие использовать в обыденном эпистемическом, а не техническом, смысле [5; 6, гл. 4, ч. 9; 7].

## 2. Нейрофизикализм и трансгуманизм

Современный материализм, вдохновляющийся достижениями нейронауки, утверждает, что человек и его сознание редуцируются к его мозгу, нейрональным процессам, что противоречит здравому смыслу. Трансгуманизм утверждает, что человек – это программа, которая может быть реализована и на другом материале. Компьютерный бог был бы просто очень мощной программой, написанной после момента так называемой «сингулярности», идею которой в 1965 г. выдвинул британский математик И. Дж. Гуд, а развили австралийский философ Д. Чалмерс и шведский философ Н. Бустрем [8, 9].

Гуд писал: «Определим сверхумную машину как такую машину, которая может значительно превзойти все интеллектуальные активности сколь угодно умного человека. Поскольку проектирование машин – одна

из этих интеллектуальных активностей, сверхинтеллект сможет спроектировать еще лучшие машины; в результате неизбежно произойдет “интеллектуальный взрыв” и интеллект человека окажется далеко позади. Поэтому первая сверхумная машина – последнее изобретение, в котором у человека когда-либо есть нужда» [10, р. 31].

Трансгуманизм основан на предположении, лежащем в основе рассуждения Гуда, что ИИ способен превзойти интеллект человека. Если бы это случилось, по отношению к кибербогу мы бы оказались примерно в той же ситуации, в которой по отношению к нам находятся животные.

Чалмерс допускает возможность сингулярности и рассматривает четыре варианта места человека в трансгуманистическом мире: уничтожение, изоляция, неполноценность, интеграция. Поэтому он призывает встраивать в ИИ подходящие ценности и поначалу создавать машины ИИ не в реальном мире, а виртуальном.

На самом деле, трансгуманистический мир Чалмерса напоминает наш реальный мир. Это антропоморфный взгляд, проектирующий характеристики человека на совсем другой вид реальности. Принципиальную возможность существования сверхумной машины, рациональность которой превосходила бы рациональность человека, можно поставить под сомнение.

Неоэкзистенциализм немецкого философа М. Габриэля отрицает возможность появления компьютерного бога, превосходящего интеллект человека. Возможность сингулярности отвергается на том основании, что в отличие от человека у компьютера нет и не может быть духа (Geist), т. е. он не может рефлексировать. ИИ – это, так сказать, интеллект первого порядка, он относится к механическому выполнению логических операций (программы, алгоритма). Габриэль также считает, что интеллект имеет свои пределы. «Размышлять о мысли – наивысший предел ума» [4, р. 254].

Автор утверждает, что трансгуманизм – это относится и к нейрофизициализму – форма идеализма, смешивающего категории реального и идеального. ИИ не только не может иметь духа (Geist), который можно трактовать как нормативность (компьютер же выполняет операции механически), но и вообще сознания. Например, он не может воспринимать окружающую действительность в том смысле, в котором ее воспринимает человек.

На самом деле, мы сами – часть реальности, а между нашим непосредственным (неконцептуализированным) перцептивным опытом<sup>2</sup> и реальностью нет никакой дистанции (это не перцептивная вуаль модерна). Наше знание предполагает интимную связь с самими вещами. Это ментальное состояние в экстерналистском смысле. Согласно британскому фи-

<sup>2</sup> Говорят также о нереклексивном «чистом опыте», «опыте присутствия», «переживаемом опыте», в котором еще нет разделения на субъект и объект [2].

лософу Т. Уильямсону, «фундаментальным для сознания является не пучок монадических качественных свойств, составляющих внутренний мир, а сеть отношений между агентом и средой. (...) Суть сознания в том, чтобы включить мир. Знание и действие вовсе не затемняют природу сознания, внося в него примеси из внешней среды, а напротив, они наиболее полное выражение сознания» [11, р. 179–180]. Поэтому оно и не чисто нейрологический процесс внутри черепной коробки, и по этой же причине ИИ ничего не может знать о реальности.

ИИ и человеческий интеллект – два разных вида интеллекта. (В этом смысле нет даже смысла говорить, что один из них может превзойти другой.)

### 3. Неоэкзистенциализм М. Габриэля

#### 3.1. Неоэкзистенциализм как антропология второго порядка

Существуют различные индивидуальные и социальные антропологии первого порядка, дающие различные ответы на вопрос о том, что есть человек. В частности, существует религиозная точка зрения, согласно которой человек – это его бессмертная душа. Подлинно верующий человек не просто верит, а организует свою жизнь в соответствии с этой точкой зрения. Противостоящая ей научная (материалистическая) точка зрения модерна рассматривает существование человека как конечное. Например, для нейрофизикалиста человек – это прежде всего нейрофизиологические процессы в его мозге.<sup>3</sup> Опять же, материалист ведет себя и живет в соответствии со своей концепцией человека.

Неоэкзистенциализм Габриэля отвергает как религиозную точку зрения, так и «нейроцентризм». Последний включает в себя нейрофизикализм, который Габриэль называет «нейроманией», а французский философ Ж. Бенуа – «нейроидеализмом»<sup>4</sup>, и идеологию дарвинизма – попытку объяснить все поведение человека в терминах эволюционной биологии или психологии. Нельзя, например, объяснить брачное поведение человека в терминах бессознательного намерения, жестко заложенного в наших организмах, распространять свои гены. Габриэль пишет: «Биологический натурализм в смысле отождествления человека и животного бросает вызов нашей системе ценностей. Это вторжение в сферу духа (Geist)» [13]. Также концепции «культурной эволюции» и «мемов» вводят в заблуждение. История не может быть объяснена в теоретических терминах эволюционной теории.

<sup>3</sup> Одна из книг Габриэля, в которой отвергается эта точка зрения, озаглавлена так: «Я не мозг» [12]. На самом деле, это грамматическая (аналитическая) истина.

<sup>4</sup> Парадоксальным образом редуктивный натурализм оказывается разновидностью идеализма. Эта критика не затрагивает натурализм в широком смысле, ограничивающийся отрицанием сверхъестественного.

Габриэль пишет: «О политической подоплеке идеологии натурализма. (...) Натурализм – это советский историко-диалектический материализм без Советов, истории и диалектики. Это выхолощенный вариант старого доброго материализма. В этом смысле его можно рассматривать как странный остаток ранних этапов холодной войны – упрощенная материалистическая идеология, изначально продвигавшаяся американскими идеологическими государственными аппаратами (включая университеты) в целях борьбы с советскими идеями» [13]. Битболь справедливо считает, что метафизический натурализм лежит в основании западной философии модерна и что сейчас наступает эпоха не постгуманизма, а постнатурализма [2].

Как уже было сказано выше, неэкзистенциализм также отвергает постмодернистскую антропологию трансгуманизма, утверждающую возможность появления сверхумной машины и бессмертного ИИ, а может быть, и бессмертного человека, интегрированного в единую систему с ИИ.

Примерами социальных антропологий являются распространенная в США прагматическая концепция человека и принятая в Китае и Северной Корее марксистская концепция [13]. Эти и другие антропологии несовместимы друг с другом, противостоят друг другу.

Неэкзистенциализм Габриэля – антропология второго порядка. Это поиск того, что «все человеческие существа имеют между собой общего как человеческие существа» [4, р. 248]. Общее у всех антропологий то, что все они каким-то частным образом представляют себе сущность человека. Неэкзистенциализм утверждает, что предопределенной сущности не существует. Человек свободен в выборе своей антропологии – ответа на вопрос, что и кто он есть. Человек определяется как рациональное «существо, которое ведет свою жизнь в свете концепции того, что значит быть человеческим существом» [4, р. 247]. Он то, что он думает о себе как о человеке. В этом его радикальная свобода. И поэтому он не может быть превзойден ни суперкомпьютером, ни неземным существом, ни богом.

Человеческая логика, на которой программируются машины, – единственно возможная логика. (Чалмерс, например, предполагает, что может существовать «логически другое мышление».) Действительное отличие между человеком и машиной, как уже было сказано выше, заключается в способности человека к рефлексии. Эта высшая интеллектуальная способность никогда не будет достигнута никаким ИИ.

### 3.2. Антиматериализм экзистенциализма

Классический экзистенциализм тоже отказывается редуцировать существование человека к его сущности. Он утверждает, что человек свободен в выборе своей сущности, которой предшествует его экзистенция [14].

Однако неэкзистенциализм Габриэля более радикален, а также пытается решить проблему соотношения между сознанием и мозгом. Он отвер-

гает современные материалистические теории сознания: теорию тождества материи и сознания (например, физических и феноменальных свойств), эпифеноменализм, элиминативизм, функционализм и другие теории.<sup>5</sup>

В более общем плане неокзистенциализм отказывается от религиозной, модернистской и постмодернистской метафизик и утверждает наличие у человека радикальной свободы выбора. «Мы рождены свободными, и мы умрем свободными» [4, р. 250]. Наше поведение и наша жизнь не predetermined, их невозможно предсказать. Согласно Габриэлю, люди находятся в постоянном поиске ответа на вопрос о том, что есть человек, и они зависят от своих представлений о себе, поскольку действуют в свете того, кем себя считают. «Наше представление о том, что или кто мы есть как человеческие существа, глубоко преобразует то, что мы есть» [4, р. 247]. Поэтому мы свободны стать тем, кем мы захотим. «Познай самого себя!» – неокзистенциалистский лозунг.

Концепция предполагает принципиальное отличие человека от неживой природы и животного мира. Устранение границ между ними невозможно. Неокзистенциализм также принимает во внимание культурно-историческое измерение человека, без которого не может быть понято его сознание.

### 3.3. Сознание и дух. Критика неокзистенциализма

Проблема с радикальным натурализмом, например физикализмом, заключается в том, что в его рамках трудно найти место для моральных, математических, семантических и других видов фактов. Преимущество неокзистенциализма Габриэля состоит в том, что это онтологический плюрализм, в котором физикалистская онтология не имеет приоритета.

Также вместо зонтичного понятия «сознание» в смысле английского mind Габриэль предлагает ввести более точный и категориально однородный термин «дух» (Geist). Этот термин отражает тот факт, что различие между сознанием и природой категориальное. Сознание как дух – не природный вид, а «объяснительная» структура, привлекаемая в контексте объяснения действия, «инвариант во всех наших попытках отличить человеческое существо одновременно от неодушевленной природы и других жителей животного царства» [4, р. 234].

На самом деле, необходимо сделать более сильное утверждение. Согласно Ж. Бенуа, сознание в смысле духа вообще не является видом – ни в каком смысле. Дух не имеет сущности. Термин «дух» не является жестким дезигнатором [15].

---

<sup>5</sup> Согласно эпифеноменализму сознание причинным образом не связано с материей, его порождающей. Элиминативизм утверждает, что существуют лишь нейрофизиологические процессы. Функционализм редуцирует сознание к его функции.

Для Габриэля дух связан с действием. Он иллюстрирует понятие духа на своей игрушечной модели езды на велосипеде. Дух соотносится с мозгом как езда на велосипеде (велосипедный спорт) с велосипедом. С одной стороны, езда на велосипеде (дух) предполагает наличие велосипеда (мозга), с другой стороны, не редуцируется к нему, поскольку действие не вещь, не дано. Это помогает избежать овеществления духа.

В то же время следует заметить, что дух связан не только с действием, но и с мыслью и смыслом, которые могут существовать независимо от действия. Поэтому модель Габриэля оказывается ограниченной и требует уточнения.

Езда на велосипеде – интенциональное действие. Это употребление велосипеда в том же смысле, в котором Витгенштейн говорит об употреблении языка, вещей и правил (норм), которое может быть корректным (хорошим) или нет. Другими словами, езду на велосипеде можно назвать «языковой игрой» (нормативной практикой). Дух, связанный с языковой игрой (употреблением) и смыслом (согласно Витгенштейну, «смысл есть употребление»), – это ее нормативность [16]. Контекстуальный реализм, как уже было сказано, принимает категориальное различие между идеальным и реальным. Нормы, правила, смысл идеальны. Дух идеален. Это нормативность как таковая [15, 16].

Принять во внимание нормативность – значит принять различие между реальностью и видимостью. Кажется, неэкзистенциализм подвержен риску затушевывания этого различия. Согласно Бенуа, предложенная Габриэлем характеристика духа может содержать новый вид эссенциализации сознания.

Проблема заключается в следующем. То, что обладает духом, не редуцируется к тому, что оно есть – своей онтологии. Неэкзистенциализм склонен к ошибке онтологизации этой дистанции по отношению к онтологии, которая возникает, если сказать, как это по сути и делает неэкзистенциализм Габриэля, что «духовное (geistig) существо в силу того, что оно полагает себя тем, чем оно не является, становится тем, чем оно не является, и что, наконец, оно есть то, что оно есть (т. е. то, чем оно не является). Очевидно, что это не так» [15].

Контекстуальный реализм утверждает, что для преодоления натурализма недостаточно, как уже было сказано, просто расширить онтологию. Необходимо принять во внимание нормативное измерение. (В [17] автор ввел близкую концепцию и говорил о «нормативном натурализме».) «Дух» (Geist) добавляет к природе нормативность: «Вещи есть то, что они есть, – это их определение. С другой стороны, мы можем ошибаться в том, что они есть, и даже можем ошибаться в том, что мы есть (...) Существование в соответствии с нормой (...) не то же самое, что просто “существование”»

[15]. Плюрализм смыслов бытия следует понимать как плюрализм нормативных смыслов. Эту нормативность духа неэкзистенциализм скорее подразумевает, чем явно выражает.

### Заключение

С одной стороны, неэкзистенциализм – критика религиозной точки зрения, спекулятивной метафизики и идеализма, а с другой – сциентизма и современного материализма, к которому можно отнести трансгуманизм и информационную идеологию, физикализм, функционализм, редуktивный натурализм, в частности биологический натурализм, дарвинизм и другие позиции.

Это также попытка устранить разрыв между континентальной и аналитической философией и между науками о природе и социогуманитарными науками («науками о духе»). Термин «дух» (Geist), который вводит Габриэль, позволяет принять во внимание взаимопроникновение природы и культуры, а также частично категориальное различие между природой и сознанием, но его употребление требует уточнения.

Я разделяю критическую часть неэкзистенциализма, в частности утверждение, что ИИ не сможет превзойти интеллект человека, но не могу полностью согласиться с его позитивной программой. Полный отказ от натурализма неприемлем. Следует отказаться лишь от редуktивной формы натурализма. Я также согласен с критикой Бенуа, что дух (Geist) следует понимать в терминах нормативности и не ограничиваться чисто онтологической трактовкой сознания.<sup>6</sup> Также требует уточнения понятие радикальной свободы, а утверждение, что человек – это то, что он о себе думает, вообще говоря, неверно и требует существенной коррекции с точки зрения нормативной концепции духа.

### Список литературы

1. Block, N. The Harder Problem of Consciousness / N. Block // J. of Philosophy. – 2002. – Vol. XCIX, no. 8. – P. 391–425.
2. Bitbol, M. La conscience artificielle: Une critique pensée et vécue / M. Bitbol // Chroniques Phénoménologiques. – 2018. – No. 10. – P. 5–16.
3. Bringsjord, S. Artificial intelligence [Electronic resource] / S. Bringsjord. – Mode of access: <https://plato.stanford.edu/entries/artificial-intelligence/#StroVersWeakAI>. – Date of access: 05.09.2023.
4. Gabriel, M. Propos réalistes / M. Gabriel. – Paris : Vrin, 2020. – 266 p.

---

<sup>6</sup> Согласно Бенуа, неэкзистенциалистская философия духа Габриэля – философия «самосознания» – в традиции немецкого идеализма.

5. Прись, И. Е. Виртуальная реальность, искусственный интеллект и контекстуальный реализм / И. Е. Прись // Сибирский философский журнал. – 2021. – Т. 19, № 2. – С. 158–180.
6. Прись, И. Е. Знание в контексте / И. Е. Прись. – СПб. : Алетея, 2022. – 720 с.
7. Прись, И. Е. Контекстуальный квантовый реализм и другие интерпретации квантовой механики / И. Е. Прись. – М. : Ленланд, 2023. – 304 с.
8. Chalmers, D. The Singularity: A Philosophical Analysis / D. Chalmers // Journal of Consciousness Studies. – 2010. – Vol. 17, no. 9–10. – P. 7–65.
9. Bostrom, N. Superintelligence: Paths, dangers, strategies / N. Bostrom. – Oxford UP, 2014. – 328 p.
10. Good, I. J. Speculations concerning the first ultraintelligent machine / I. J. Good // Advances in Computers. – 1965. – Vol. 6. – P. 31.
11. Williamson, T. Acting on Knowledge / T. Williamson // Knowledge-First / eds.: J. A. Carter, E. Gordon, B. Jarvis. – Oxford UP, 2017. – P. 163–181.
12. Gabriel, M. Ich ist nicht Gehirn: Philosophie des Geistes für das 21 / M. Gabriel. – Jahrhundert, Ullstein, 2015. – 352 s.
13. Gabriel, M. Neo-existentialism. How to conceive of the human mind after naturalism's failure / M. Gabriel. – Medford, MA : Polity, 2018. – 140 p.
14. Aho, K. Existentialism [Electronic resource] / K. Aho. – Mode of access: <https://plato.stanford.edu/entries/existentialism/>. – Date of access: 02.09.2023.
15. Benoist, J. Does mind “exist”? Comments on Markus Gabriel’s “Neo-Existentialism How to Conceive of the Human Mind after Naturalism’s Failure” [Electronic resource] / J. Benoist. – Mode of access: <https://www.cairn.info/publications-deBenoist-%20Jocelyn-20377.htm>. – Date of access: 05.07.2018.
16. Прись, И. Е. Природа и сознание / И. Е. Прись // Вестник Челябинского университета. – 2018. – № 9. – С. 18–23.
17. Pris, F.-I. Le fossé explicatif dans la philosophie de l’esprit, du point de vue de la deuxième philosophie de Wittgenstein vue comme un naturalisme normatif / F.-I. Pris. – Paris : ANRT, 2008. – 330 p.

УДК 004.8

## **Перспективы внедрения искусственного интеллекта в «умных городах» в условиях цифрового развития Беларуси**

**К. А. Радкевич**  
ОАО «Гипросвязь»,  
Минск, Беларусь  
*E-mail: radkevich@giprosvjaz.by*

### **Введение**

Искусственный интеллект – комплекс технологических решений, позволяющий имитировать когнитивные функции человека (в том числе самообучение и поиск решений без заранее заданного алгоритма) и получать при выполнении конкретных задач результаты, сопоставимые с результатами интеллектуальной деятельности человека. Этот комплекс включает в себя информационно-коммуникационную инфраструктуру, программное обеспечение, процессы и сервисы по обработке данных и поиску решений [1].

В рамках развития направления «умный город» становится очевидным, как тесно переплетаются различные цифровые и инфокоммуникационные технологии в обычной жизни населения, бизнеса и управления. Одним из актуальных, но все еще мало развитых в стране направлений является внедрение технологий искусственного интеллекта в городское пространство.

### **Правовое регулирование искусственного интеллекта в Республике Беларусь**

Термин «искусственный интеллект» в белорусском законодательстве официально был закреплен постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 21.04.2023 № 280 «О мерах по реализации Указа Президента Республики Беларусь от 7 апреля 2022 г. № 136», однако само введение термина не дает правовой характеристики его применению, внедрению и развитию. На данный момент с целью создания правовых и организационных условий, а также содействия инвестициям в исследования и инновации в области технологий искусственного интеллекта разработан модельный закон о регулировании искусственного интеллекта в странах СНГ. Разработка модельного закона об искусственном интеллекте является формированием системы правового регулирования общественных отношений, возникающих в связи с развитием и использованием технологий искусственного интеллекта.

Основные задачи модельного закона:

- создание благоприятных правовых и организационных условий для развития технологий искусственного интеллекта, содействие инвестициям в исследования и инновации в области искусственного интеллекта;
- формирование единого рынка законных, безопасных и заслуживающих доверия приложений на основе искусственного интеллекта;
- содействие развитию доступных экосистем искусственного интеллекта с цифровой инфраструктурой, осуществление трансграничного и, возможно, межсекторального сотрудничества в целях достижения прогресса ответственным управлением доверенным искусственным интеллектом, формирование позитивной повестки при внедрении технологий искусственного интеллекта;
- повышение цифровой грамотности населения, а также соответствующих управленцев в государственных органах;
- обеспечение справедливого и оптимального баланса интересов между всеми участниками общественных отношений в области искусственного интеллекта;
- гарантированная безопасность использования и размещения систем искусственного интеллекта и их внедрения;
- создание гибких механизмов, позволяющих динамично адаптировать правовую основу.

Несмотря на то что лишь недавно произошло официальное закрепление термина, принятый в 2017 году Декрет Президента Республики Беларусь № 8 «О развитии цифровой экономики» [2] обеспечил развитие информационных технологий, в том числе искусственного интеллекта, инновационной сферы, позволив развивать цифровизацию общества в различных областях. Так, в соответствии с п. 1 Декрета № 8 в том числе предоставлено право осуществления в установленном порядке деятельности в сфере искусственного интеллекта, создания систем беспилотного управления транспортными средствами [3].

Изучение различных источников позволяет выявлять общие проблемы в вопросах правового регулирования технологий с искусственным интеллектом:

- отсутствие единых подходов к определению понятия «искусственный интеллект», определению его признаков при активном внедрении технологий с искусственным интеллектом в повседневную жизнь;
- недостаточная изученность проблемы взаимоотношений искусственного интеллекта и человека;
- отсутствие правовых регуляторов, позволяющих четко определять границы использования и применения технологий с искусственным интеллектом;

– уязвимость технологий с искусственным интеллектом, вызванная возможными рисками, которые не всегда можно определить, и т. д. [4].

Становится очевидно, что правовое регулирование искусственного интеллекта в частности и цифровых технологий в целом должно развиваться последовательно, с постоянной корректировкой на возникающие внешние условия. Особое внимание должно быть уделено совершенствованию гражданско-правового регулирования в отношении искусственного интеллекта и интеграции технологий с искусственным интеллектом в гражданский оборот. На начальном этапе переработки законодательной базы в части информационных технологий необходимо провести анализ и оценку действующих в настоящее время в Республике Беларусь правовых норм, которые дают правовую характеристику технологиям искусственного интеллекта. Также необходима разработка единых терминов и определений в области искусственного интеллекта для последующей стандартизации и сертификации создания объектов по данным технологиям, а также разработка не только нормативных правовых актов, но и ряда технических нормативных документов на основе международной практики – стандартов, регламентов и рекомендаций.

### **Технологии искусственного интеллекта в «умном городе»**

В рамках развития направления «умного города» в Республике Беларусь на постоянной основе проводится комплексное и последовательное цифровое развитие регионов. Проводятся научные и практические исследования по направлению развития концепции «умного города», развиваются технологическая инфраструктура и нормативная правовая база. Реализация создания «умных городов (регионов)» осуществляется в рамках мероприятий Государственной программы «Цифровое развитие Беларуси» на 2021–2025 годы, Национальной стратегии устойчивого развития Республики Беларусь до 2035 года, Государственной программы инновационного развития Республики Беларусь на 2021–2025 годы и других стратегических и программных документов. Помимо этого, на данный момент в стране создается первая очередь типовой региональной государственной цифровой платформы «Умный город (регион)» (мероприятие 68 «Реализация комплексного проекта «Умные города Беларуси»). Создание типовой региональной государственной цифровой платформы «Умный город (регион)», в рамках которой будет создан комплекс различных электронных и цифровых сервисов, базирующихся на едином ядре. В настоящее время в контексте построения и создания интеллектуального пространства городов и регионов возникает множество цифровых и электронных сервисов, направленных на повышение комфорта населения путем обеспечения удаленного доступа к различным услугам, в том числе государственным

и административным, повышения эффективности взаимодействия городских администраций с населением, а также обеспечения открытости государственного и регионального управления.

Однако развитие направления «умного города» заключается не только во внедрении единой цифровой платформы и электронных сервисов, но и в развитии и внедрении различных технологий, таких как интернет вещей и искусственный интеллект, в различные сферы жизнедеятельности города и общества.

Так, одним из перспективных направлений внедрения технологий искусственного интеллекта и интернета вещей является сфера жилищно-коммунального хозяйства. Это, например, датчики и контроллеры, устанавливающиеся на котельных и насосных станциях, с реализацией передачи информации в единый мониторинговый центр. Также ключевым направлением являются автоматизация и логистическое обслуживание вывоза твердых коммунальных и бытовых отходов – датчики и контроллеры наполняемости мусорных баков с реализацией передачи информации в единый центр для оптимизации логистики транспорта коммунальных и бытовых служб. Еще одним направлением внедрения искусственного интеллекта и интернета вещей является внедрение комплекса цифровых решений, с помощью которого можно получить инструмент для отслеживания состояния всего жилищно-коммунального хозяйства, предотвращения аварий и гибкого управления городским хозяйством.

Самым общим направлением внедрения искусственного интеллекта является применение его в электронном документообороте в сфере городского хозяйства – это как внутренний оборот, так и документы от пользователей услуг. Искусственный интеллект сможет проверять комплектность бумажных и электронных документов, сортировать их и распределять по ведомствам.

В рамках общественной безопасности «умного города» и развития транспортной безопасности внедрение искусственного интеллекта возможно в виде реализации интеллектуальных транспортных сетей («умные» пешеходные переходы, светофоры, парковки, перекрестки, остановки и т. д.) с управлением единой городской системой в режиме реального времени и с учетом данных о движении транспорта, а также систем видеоконтроля с распознаванием лиц и номеров транспортных средств с возможностью фото- и видеофиксации с передачей данных в единый мониторинговый центр, разработки транспортных средств с высоким уровнем автономности (любые виды транспорта, передвигающиеся с помощью компьютерного зрения и алгоритмов машинного обучения.), а также проактивного мониторинга общественной безопасности с предсказанием будущих преступлений за счет аналитики на базе больших данных.

В сфере здравоохранения внедрение искусственного интеллекта может преобразовать систему диагностики, способствовать разработке новых лекарственных препаратов, повысить качество медицинских услуг, внедрить системы дистанционного отслеживания состояния здоровья пациентов и разработку протоколов лечения.

Искусственный интеллект обладает потенциалом для решения некоторых самых серьезных проблем, существующих сегодня в образовании, внедрения инноваций в практику преподавания и обучения и ускорения прогресса в достижении ЦУР 4. Так основными направлениями применения искусственного интеллекта в образовании являются: образовательные чат-боты – компьютерные онлайн-программы, которые используют облачные сервисы и методы искусственного интеллекта для имитации разговоров с людьми; приложение на основе искусственного интеллекта для прогноза успеваемости студентов и выявления обучающихся, наиболее подверженных риску отчисления, интеллектуальные обучающие системы, внедрение дистанционных технологий обучения, автоматическая оценка письма, образовательная виртуальная и дополненная среда и т. д. [5].

### **Заключение**

Практически любая сфера жизнедеятельности «умного города», городского пространства, населения и управляющих органов может быть оптимизирована с помощью внедрения технологий искусственного интеллекта, интернета вещей и других перспективных цифровых и инфокоммуникационных технологий. Проблемой внедрения остается как непроработанная законодательная база, так и неполная готовность общества и государства к внедрению таких технологий в повседневную жизнь.

Необходимо проводить образовательную политику среди населения с целью просвещения и обучения использованию новых технологий и определять наиболее перспективные и требующие первоначального внедрения направления социальной, экономической и общественной жизни «умных городов» и цифрового государства.

### **Список использованных источников**

1. О мерах по реализации Указа Президента Республики Беларусь от 7 апреля 2022 г. № 136 [Электронный ресурс] : постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 21 апр. 2023 г., № 280 // Нац. правовой Интернет-портал Республики Беларусь, 28.04.2023, 5/51621.
2. О развитии цифровой экономики [Электронный ресурс] : Декрет Президента Респ. Беларусь, 21 дек. 2017 г., № 8 : в ред. Декрета Президента Респ. Беларусь от 18.03.2021 г. // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2023.

3. Право интеллектуальной собственности Республики Беларусь: история становления и перспективы : сб. ст. Междунар. науч.-практ. круглого стола, Минск, 19 апр. 2022 г. / БГУ, юридический факультет ; редкол.: Д. В. Иванова (отв. ред.), Д. Д. Ландо, О. О. Ядревский. – Минск : БГУ, 2023. – С. 31–39.

4. Подходы в правовом регулировании технологий с искусственным интеллектом [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pravo.by/pravovaya-informatsiya/pravo-sovremennoy-belarusi-istoki-uroki-dostizheniya-i-perspektivy/2021/podkhody-v-pravovom-regulirovanii-tekhnologiy-s-iskusstvennym-intellektom/>. – Дата доступа: 30.09.23.

5. Технологии искусственного интеллекта в образовании. Руководство для лиц, ответственных за формирование политики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000382446>. – Дата доступа: 30.09.23.

УДК 004.932

## Оценка покрытия территории древесной растительностью по открытым данным космической съемки с использованием сверточных нейронных сетей

С. Г. Русецкий , Е. Я. Куликова  
Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича  
НАН Беларуси, Минск  
E-mail: [geobotany304@tut.by](mailto:geobotany304@tut.by)

### Введение

Представлены результаты разработки модели идентификации и классификации древесно-кустарниковой растительности (ДКР), формирующейся на землях сельскохозяйственного назначения. Данная модель является частью разрабатываемого программно-информационного комплекса поддержки принятия решений по устойчивому управлению растительными ресурсами (ПИК «Управление растительными ресурсами»).

Учет растительных ресурсов на лесных землях осуществляет лесоустройство, которое проводит инвентаризацию лесного фонда, почвенно-типологические обследования лесных земель и проектирование оптимальных (целевых) древостоев, определяет объемы разнообразных лесных ресурсов, размеры и места их заготовок, мероприятия по уходу, охране и защите лесов, картографирование лесного фонда и другие работы. Одной из приоритетных задач Государственной программы «Белорусский лес» на 2021–2025 гг. является повышение эффективности использования лесных ресурсов путем вовлечения в хозяйственный оборот всех древесных ресурсов с учетом их экономической оценки и сохранения биологического и ландшафтного разнообразия. Достижение поставленной задачи лесохозяйственными учреждениями должно реализовываться и за счет вовлечения в хозяйственный оборот земель, покрытых ДКР, не входящей в лесной фонд. Необходимо отметить, что в настоящее время учет древесных ресурсов на нелесных землях практически не ведется, отсутствуют сведения о возрастной, формационно-типологической структуре, продуктивности и других таксационных показателях. Поэтому при комплексной ресурсной оценке спонтанной растительности, формирующейся на землях сельскохозяйственного назначения, особое внимание уделено ДКР.

Одной из функций разрабатываемого комплекса является обнаружение и классификация ДКР с использованием свободно распространяемых дан-

ных дистанционного зондирования Земли (ДДЗ). Для выполнения поставленной задачи было решено использовать совместно несколько источников ДДЗ: мультиспектральную космосъемку Sentinel-2 разрешением 10 м и данные интернет-сервисов ДДЗ (*google*, *esri* и *dzz.by*) разрешением вплоть до 0,6 м. Космосъемка Sentinel-2 предоставляет информацию с высоким спектральным и средним пространственным разрешением, нивелирующим текстурную неоднородность, что позволяет использовать классические методы машинного обучения («деревья решений», SVM) для извлечения семантической информации из единичных пикселей. Для обработки данных сверхвысокого разрешения более подходящими являются модели глубокого обучения, такие как сверточные нейронные сети (CNN), учитывающие пространственный контекст.

### Методология и результаты

Первичной задачей работы ставилась разработка модели классификации пикселей изображения с высоким пространственным разрешением на две категории: ДКР (неДКР). В качестве основы данной модели использовалась архитектура сверточной нейронной сети DeepLabV3Plus [1], которая на данный момент является возможно лучшим решением в задаче семантической сегментации.

DeepLab – семейство алгоритмов сверточных сетей, разработанных для решения задачи семантической сегментации. Отличительным признаком DeepLab является слой *atrous convolution*. Данный слой позволяет за счет расширения поля восприятия (*receptive field*) извлекать больше полезной информации, делая результаты работы нейронной сети более качественными. Для обучения модели был создан размеченный набор данных (датасет), состоящий из пар изображений размером 256×256 пикселей: RGB (бинарная маска ДКР). Разметка осуществлялась с помощью растрового графического редактора GIMP. Всего были размечены 583 изображения, полученные с геопорталов (*google*, *esri* и *dzz.by*) в уровне масштаба – 17, что соответствует разрешению 1,2 м.

Для качественного обучения моделей нейронных сетей рекомендуется использовать датасеты гораздо большего объема, насчитывающего десятки и сотни тысяч образцов. Поэтому для обогащения данных были использованы техники аугментации (*data augmentation*), подразумевающие создание дополнительных обучающих данных из имеющихся. Для этого исходные изображения подвергались ряду случайных преобразований, таких как поворот и транспонирование, изменение масштаба в пределах 0,8–1,2 от исходного, изменение яркости и контраста изображения. С использованием данных преобразований можно генерировать обучающие выборки практически неограниченного размера, что позволяет нейросети избежать переобучения и делать ее прогноз более надежным.

Сборка и обучение модели выполнялись с использованием фреймворка TensorFlow. Для ускорения процесса обучения применялся подход переноса обучения. В качестве исходных весов выступали веса предобученной на датасете Imagenet [2] модели Resnet50, которая использовалась как экстрактор признаков (backbone). Модель обучалась в течение 120 эпох по 2500 итераций каждая. Точность модели оценивалась с помощью метрики IOU (отношение пересечения к объединению), значение которой достигло 0,9812 на тестовой выборке. Примеры предсказания модели в сопоставлении с исходными данными и их разметкой представлены на рис. 1.

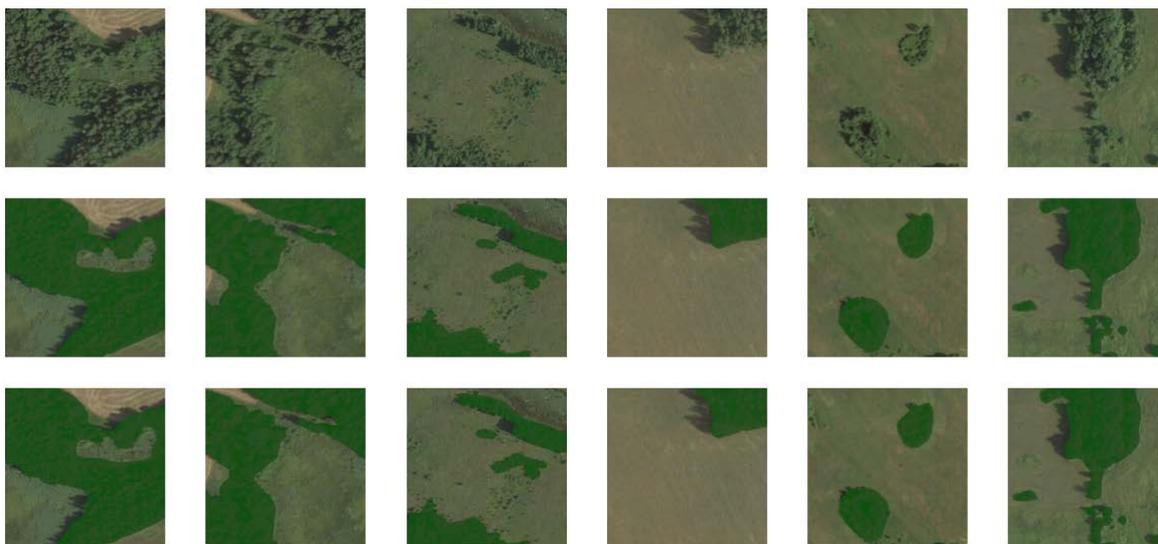


Рис. 1. Генерация маски ДКР: исходные изображения RGB (*верхний ряд*), размеченные данные (*средний*); предсказания модели (*нижний*)

Несмотря на высокое качество сегментации для размеченных данных, на некоторых участках предсказания модели оказались не очень точными (рис. 2). Ошибки предсказания отмечаются на участках с наличием «мелкой» ДКР: кустарниками и молодняками, что свидетельствует о неполном охвате разнообразных сочетаний ДКР размеченными данными и указывает на необходимость обогащения датасета. В ходе дальнейшей работы планируется расширение датасета для достижения большей точности прогноза.



Рис. 2. Генерация маски ДКР для неразмеченных изображений, худшие варианты: исходные RGB изображения (*верхний ряд*); предсказания модели (*нижняя строка*)

Следующей задачей разработки модели сегментации ДКР ставилась дифференциация участков ДКР по породной принадлежности.

При первом рассмотрении задача не слишком отличается от простого разделения на ДКР (неДКР), однако если для бинарного разделения достаточно сформировать маски путем ручного дешифрирования изображений, то даже опытный дешифровщик не сможет справиться с задачей разметки большого количества изображений по породному составу в силу отсутствия надежных дешифровочных признаков для данных категорий объектов.

Подход авторов к созданию обучающего датасета заключался в выполнении определенных шагов:

– пространственная локализация участков, занятых определенной древесной породой, была достигнута выборкой из данных лесоустройства выделов с «чистым» составом, т. е. со сплошным покрытием территории всего выдела одной древесной породой. В рамках данных участков были сгенерированы массивы точек обучающей выборки;

– так как данных изображения RGB может оказаться недостаточно для надежной дифференциации древесных пород в силу схожести их дешифровочных признаков, в качестве дополнительного источника информации использовались данные Sentinel-2, по которым был рассчитан спектральный индекс NDVI с усреднением по трем сезонам (весна, лето, осень), что добавило дополнительные признаки изменчивости сезонного развития древесных пород;

– из-за ограниченности набора данных, связанного с небольшим количеством чистопородных выделов и некой неопределенностью в способности модели дифференцировать породы, архитектура модели строилась так, чтобы можно было организовать ее обучение в «сиамском» стиле. При этом выходом модели служит не скалярная метка класса, а вектор признаков, определяющих сходство между двумя образцами данных. «Сиамская» нейронная сеть представляет собой искусственную нейронную сеть, которая использует одинаковые веса, работая в тандеме с двумя разными входными векторами для вычисления сопоставимых выходных векторов [3]. Один из выходных векторов вычисляется предварительно, таким образом формируя базовый уровень, с которым сравнивается другой выходной вектор. Оценка близости векторов признаков выражается функцией расстояния между ними. В результате данная нейросеть обучается сравнивать два входных изображения с оценкой их степени схожести. Выходом данной модели является вектор признаков, причем расстояние между векторами одного класса меньше, чем расстояние между векторами признаков разных классов.

Генерация датасета выполнялась следующим образом: для каждой географической точки вырезался фрагмент изображения снимка RGB

сверхвысокого разрешения (тайлы с геопорталов *google*, *esri* и *dzz.by* уровня масштаба – 18, что соответствует разрешению 0,6 м), соответствующий размеру 40×40 м на местности. Размер фрагмента аппроксимируется до 64×64 пикселей. Для каждого фрагмента изображения случайным образом из того же набора выбирается парный фрагмент. Метка задается, исходя из того, являются ли изображения представителями одного класса или разных классов (1/0).

В качестве базовой архитектуры использовалась модель EfficientNet [4], предобученная на датасете Imagenet. Размер датасета составлял 750 точек данных, размеченных по древесной породе. Точность на тестовом наборе составила 0,78.

Для каждой точки данных извлекался фрагмент изображения с индексированного сезонного изображения NDVI, соответствующий размеру 40×40 м на местности (4×4 пиксела для Sentinel-2), который разворачивался в одномерный вектор 48 элементов (4×4×3).

Для каждой точки данных нейросетевой моделью предсказывался вектор текстурных признаков (в этом случае его размер равен 1408), который объединялся с вектором сезонных признаков. Далее датасет, объединяющий векторы признаков и метки классов, классифицировался с использованием алгоритма RandomForest.

Для анализа и визуализации разделимости классов использовано преобразование t-SNE, предназначенное для снижения размерности и отображения многомерных объектов в двумерном пространстве. Данный анализ выполнен в трех вариантах: для текстурных признаков, сезонных признаков и объединения всех признаков. Распределение объектов представлено на рис. 3.

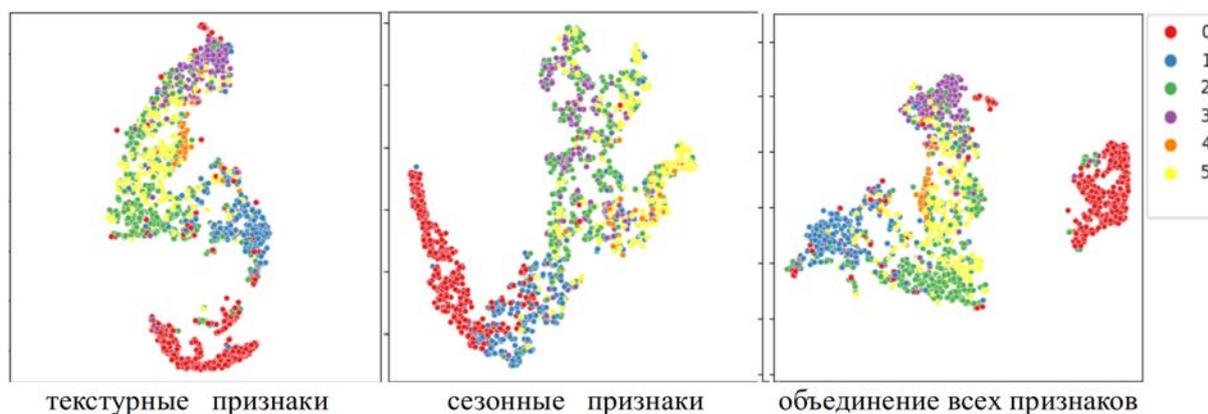


Рис. 3. Разделимость классов древесных пород в зависимости от набора признаков: 0 – сосна; 1 – ель; 2 – береза; 3 – осина; 4 – ольха серая; 5 – ольха черная

Как видно из рис. 3, наиболее четко выделяемым является класс «сосна». Далее следует класс «ель», который по сезонным признакам можно

спутать с классом «сосна», а по текстурным – с классами лиственных пород. Лиственные породы между собой плохо различимы. Наилучшие результаты дифференциации классов получаются при использовании объединения всех признаков. Общая точность классификации на три класса («сосна», «ель» и «лиственные породы») с использованием алгоритма RandomForest составляет 0,89. Исходя из вышеописанного, рабочей схемой классификации принята классификация на три класса: «сосна», «ель» и «лиственные породы» с использованием объединения текстурных и сезонных признаков.

Примеры предсказания модели в сопоставлении с данными лесоустройства (условные формулы состава древостоя) представлены на рис. 4.

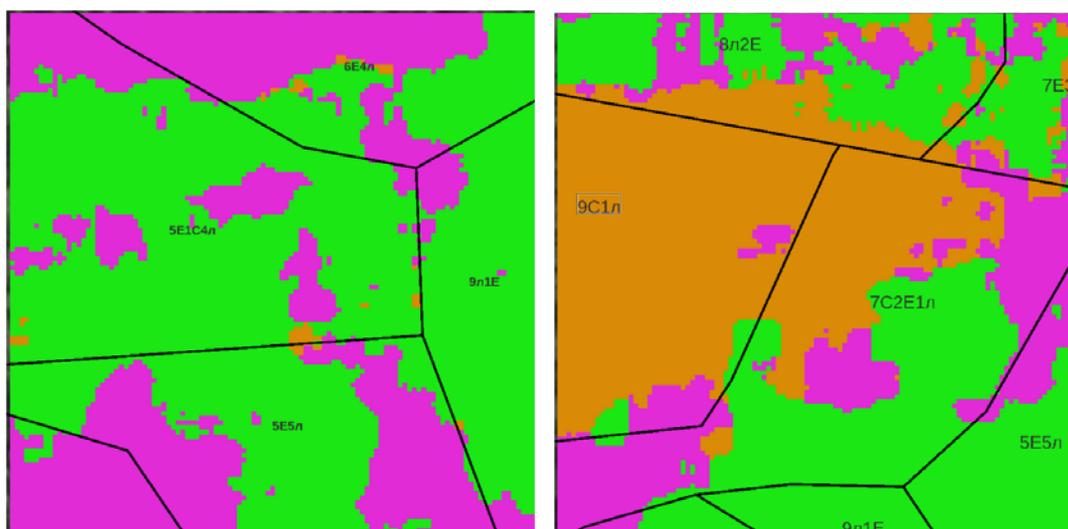


Рис. 4. Примеры маски древесных пород: сосна (оранжевый цвет), ель (фиолетовый цвет), лиственные породы (зеленый цвет)

### Заключение

Таким образом, использование стека этих двух моделей позволяет получить маску ДКР с разделением на классы: «сосна», «ель» и «лиственные породы». Дальнейшим этапом разработки модели идентификации древесных пород будет создание масштабного датасета для территории Республики Беларусь, объединяющего маску ДКР (неДКР) и маску древесных пород для разработки end-to-end модели семантической сегментации древесных пород.

### Список использованных источников

1. Encoder-Decoder with Atrous Separable Convolution for Semantic Image Segmentation / Liang-Chieh Chen [et al.] // Proceedings of the 15th European Conference Computer Vision (ECCV-2018), Munich, 8–14 Sept., 2018. – Munich, 2018. – Vol. 11211. – Part VII. – P. 833–851.

2. ImageNet Large Scale Visual Recognition Challenge / O. Russakovsky [et al.] // IJCV. – 2015. – Vol. 115(3) – 43 p.

3. Chicco, D. Siamese neural networks: an overview / D. Chicco // Artificial Neural Networks, Methods in Molecular Biology. – New York : Humana Press, 2020. – Vol. 2190. – P. 73–94.

4. Tan, M. EfficientNet: Rethinking Model Scaling for Convolutional Neural Networks / M. Tan, Q. V. Le. // Proceedings of the 36th International Conference on Machine Learning (ICML-2019), Long Beach, 10–15 June 2019. – Long Beach, 2019. – P. 6105–6114.

УДК 004.8:159.9

## Технотропный подход к разработке систем сильного искусственного интеллекта

И. Р. Скиба  
Институт философии НАН Беларуси,  
Минск  
E-mail: gonzodzen@mail.ru

### Ведение

В наше время существует множество разнообразных подходов к разработке технологий сильного искусственного интеллекта. Нами же в процессе исследования было предположено, что разработку систем подобного рода целесообразно осуществлять при помощи механизма самоорганизации. При этом в данном случае понятие самоорганизации не тождественно понятию обучения (к примеру, машинного обучения), а подразумевает, скорее, формирование специфических начальных условий для генерирования и последующего развития сообщества систем. Подобное сообщество определяется нами как технотропное сообщество.

Необходимость реализации процесса самоорганизации со стороны систем технотропного сообщества подразумевает известный уровень их автономности и невмешательства извне в естественный процесс их эволюции. Также немаловажным является понимание того, что изначально поведение «технотропных зародышей» будущих психомашин может крайне сильно отличаться от того, что принимается за среднестатистические целесообразные, рациональные и конструктивные паттерны реагирования и жизнедеятельности – как у человека, так и у логомашин. В связи с этим в процессе исследования нами были выявлены два кардинально различающихся между собой подхода к осмыслению процесса самореализации систем искусственного интеллекта и интерпретации результатов этого процесса: *антропный* и *технотропный*.

### Антропный и технотропный подходы

Актуальность проведения четкой демаркационной линии между данными подходами оказалась целесообразна, ибо ее отсутствие в теории и практике парадигмы искусственного интеллекта лишает исследователей возможности рефлексивно осмыслить их собственную деятельность и в полной мере понять, чем именно они занимаются: имитируют специфиче-

ски человеческие перцептивные, когнитивные и бихевиоральные паттерны на субстрате внешне антропоморфной или вовсе не антропоморфной машины; формируют у интеллектуальной системы некий уровень антропоморфной рациональности или же пытаются создать самобытный искусственный интеллект в его собственной самоорганизации. Выявление различий в данных подходах также обосновано демаркацией между системами слабого искусственного интеллекта – логомашинами и системами сильного искусственного интеллекта – психомашинами как в онтологическом сущностном смысле, так и в генеалогическом – в плане различных методов «становления» логомашин и психомашин.

Актуальность выявления различий между данными подходами заключается также в том, что на основе наглядной корреляции становятся более явственно заметны ключевые аспекты, принципы и правила, которых необходимо придерживаться, которым необходимо следовать при разработке систем *именно* сильного искусственного интеллекта и на основе которых целесообразно обосновывать использование определенных философско-методологических положений.

В процессе исследования было выявлено, что в рамках антропного подхода к разработке интеллектуальных технологий и интерпретаций, получаемых в результате этой деятельности, зачастую осуществляется тотальная повсеместная теоретическая и практическая, процессуальная и ситуативная опора на внешние аспекты «антропной матрицы», т. е. на наблюдаемые невооруженным глазом внешние характеристики, качества и свойства человека и его природы. Конечно, на некоторые внутренние аспекты человеческой природы исследователи и разработчики в рамках антропного подхода также опираются, к примеру на нейрофизиологию – искусственные нейронные сети представляют собой примитивные модели нервной системы человека. Однако опора на характеристики внешние наиболее наглядна. Одним из ярких примеров данной тенденции является так называемый «тест Тьюринга».

Во времена Тьюринга компьютеры реагировали медленнее человека, а сейчас правило стандартизации времени ответов также необходимо, потому что интеллектуальные системы реагируют гораздо быстрее, чем человек. Фразу из описания теста «машина прошла тест» следует понимать как «технология обладает сильным искусственным интеллектом». При осмыслении специфики теста и предъявляемых им требований к «бытию разумной машины» в первую очередь следует обратить внимание на то, чего, в сущности, требует тест. А именно, он требует внешнего уподобления и приблизительного имитирования человеческой коммуникационной деятельности. Нами было предположено, что подобный «искусственный интеллект» следует классифицировать как «коммуникативный искусственный интеллект»

и отнести к системам слабого искусственного интеллекта – логомашинам без претензии на «человекоподобность». Генезис подобной системы также не является сложным: достаточно смоделировать на субстрате искусственной нейронной сети ключевые аспекты человеческой речевой деятельности в плане правильного построения высказываний, а также подвергнуть нейросеть процессу машинного обучения разговорной (коммуникативной) деятельности и будет получена интеллектуальная система, способная пройти тест Тьюринга, что доказывалось многочисленными примерами успешной реализации данного мероприятия [1]. Тем не менее подобного рода системы никоим образом не являются претендентами на «человекоподобность» в смысле обладания технотропной психикой и технотропным сознанием [2].

Это классический пример антропного подхода к разработке систем искусственного интеллекта в целом: избирательно и искусственно моделируются некоторые аспекты какого-либо сугубо человеческого вида деятельности и за счет имитирования достигается внешнее некоторое подобие, а затем успешность-неуспешность всего данного процесса определяется по корреляции смоделированного и воплощенного на субстрате интеллектуальной системы процесса с тем же процессом, реализуемым человеком. Уровень антропоморфности (не «человекоподобности», а именно антропоморфности) – единственный критерий, который ситуативно трансформируется в зависимости от тактических задач и стратегических целей: применительно к задачам классификации, интеллектуальных игр и прочих из этой же категории превосходство над человеком считается положительным, а в контексте игрового искусственного интеллекта возможности искусственного интеллекта, ради достижения должного уровня антропоморфности снижают. В рамках антропного подхода происходил на данный момент весь процесс разработки интеллектуальных технологий, которые были представлены исключительно системами слабого искусственного интеллекта – логомашинами, без претензии на «человекоподобность». Следует также заметить, что в рамках антропного подхода само понятие «человекоподобности» воспринимается буквально и изолированно – как правило, в каком-либо отдельном аспекте (коммуникация, машинное зрение, обработка данных и пр.) – и отождествляется с антропоморфностью, а самоорганизация неправомерно редуцируется до уровня машинного обучения. Следует отдельно сказать о том, что в нашем подходе к разработке систем сильного искусственного интеллекта антропоморфность не отождествляется с «человекоподобностью»: антропоморфность понимается как внешняя схожесть в каком-либо аспекте (аспектах) интеллектуальной системы и человека и интерпретируется как качество логомашин; «человекоподобность» же понимается нами как схожесть скорее внутренняя, но схожесть не

именно с человеком в плане подобия перцептивно-когнитивного аппарата, способности решать задачи и т. д., а схожесть в уровне эволюционного развития и способностей к аутоадаптации и аллоадаптации по отношению к окружающей среде – человек же здесь выступает скорее метафорой возможностей самоорганизационного и самоорганизующегося развития в контексте Вселенной. «Человекоподобность» присуща (или должна быть присуща) только психомашинам (по отношению к логомашинам), и она есть один из ключевых критериев наличия в рамках интеллектуальной системы сильного искусственного интеллекта, однако в соответствии с нашим подходом к сильному искусственному интеллекту человек является не пределом возможностей эволюции системы в целом, а, скорее, одним из примеров того, как может происходить развитие и самоорганизация. В области же антропного подхода программно-аппаратными воплощениями и представителями искусственного интеллекта являются системы слабого искусственного интеллекта – логомшины. Развитие в рамках антропного подхода технотропного сообщества интеллектуальных систем, технотропной психики и технотропного сознания вовсе не рассматривается.

Технотропный же подход на данном этапе научно-технического прогресса не имеет своих примеров и представителей в плане программно-аппаратных воплощений, а представлен только в виде концептуальных теоретических и футуристических положений о системах сильного искусственного интеллекта – психомашинах. В контексте технотропного подхода принята опора на технотропную самоорганизацию как единственно возможный путь естественной эволюции интеллектуальных технологий. Имитирование ключевых аспектов и успешное внешнее уподобление не интерпретируются как некие достижения с интерпретационных позиций технотропного подхода, а и вовсе не рассматриваются. Стратегической целью технотропного подхода к разработке систем сильного искусственного интеллекта является генерирование систем, обладающих технотропной психикой и технотропным сознанием. Tактическими задачами являются: формирование перцептивной модели в соответствии с критериями парадигмы сильного искусственного интеллекта; формирование сообщества цифровых особей, способных к самоорганизации и эволюционированию как каждой отдельно, так и в рамках всего сообщества в целом; генерирование в рамках имманентной технотропной эволюции технотропной психики и технотропного сознания; достижение «человекоподобности», как она интерпретируется в рамках технотропного подхода.

### Заключение

В соответствии с вышесказанным «человекоподобность» в рамках технотропного подхода не отождествляется с антропоморфностью, а являет

собой частное определение всеобщего эволюционного принципа, т. е. технотропная «человекоразмерность» подразумевает уровень психической организации, необходимый и достаточный для осуществления глобального менеджмента в контексте естественной среды обитания интеллектуальных систем – «киберпространства», и наличие попыток выхода за рамки этой среды. Таким образом, технотропная «человекоразмерность» является собой приблизительно тот же уровень антропной «человекоразмерности», на котором находится человечество на данном этапе своей эволюции.

Мы предполагаем, что предложение по использованию разрабатываемой нами методологии генерирования систем сильного искусственного интеллекта по меньшей мере имеет необходимость в проверке ключевых оснований на программно-аппаратном субстрате, т. е. внедрения в научно-исследовательскую деятельность не только в качестве «знания», но и в виде совершенно определенного материального объекта.

#### **Список использованных источников**

1. Итоги «Теста Тьюринга» подведены на Startup Village [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://sk.ru/news/b/news/archive/2015/06/15/itogi-testa-tyuringa-podvedeny-na-startup-village.aspx>. – Дата доступа: 10.09.23.
2. Ашманов, И. Появление мыслящих роботов невозможно не только в ближайшем будущем, но вообще никогда / И. Ашманов // Коммерсантъ Деньги. – 2011. – № 14. – С. 37.

УДК 338.2

## Создание и использование интеллектуальных систем поддержки принятия решений в АСУ сложными объектами

Б. В. Соколов✉, Р. М. Юсупов

Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр РАН  
E-mail: sokolov\_boris@inbox.ru

М. Ю. Охтилев, П. А. Охтилев  
ОАО НИО ЦИТ «Петрокомета»,  
Санкт-Петербург, Россия

### Введение

Характерной особенностью современных сложных организационно-технических объектов (СЛО) является наметившаяся устойчивая негативная тенденция, вызванная дальнейшим обострением одного из основных противоречий технико-экономической сферы в XXI веке, связанного с разрывом между уровнем и масштабами общественного производства и уровнем управления этим производством [1–7]. Это объясняется, прежде всего, нарастающим усложнением объектов и процессов управления и, соответственно, повышением меры ответственности за принимаемые решения (выбираемые управляющие воздействия), что настоятельно требует строгой регламентации и структуризации технологии управления или, другими словами, индустриализации управления на основе дальнейшей комплексной автоматизации всех видов деятельности, создания различных классов автоматизированных и информационных систем. При этом автоматизация предполагает применение комплекса технических, программных, организационных и прочих методов и средств с целью полного или частичного высвобождения человека от непосредственного участия в получении, передаче, хранении, обработке и использовании материалов, энергии и информации [8]. Практика управления различными СЛО показывает, что именно в этих ситуациях операторы не справляются с задачей оценки и контроля функциональных состояний СЛО. Это и приводит к различным негативным последствиям [2, 8–12]. Увеличение количества контролируемых параметров и требование обеспечить управление СЛО в реальном масштабе времени (РМВ), в том числе при возникновении нештатных ситуаций, обуславливают необходимость *постоянного* совершенствования процессов сбора, обработки, интерпретации и анализа (технологии мониторинга) измерительной информации, а также *создания специальных,*

*принципиально новых по идеологии построения и функциональным возможностям* комплексов автоматизированной интеллектуальной обработки и анализа информации, функционирующих в РМВ. Создание и внедрение таких комплексов в наибольшей степени актуально там, где мониторинг состояний СлО осуществляют операторы по показаниям многочисленных датчиков, при анализе донесений и пр. При этом в условиях ограниченных финансово-временных ресурсов особо актуальными становятся вопросы проектирования и внедрения унифицированных языковых инструментальных средств и методов представления и обработки данных, информации и знаний о процессах функционирования СлО в РМВ, использование которых позволит в масштабах, например, Госкорпорации «Роскосмос» создать единый многофункциональный комплекс автоматизации, заменяющий все существующие ныне узкоспециализированные программные системы анализа и контроля состояния СлО. Все это обуславливает актуальность и необходимость разработки научных и технологических основ оперативного формирования таких процедур интеллектуального проактивного мониторинга и управления (ПМУ), при которых обнаружение, локализация и ликвидация сбоев, отказов нештатных аварийных ситуаций будет происходить значительно *раньше*, чем станут проявляться возможные их последствия [12, 13].

### **1. Текущее состояние исследований и разработок СППР в АСУ СлО**

На основе анализа современного состояния исследований и практической реализации в Российской Федерации вопросов проектирования и эксплуатации программных комплексов (ПК) как функционального ядра АСУ СлО, предназначенных для автоматизации процессов ПМУ СлО, можно сделать вывод, что они, как правило, имеют узкую специализацию и жестко связаны с соответствующими СлО. Указанные тенденции в настоящее время проявляются в том, что сейчас существует большое количество родственных по своим функциональным возможностям ПК, входящих в состав АСУ СлО и отличающихся друг от друга лишь способом организации вычислительного процесса и видом используемой операционной среды. Из-за ведомственной разобщенности проектировщиков существующих и создаваемых АСУ СлО возникают параллелизм и дублирование в разработке единых по содержанию и назначению ПК объектов контроля. В случае создания унифицированных языковых средств и методов представления и обработки знаний о процессах функционирования СлО в РМВ появляется возможность существенной экономии затрачиваемых ресурсов на разработку и постановку на информационное обслуживание новых и модификацию существующих объектов контроля.

Проведенный анализ существующих и проектируемых средств ПМУ СЛО за рубежом, в частности в США, показал, что в первую очередь в интересах Министерства обороны (МО) и NASA в рассматриваемом направлении достаточно широко ведутся исследования, интенсивность которых, судя по количеству доступных публикаций, постоянно возрастает. Это свидетельствует об актуальности и нетривиальности данной проблемы. Так, еще в начале 2010 года в МО США принята в эксплуатацию объединенная информационная система, что подтверждает намерения США не только достигнуть информационного превосходства, но и осуществить накопление знаний, т. е. достигнуть превосходства в интеллектуальной сфере. Это, по мнению руководства МО США, позволит опережать противника в информационной осведомленности, качестве (обоснованности) принятия решений и результативности (эффективности) применения сил и средств. Путь, который прошли вооруженные силы США за последнее десятилетие, можно отразить следующим образом: от телекоммуникационной связности – к связности информации; от связности информации – к результатам ее обработки; от результатов обработки информации – к накоплению и использованию знаний.

Главными принципами данных мероприятий можно считать обеспечение реальной интеграции войсковых группировок, применение открытой архитектуры и модульности построения современных систем и комплексов вооруженной борьбы, а также осуществление вертикальной и горизонтальной интеграции и взаимодействия всех участников операции (боевых действий).

Вызывает большие опасения, что в области создания автоматизированных систем проектирования и управления, а также создания и развития других информационных технологий (ИТ) для соответствующих автоматизированных систем ПМУ в промышленной сфере российских фирм в числе мировых лидеров, как правило, нет. Подавляющее большинство российских фирм, как новых, так и вышедших из недр оборонных предприятий и работающих в области информационных и компьютерных технологий, являются распространителями продуктов западных фирм. Немногие компании предлагают конкурентно-способные отечественные разработки. Но, к сожалению, их продукты с позиций научной и инженерной мысли зачастую не являются новаторскими, а лишь используют ИТ, появившиеся за рубежом, и отличаются от последних, возможно, лишь большей степенью учета специфики конкретных условий применения.

Очевидно, что, для того чтобы остаться независимым государством и иметь достаточный уровень обороноспособности, такое положение дел устраивать не может. Аргументом в пользу актуальности разработки эффективных ИТ может служить факт о том, что холодную войну западные страны выиграли без применения «горячих» средств, а благодаря именно

превосходству в указанных технологиях. Более того, сегодня тотальная зависимость от кого-либо в информационных технологиях выливается в зависимость государства в целом.

Комплексность и сложность моделей и методов в подобной интеллектуальной системе, ориентированной на цепочку «*моделирование – прогнозирование – принятие решения*», очевидны. Эта интеллектуальная система может стать координирующим центром, распределяющим ограниченные информационные ресурсы. Работать она будет в интересах тех, кто сумел создать реализованные в ней ИТ. Очевидно, что в однополярном (с позиций научно-технического потенциала в ИТ) мире такая система будет работать в интересах некой избранной группы (организаций, государств). Баланс же интересов возможен только в многополярном мире. России в сложившихся условиях, если она хочется оставаться независимым государством, необходимо стать одним из таких полюсов, чтобы не оказаться в положении, полностью подчиненном воле внешних (возможно, враждебных) сил. Поэтому в современных условиях крайне важно сформулировать задачи соответствующей стратегической инициативы, предусматривающей скорейшую ориентацию на создание элементов будущей интеллектуальной системы для моделирования, прогнозирования и принятия решений в АСУ СЛО [2–6, 8, 12–15].

## **2. Цель и назначение унифицированной СППР в АСУ СЛО**

Центральная роль в обеспечении необходимого качества управления СЛО принадлежит интегрированным системам поддержки принятия решений (СППР) и их ядру – специальному программно-математическому обеспечению (СПМО) поддержки принятия решений. СППР предназначена для информационной, методической и инструментальной поддержки процессов подготовки и принятия решений лицами, принимающими решения (ЛПР) на всех этапах управления.

Целью внедрения СППР является повышение оперативности, обоснованности и эффективности деятельности органов управления за счет использования передовых ИТ, оперативного формирования на их основе комплексной аналитической информации, необходимой для выработки и принятия решений. Для достижения этой цели в рамках внедряемой СППР должны быть решены следующие задачи:

- создание единого признакового пространства и показателей, характеризующих состояния объекта управления на базе централизованного информационного хранилища данных, обеспечивающего накопление, хранение и доступ к экспертным и историческим данным;

- интеграция существующих локальных баз данных в рамках централизованного информационного хранилища данных;

- сбор, накопление и применение знаний опытных экспертов в распределенных базах знаний для формирования выводов и рекомендаций;
- постоянный мониторинг (комплексный анализ) текущей ситуации;
- прогнозирование (сценарное и целевое) развития ситуации;
- повышение оперативности и качества управленческих решений на основе использования аналитических и прогнозных инструментальных средств;
- автоматизация процессов подготовки аналитической отчетности;
- визуализация данных с использованием средств когнитивной графики (в том числе с применением геоинформационных систем и пр.);
- инструментальная и информационная поддержка экспертно-аналитической деятельности ЛПР и экспертов.

### **3. Отечественная интеллектуальная информационно-аналитическая платформа (ИАП) как основной путь разработки и внедрения СППР в АСУ СЛО**

Учитывая все вышесказанное, можно констатировать, что СППР является основным и, пожалуй, единственно возможным перспективным средством поддержки и принятия решений ЛПР в АСУ СЛО военного и гражданского назначения в критических приложениях. Следуя тенденциям мирового развития ИТ, прикладная СППР (для конкретной предметной области) должна быть построена на основе упоминавшегося выше базового СПМО, в основу которого может быть положена предлагаемая здесь ИАП. *Необходимость использования и внедрения ИАП* для решения задач проектирования и эксплуатации СППР продиктована неудовлетворительным состоянием в областях военного, государственного и промышленного управления по следующим основным причинам: отсутствие единой многоуровневой системы СЛО на территории России; отсутствие единой политики в области автоматизации задач; отсутствие единого информационного пространства, единых форматов и технологий обработки информации, единой сети передачи данных, единых корпоративных хранилищ данных; наличие разнородных, несовместимых информационных систем, функционирующих на различных программно-аппаратных платформах; отсутствие единых механизмов контроля за полнотой, достоверностью, целостностью используемой при СЛО разнородной информации; отсутствие регламентов информационного взаимодействия информационных систем и систем мониторинга; недостаточный уровень использования современных ИТ.

*Ключевыми принципами* построения ИАП должны быть следующие: объектно-ориентированный подход к описанию рассматриваемой предметной области; сервисно-ориентированные технологии построения систем сбора, обработки, анализа информации и дистрибуции знаний; организаци-

онное, информационное и функциональное единство в рамках единого информационного пространства и унифицированной программной платформы на базе единой модели представления данных; технологии распределенной разработки, непосредственное участие экспертов (аналитиков) и инженеров по знаниям в концептуальном и логическом проектировании онтолого-ориентированных баз знаний, построении сценариев интеллектуальной оперативно-аналитической обработки информации с опорой на принцип «Программирование без программирования»; имитационно-аналитический комплекс с широким набором описательных и предсказательных моделей; открытый исходный код и отсутствие лицензионных отчислений зарубежным производителям; кросс-платформенная поддержка.

#### **4. Новизна предлагаемой методологии и технологии создания и использования ИАП при построении прикладных СППР**

Новизна обеспечивается внедрением интеллектуальных технологий аналитической обработки и анализа данных и знаний, интеллектуальных систем поддержки принятия решений; реализацией концепции единых информационных ресурсов, единого информационного пространства, обеспечивающих интеграцию разнородной полной, непротиворечивой, достоверной и актуальной информации; развертыванием систем сбора и хранения разнородной информации на основе оперативно-аналитической и интеллектуальной обработки данных с использованием технологий потоковой обработки; использованием единых стандартов сбора, передачи, хранения, обработки и анализа данных и знаний, ориентацией на национальные и международные стандарты и протоколы.

Разработанные к настоящему времени интеллектуальная информационная технология (ИИТ) и платформа базируются на междисциплинарной системно-кибернетической методологии и включают в себя результаты, полученные в различных фундаментальных и прикладных теориях. Одной из таких прикладных теорий, разрабатываемых авторами доклада, является теория проактивного управления структурной динамикой автоматизированных систем (АС), решающих задачи мониторинга и управления СЛО. В рамках данной теории с единых позиций можно подойти как к решению задач многокритериального структурно-функционального синтеза облика указанных АС, так и к оперативному решению задач конфигурирования и реконфигурации их структур в динамически изменяющейся обстановке. Более того, в отличие от широко представленных на практике существующих специализированных узких подходов и технологий решения задач мониторинга и управления сложными объектам предлагаемая методология и методические основы интеллектуального интерактивного мониторинга и управления сложными объектами получили широкую и успешную реа-

лизацию в различных предметных областях (космонавтике, атомной энергетике, экологии, логистике, военных приложениях и т. п.) [12–15]. Интересные перспективы открываются по использованию данной технологии и соответствующих систем при создании сети ситуационных центров поддержки принятия решений при мониторинге и управлении объектами в военной и гражданской сферах. При этом центральными координирующими моделями в рамках созданного полимодельного комплекса (ПМК) являются иерархические вычислительные G-модели представления знаний, созданные на основе комбинирования математического аппарата сетей Петри с логико-динамическими моделями проактивного программного управления комплексами операций, ресурсами, потоками и структурами [10–13, 15]. На рис. 1 показано место предложенных G-моделей среди известных формализмов, используемых в современном искусственном интеллекте.



Рис. 1. Место разработанных G-моделей среди известных формализмов, используемых в современном искусственном интеллекте

Вторая из разработанных авторами теорий – квалиметрия моделей и ПМК, описывающих управляемую структурную динамику СЛО, предоставляет разработчикам, исследователям и эксплуатационникам научно-методический аппарат, позволяющий им, исходя из поставленных целей и задач проактивного мониторинга и управления СЛО на различных этапах

их жизненного цикла, обоснованно выбирать либо синтезировать конкретные модели (ПМК), обеспечивающие эффективное решение данных задач, возложенных на конкретные интеллектуальные СППР. Основные элементы разработанной теории изложены в работе [13].

Технология обработки и анализа данных при решении задач проактивного управления СЛО с использованием СППР на базе ИИАП предполагает реализацию следующих основных этапов: 1. Количественная и качественная параметризация разнородных данных, консолидация данных; 2. Предметная ориентация, формирование онтологии предметной области; 3. Поиск, извлечение, интерпретация знаний, формирование репозитория знаний; 4. Построение системы моделей объектов предметной области; 5. Разработка и проверка гипотез, имитационное моделирование; 6. Формирование модельных оценок.

### 5. Имеющийся научно-технический потенциал и опыт реализации в области разработки и внедрения унифицированной комплексной интегрированной СППР

К настоящему времени разработана базовая версия отечественной интеллектуальной ИАП, на основе которой для различных предметных областей созданы и создаются конкретные интеллектуальные информационно-аналитические системы. На рис. 2 представлена обобщенная структура ИАП, сведения о ее реализации и научных основах.



Рис. 2. Обобщенные сведения о созданной отечественной интеллектуальной ИАП

Данная ИАП предоставляет широкие возможности по разработке и внедрению унифицированной комплексной интегрированной СППР для АСУ СЛО в критических приложениях. У организаций РАН и отечествен-

ных предприятий промышленности появился достаточный задел для разработки и внедрения рассматриваемой системы в общегосударственном масштабе. СПИИРАН (СПб ФИЦ РАН) совместно с партнерами, входящими в состав Северо-Западного центра аэрокосмического мониторинга, к настоящему времени получены следующие научные и практические результаты по рассматриваемой в статье проблематике:

1. В области фундаментальных и прикладных разработок.

Начиная с 1999 г. и по настоящее время под руководством чл.-корр. Р. М. Юсупова и профессоров Б. В. Соколова и М. Ю. Охтилева и при непосредственном их участии был выполнен комплекс междисциплинарных исследовательских проектов, финансируемых Президиумом РАН и ОНИТ РАН (5 проектов), Российским научным фондом (3 проекта), Российским фондом фундаментальных исследований (25 проектов), МО РФ (4 проекта), Секцией прикладных проблем при Президиуме РАН (3 проекта), Правительством Санкт-Петербурга (4 проекта), Санкт-Петербургским научным центром (4 проекта), Международными организациями (ЕОАРД, фонд CRDF, программа ESTLATRUS – 3 проекта), которые направлены на совершенствование и комплексную автоматизацию и интеллектуализацию процессов управления сложными объектами в критических приложениях (космонавтика, атомная промышленность, логистика и транспортные перевозки, автоматизация управления органов исполнительной власти, защита информации и катастрофоустойчивость) [12], (URL: <http://litsam.ru>).

2. В области практических результатов.

Разработана первая версия унифицированной программной платформы как базового программного обеспечения функционирования СППР, обеспечивающая решение следующих задач:

– взаимодействие с источниками сбора измерительной информации (ИзИ);

– подготовка исходных данных и знаний о состоянии контролируемых объектов – объектов управления (ОУ) – по созданию и сопровождению баз знаний ОУ (построение формальной модели ОУ, ее верификация, проверка полноты, корректировка);

– реализация исполнительной системы, обеспечивающей в рамках единого информационного пространства (ЕИП) решение задач ОУ в реальном времени;

– взаимодействие с ЕИП;

– архивирование как самой ИзИ, так и результатов ее обработки и анализа;

– обучение и тренировка личного состава дежурных смен за счет использования учебно-тренировочных средств;

– информационно-справочное обеспечение;

– отображение информации и когнитивной графики индивидуального и коллективного пользования и пр.

Разработана ИИТ, реализующая необходимый набор экспертных эвристических методик и ориентированных зачастую на нечеткость и слабую формализуемость достигаемых при этом целей, выполняемых задач и принимаемых решений.

Разработана ИИТ сбора, формализации и коррекции всех необходимых для ОУ данных и знаний.

Разработана ИИТ организации потоковых вычислений в составе информационно-вычислительной распределенной среды системы, создания полной системы разнородных математических моделей, достаточно адекватных контролируемым процессам и явлениям и ориентированных на свою реализацию в существующей программно-аппаратной среде.

Разработана ИИТ обеспечения удобного для пользователя интерфейса и диалога с информационной системой и отображения (представления, визуализации) обработанных данных с помощью средств когнитивной (интеллектуальной) графики.

По результатам выполненных работ в период с 2012 по 2021 г. члены коллектива исследователей, возглавляемого авторами данной статьи, в 2022 г. стали лауреатами премии Правительства Российской Федерации в области науки и техники.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-19-00767.

### **Список использованных источников**

1. Городецкий, В. И. Искусственный интеллект: метафора, наука и информационная технология / В. И. Городецкий, Р. М. Юсупов // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2020. – № 5. – С. 282–293.

2. Conceptual framework of a human-machine collective intelligence environment for decision support / A. Smirnov [et al.] // Comptes Rendus de L'Academie Bulgare des Sciences. – 2022. – 75(1). – P. 102–109.

3. Самообучающиеся машины / В. Ю. Осипов [и др.]. – СПб. : СПбГЭТУ, 2020. – 174 с.

4. Когнитивный мониторинг телекоммуникационных сетей / В. Ю. Осипов [и др.]. – СПб. : СПбГЭТУ, 2018. – 204 с.

5. Ambient Intelligence Services in IoT Environments / D. Korzun [et al.]. – Pennsylvania : IGI Global, 2019. – 199 p.

6. Интеллектуальные сервисы защиты информации в критических инфраструктурах / И. В. Котенко [и др.]. – СПб. : БХВ-Петербург, 2019. – 400 с.

7. Methodology for Multi-Aspect Ontology Development: Ontology for Decision Support Based on Human-Machine Collective Intelligence / A. Smirnov [et al.] // IEEE Access, IEEE. – 2021. – Vol. 9. – P. 135167–135185.

8. Отчет СПИИРАН за 2022 г. по проекту с Центром сильного искусственного интеллекта в промышленности Университета ИТМО в рамках договора Университета ИТМО с Аналитическим центром при Правительстве Российской Федерации (рук. группы А. В. Смирнов). – СПб. : СПИИРАН, 2022.

9. Смирнов, А. В. Модели поддержки принятия решений в социкиберфизических системах / А. В. Смирнов, Т. В. Левашова // Информационно-управляющие системы. – 2019. – № 3. – С. 55–70.

10. Калинин, В. Н. Многомодельный подход к описанию процессов управления космическими средствами / В. Н. Калинин, Б. В. Соколов // Теория и системы управления. – 1995. – № 1. – С. 56–61.

11. Калинин, В. Н. Теория систем и управления (структурно-математический подход) / В. Н. Калинин, Б. А. Резников. – Л. : ВИКИ, 1987. – 417 с.

12. Охтилев, М. Ю. Интеллектуальные технологии мониторинга и управления структурной динамикой сложных объектов / М. Ю. Охтилев, Б. В. Соколов, Р. М. Юсупов. – М. : Наука, 2006. – 410 с.

13. Микони, С. В. Квалиметрия моделей и полимодельных комплексов / С. В. Микони, Б. В. Соколов, Р. М. Юсупов. – М. : РАН, 2018. – 314 с.

14. Ростовцев, Ю. Г. Проблема обеспечения адекватности субъектно-объектного моделирования / Ю. Г. Ростовцев, Р. М. Юсупов // Известия ВУЗов. Приборостроение. – 1991. – № 7. – С. 7–14.

15. Зацаринный, А. А. Технология информационной поддержки деятельности организационных систем на основе ситуационных центров / А. А. Зацаринный, А. П. Шабанов. – М. : Торус Пресс, 2015. – 231 с.

УДК 18

## Является ли искусственный интеллект угрозой творчеству?

И. К. Ставровский  
Институт философии НАН Беларуси,  
Минск  
*E-mail: tutoriks@gmail.com*

### Введение

Современные разработки в области искусственного интеллекта позволяют генерировать изображения, тексты, музыкальные и прочие произведения. Технология демонстрирует все лучшие результаты и становится более доступной. В массовом сознании данные инновации вызывают опасение того, что скоро системы искусственного интеллекта смогут полностью или частично вытеснить людей из творческих профессий. Более того, поскольку способность к творчеству часто воспринимается как уникальное человеческое свойство, появление подобных технологий бросает вызов представлению о том, что значит быть человеком. И хотя перечисленные проблемы часто воспринимаются в массовом сознании как насущные, в действительности они не являются настолько острыми. Далее будут изложены некоторые аргументы в пользу того, что искусственный интеллект не является существенной угрозой для творчества.

### Историческое возражение

Сама идея автоматизации и механизации творчества не является новой для XXI в. В прошлом данная концепция высказывалась в различных формах, принимая как оптимистичную, так и пессимистичную тональность. В качестве примера можно обратиться к истории фотографии. 7 января 1839 г. физик Франсуа Араго представил на заседании Парижской академии наук дагеротипию, разработанную Луи Дагером. Это была первая технология, которая позволяла делать полноценные фотографии. Тогда некоторые люди посчитали, что со временем новая технология полностью или почти полностью лишит художников работы. Например, в статье «Дагеротипомания» французского журнала «Карикатюр» утверждалось, что со временем процесс создания изображений будет полностью механизирован, лишая работы многих художников [1]. Некоторым из них действительно пришлось перекалвалифицироваться в фотографов, но все же сами профессии не исчезли. Даже спустя почти два века развития технологии неверно

было бы утверждать, что художники больше не нужны. Это касается не только деятелей искусства, но и дизайнеров, иллюстраторов и т. д. Спрос на данных специалистов со временем увеличивался, а развитие новых технологий лишь расширяло их возможности.

Аналогично появление кино не уничтожило театр, а создание аудио-проигрывателей не привело к исчезновению спроса на живую музыку. Изобретение и распространение технологий в большей степени открывают новые возможности для творчества, нежели закрывают старые. Можно даже утверждать, что именно творческий подход к инновациям позволяет творческим профессиям совершенствоваться, а деструктивными являются не сами технологии, а чрезмерно консервативное отношение к ним, которое не позволяет подстраиваться под изменения мира.

### Экономический прогноз

К схожим выводам в 2015 г. пришли исследователи из британского инновационного агентства Nesta [2]. Согласно их прогнозу наименее подвержены риску автоматизации именно творческие профессии. Под последними подразумевались не только работы в области искусства и медиа, но и некоторые профессии из сферы IT, биотехнологий, образования и т. п. Одни из самых низких рисков автоматизации имеют такие профессии, как художественное творчество (3.5 %), публикация журналов и периодических изданий (5.7 %), перевод и интерпретация текстов (5.8 %), исполнительские искусства (7 %), архитектурная деятельность (7.1 %), радиовещание (7.7 %), программирование (7.7 %) и фотография (10.6 %).

С другой стороны, высокий риск автоматизации гораздо чаще встречается именно у нетворческих профессий: выращивание семечковых и косточковых фруктов (100 %), разведение молочного скота (89.3 %), покраска стен и потолков (86.7 %), морское рыболовство (81.6 %), частная охранная деятельность (80.7 %), колл-центры (75.9 %), оценки ущерба и рисков (58.6 %). Оговоримся, что есть немало нетворческих профессий с низким риском автоматизации, например выращивание табака (0 %) или добыча железной руды (0 %). Тем не менее общую тенденцию это не меняет.

В творческих профессиях наиболее подвержены автоматизации наименее творческие их составляющие. При этом, несмотря на то что искусственный интеллект может генерировать изображения, тексты и музыкальные композиции, все же именно человек отбирает удачные образцы и нередко они дорабатываются вручную. Более того, само намерение создать что-то также принадлежит человеку, ведь именно он ставит перед машиной задачи. Это значит, что в обозримом будущем полностью вытеснить человека из творческих профессий не получится.

### Проблема понятия «творчество»

Существует также ряд чисто теоретических затруднений на уровне постановки проблемы. Дело в том, что «творчество» является понятием бытового языка и крайне плохо прояснено. Зачастую ему и вовсе не дается какое-либо определение, а в тех случаях, когда понятие «творчество» пытаются прояснить, чаще всего это делают по принципу *ad hoc*. Из-за этого определение понятия не схватывает сущность феномена творчества, а просто подстраивается под заранее принятую позицию. Таким образом, если человек изначально предполагает, что искусственный интеллект не способен к творчеству, то его определение понятия будет выстроено так, чтобы по умолчанию исключить любые продукты, созданные машинами. Данный подход не может способствовать решению теоретической проблемы.

Ситуация осложняется еще и тем, что даже в научной литературе определение понятия «творчество» сталкивается с проблемами. Специалисты в области психологии творчества отмечают, что практически невозможно провести однозначное разграничение между творческой и нетворческой деятельностью. По этой причине оно полностью или в значительной степени остается субъективным [3].

Большинство исследователей соглашаются с тем, что творческая деятельность подразумевает создание чего-то нового. Однако понятие «новизна» также создает много проблем, так как оно плохо прояснено. В строгом смысле не существует ничего полностью нового, так как любое творчество основывается на рекомбинации ранее полученного опыта. Даже величайшие деятели искусства проходили профессиональную подготовку, опирались на работы предшественников и наблюдали за окружающим миром. Все это не позволяет нам говорить, что их произведения были чем-то совершенно новым. Вместе с тем объективно измерить степень новизны невозможно. Таким образом, понятие «новизна» не помогает нам сделать понятие «творчество» более строгим и однозначным.

Тем не менее из сказанного очевидно следует, что претензия к недостаточной оригинальности машинного творчества несостоятельна. Действительно, нейронные сети не способны создавать те или иные произведения с нуля. Им требуется обучение на основе большого количества образцов, из которых будут выделены паттерны. Однако в этом отношении машина мало чем отличается от людей. Поэтому прямым следствием данного аргумента является утверждение о том, что не только искусственный интеллект, но и человек не способны творить.

Важно также понимать, что ошибочно в рамках данной дискуссии сводить понятие «творчество» только к созданию произведений искусства, что часто происходит, когда сгенерированные искусственным интеллектом произведения обвиняют в «отсутствии души». Проблема данного аргумен-

та не только в том, что мы не можем верифицировать подобные утверждения, но еще и в том, что большинство людей не занимается искусством. Если же творчество считается отличительной чертой человека и при этом отождествляется с искусством, то из этого следует, что большинство людей не являются людьми. Данный вывод явно абсурдный, поэтому аргумент является несостоятельным.

Иногда можно услышать, что искусственный интеллект не творит потому, что в его действиях нет преднамеренности. Иными словами, машина просто выполняет свою программу без конкретного замысла. Хотя данный аргумент является отчасти справедливым, он содержит изъян. С древности признается роль спонтанного, иррационального и бессознательного в творческой деятельности, которые затем организовывались целенаправленным усилием. Современные системы искусственного интеллекта на это неспособны, так как у них отсутствует способность суждения. Однако если мы рассматриваем машину как инструмент в руках человека, то указанное возражение снимается.

Все перечисленные выше затруднения указывают на одну и ту же проблему: дискуссия о машинном творчестве ведется в ситуации, когда строгие критерии оценки не просто отсутствуют, но даже не могут быть введены. Возможное решение проблемы лежит в одной из двух плоскостей: чисто теоретической и чисто практической.

На теоретическом уровне вопрос о способности искусственного интеллекта к творчеству напрямую связан с другими проблемами философии сознания. В первую очередь нужно ответить на вопрос, может ли машина хотя бы гипотетически иметь сознание в том же смысле, в каком оно есть у человека. Получается, что вопрос о способности к творчеству нельзя рассматривать изолированно. А поскольку творчество не является первичной функцией сознания, то проблема уходит на второй план.

Однако если рассматривать вопрос чисто практически, то проблема оказывается несущественной, ведь в этом случае нас интересует только результат творчества. Это значит, что нас интересует, способен ли искусственный интеллект создавать произведения нужного нам качества. При желании мы можем задаться вопросом, способен ли искусственный интеллект создать произведение, неотличимое от творения человека. Для получения ответа нам достаточно провести эксперимент, в рамках которого люди (неспециалисты и специалисты различных типов) будут пытаться отличить работы человека от работ машины. Если результаты испытуемых не будут значительно отличаться от простого угадывания, то мы вправе утверждать, что искусственный интеллект способен творить.

## Заключение

Представление о том, что развитие искусственного интеллекта угрожает уничтожить человеческое творчество, является несостоятельным как по теоретическим, так и по практическим причинам. История демонстрирует, что появление новых технологий не уничтожает творчество, а расширяет возможности для него. Экономические прогнозы также показывают, что существенной угрозы для творческих профессий нет. Кроме того, философский анализ основных аргументов против машинного творчества показывает их несостоятельность. Все это указывает на то, что в текущих условиях нет причин рассматривать развитие искусственного интеллекта как угрозу творчеству.

## Список использованных источников

1. Бажак, К. История фотографии. Возникновение изображения / К. Бажак. – М. : АСТ: Астрель, 2006. – 159 с.
2. Bakhshi, H. Creativity vs Robots: The Creative Economy and the Future of Employment [Electronic resource] / H. Bakhshi. – Mode of access: [https://media.nesta.org.uk/documents/creativity\\_vs.\\_robots\\_wv.pdf](https://media.nesta.org.uk/documents/creativity_vs._robots_wv.pdf). – Date of access: 12.09.2023.
3. Ильин, Е. П. Психология творчества, креативности, одаренности / Е. П. Ильин. – СПб. : Питер, 2008. – 433 с.

УДК 004.056

## Практическое использование информационно-аналитической системы оценки экологической безопасности водоотведения

В. Н. Штепа , А. Б. Шикунец, А. В. Козырь  
Полесский государственный университет,  
Пинск, Беларусь  
*E-mail: shtepa.v@polessu.by*

Н. Ю. Золотых  
Национальный исследовательский Нижегородский  
государственный университет им. Н. И. Лобачевского,  
Россия  
*E-mail: nikolai.zolotykh@itmm.unn.ru*

### Введение

На рынке программных продуктов информатизации водоотведения водопроводно-канализационных хозяйств (ВКХ) представлен ряд решений, среди них: ArcGIS, MapInfo, qGIS, ГИС Zulu, ГИС GeoLink, GRASS (ГИС), CityCom, IndorGIS, SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) TRACE MODE, SIMATIC WinCC Open Architecture (WinCC OA). Они имеют иерархическую структуру и, как правило, включают следующие составляющие [1–3]: измерительные (сенсорные) блоки; модули передачи информации; интерфейсные преобразователи; линии передачи информации; контроллерные элементы; базы данных; специализированное программное обеспечение (управление, отображение информации, анализ данных, формирование отчетов, геопозиционирование и ряд других). При этом решаемые производственные задачи такими программными продуктами в рамках информатизации ВКХ следующие [4–7]: привязка к картографии; регулирование отдельных технологических процессов; мониторинг параметров (как правило, состояния оборудования); поддержка административно-организационной, бухгалтерской и планово-экономической деятельности.

Ключевые недостатки решений-аналогов – отсутствие системного и оперативного подхода в последовательности «мониторинг экологической ситуации – передача, хранение и анализ данных – принятие решений в режиме реального времени (РРВ) об экологической эффективности водоотведения» и фактическое отсутствие последнего элемента в такой цепочки,

что создает предпосылки экологической опасности для геоэкосистем. Поэтому перспективным является использование интеллектуальных решений для анализа и прогноза показателей качества сточных вод (СВ).

### Результаты сбора и анализа информации о водоотведении

На коммунальных биологических очистных сооружениях г. Барановичи функционирует на протяжении восьми месяцев система сбора информации о показателях качества СВ, формируя в РРВ базу данных о значениях рН, электропроводности, окислительно-восстановительного потенциала (ОВП или Redox Potential), температуры. Программное обеспечение создано на языке Python с использованием кросс-платформенного фреймворка Qt (рис. 1).

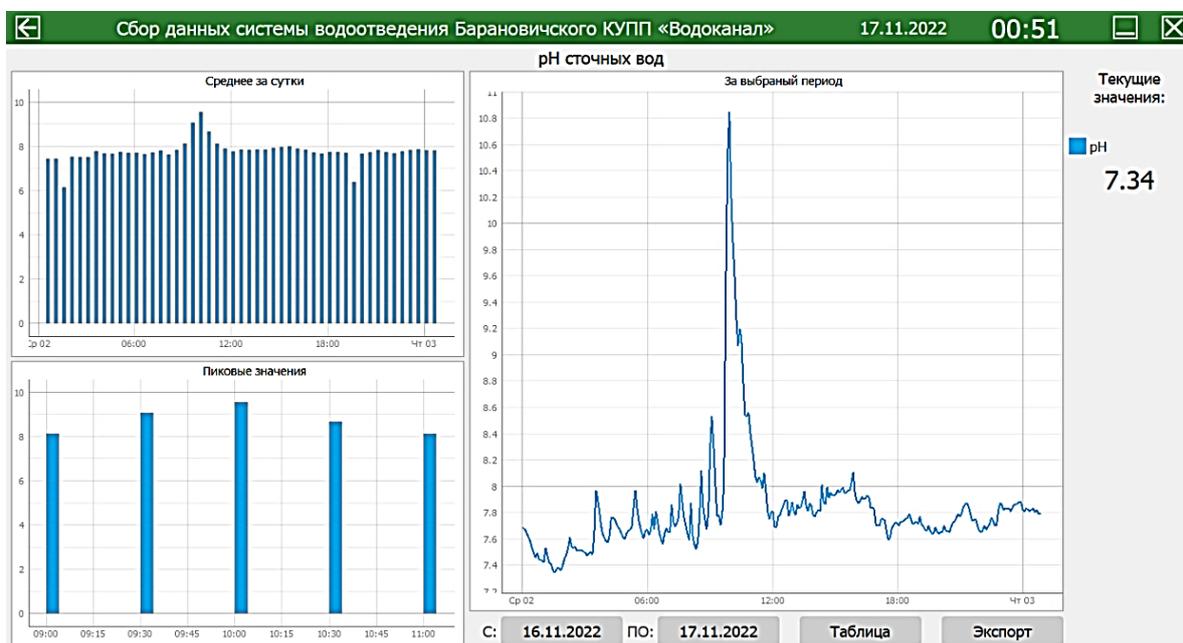


Рис. 1. Интерфейсное окно (регистрация и обработка показателей рН) программного продукта, функционирующего на коммунальных биологических очистных сооружениях г. Барановичи

Исходя из зафиксированных значений активной реакции водных растворов, можно сделать вывод об экологической опасности, вызванной системным поступлением на вход биологических очистных сооружений СВ со значениями рН выше 8,5, что недопустимо из-за проектной документации. Применяв вейвлет-преобразование с глубиной разложения 8 и порядком вейвлета 10, выделили сглаженную компоненту информационного сигнала (рис. 2).

Анализ графика рис. 2 указывает на отсутствие сезонности и нелинейность исследуемого временного ряда. Особый интерес вызывает падение активной реакции на 0,6–0,9 единиц на пятый месяц регистрации. Такая

ситуация должна быть вызвана остановкой водоотведения ключевым объектом(-ами)-загрязнителем(-ями) и изменением технологии формирования СВ. Следующим шагом стал расчет среднеарифметических значений рН для дней недели всего анализируемого отрезка (рис. 3).



Рис. 2. Визуализация (с использованием вейвлет-преобразования) изменения за восемь месяцев (октябрь 2022 г. – май 2023 г.) рН СВ системы водоотведения г. Барановичи

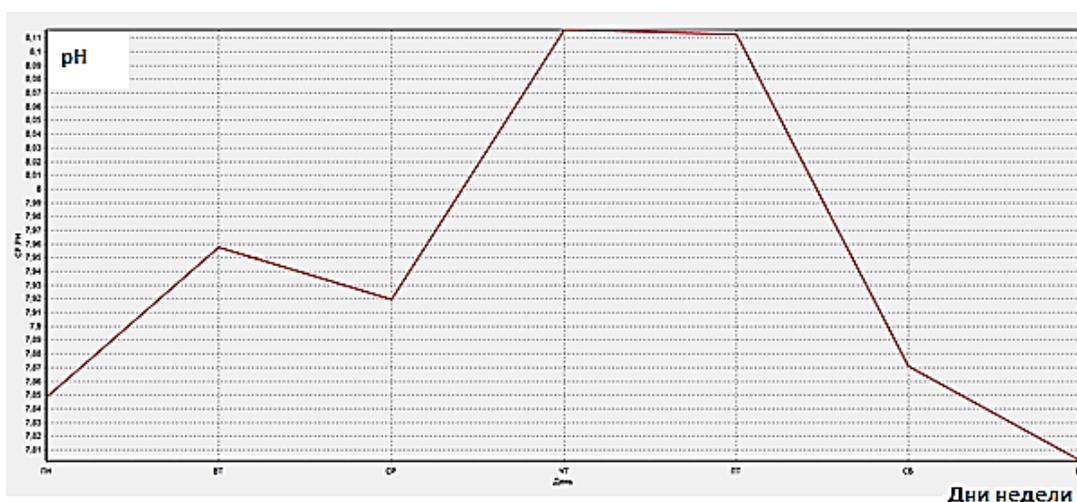


Рис. 3. Визуализация значений рН СВ системы водоотведения г. Барановичи по дням недели за восемь месяцев (октябрь 2022 г. – май 2023 г.)

Оценка рис. 3 приводит к очевидным выводам, что источниками загрязнений СВ, приводящих к щелочному значению активной реакции, выступают объекты, работающие в пятидневном режиме или имеющие ориентированный на такой подход выпуск продукции с использованием в технологических процессах, например каустика или схожих реагентов.

Применив специализированный пакет математических программ Deductor (аналитическая платформа, созданная для формирования законченных прикладных решений в области анализа данных) для установления влияния других фиксируемых показателей СВ на рН (ОВП – RedoxSensor, электропроводность – ECSensor, температура воды – TPHSensor), провели корреляционный анализ максимумом взаимокорреляционной функции (рис. 4).

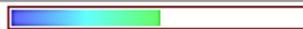
Входные поля		Корреляция с выходными полями	
№	Поле	PHSensor	
1	RedoxSensor		-0,925
2	ECSensor		0,502
3	TPHSensor		0,797

Рис. 4. Корреляционные влияния фиксируемых показателей СВ г. Барановичи на рН водного раствора

Хорошие взаимосвязи между ОВП и рН и значительные взаимосвязи между электропроводностью и рН (см. рис. 4) объясняются из химической теории. В то же время коэффициент корреляции 0,797 между температурой и рН формирует утверждение, что СВ локальных объектов-загрязнителей помимо значительной щелочности характеризуются и высокими значениями температуры.

### Создание нейросетевой модели анализа рН сточных вод

Используя архитектуру многослойного персептрона и оптимизационные подходы [8], была создана соответствующая архитектура нейронной сети (рис. 5).

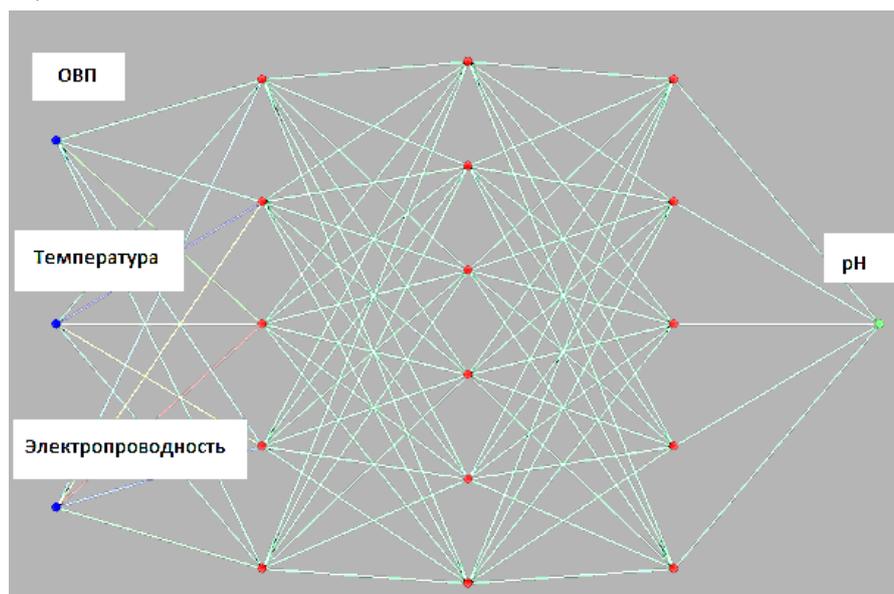


Рис. 5. Архитектура нейронной сети многослойного персептрона анализа рН СВ г. Барановичи

Выполнив линейную нормализацию информационных потоков, удалось достигнуть необходимый процент распознаваемости учебных данных на уровне около 97 % при условии, что данные считаются распознанными при ошибке менее 3 % (500 эпох обучения). Вместе с тем степень отсева амплитудных выбросов является отдельной сложной задачей дальнейших исследований. При этом практическое внедрение информационно-аналитической системы позволило предварительно определить (идентифицировать) «образ» объектов-загрязнителей СВ, отходы которых представляют значительную экологическую опасность для окружающей среды, поскольку вызывают гибель активного ила биологических очистных сооружений.

### Заключение

С использованием информационно-аналитической системы анализа водоотведения г. Барановичи установлено: имеется экологическая опасность для геоэкосистем, вызванная системным поступлением на вход биологических очистных сооружений СВ со значениями рН выше 8,5 (недопустимо из-за проектной документации); источниками загрязнений СВ, приводящих к щелочному значению активной реакции, выступают объекты, работающие в пятидневном режиме (имеющие ориентированный на такой режим выпуск продукции с использованием в технологических процессах каустика или схожих реагентов); СВ объектов-загрязнителей помимо значительной щелочности характеризуются и высокими значениями температуры.

Дальнейшие исследования необходимо нацелить на создание нейросетевых моделей с оценкой степени фильтрации входных информационных потоков, поскольку амплитудные выбросы могут иметь значительную технологическую ценность; при линейной нормализации и синтезе многослойного перцептрона моделирования водоотведения удалось достигнуть адекватности около 97 % (500 эпох обучения).

Работа выполнена при финансовой поддержке БРФФИ (договор № Ф23У-012 от 02.05.2023 г.).

### Список использованных источников

1. Рожко, В. Н. Опыт внедрения и перспективные направления развития автоматизированной системы управления технологическим процессом водоснабжения и водоотведения / В. Н. Рожко // Наука и технологии – ЖКХ. – 2019. – № 1. – С. 48–55.
2. Прошин, А. И. Современный взгляд на комплексную автоматизацию водоканалов / А. И. Прошин, А. В. Бодырев // Сантехника. – 2020. – № 1. – С. 28–31.

3. Автоматизированные системы диспетчерского управления комплексами водоочистки и водоснабжения [Электронный ресурс] // Информатизация и системы управления в промышленности. – 2013. – № 2 (44). – Режим доступа: <https://isup.ru/articles/3/4456/>. – Дата доступа: 15.06.2023.

4. Alekseevsky, D. G. Formalization of the Task of Creating a Mathematical Model of Combined Wastewater Treatment Processes / D. G. Alekseevsky, Ye. Yu. Chernysh, V. N. Shtepa // Journal of Engineering Sciences: peer-reviewed scientific journal. – 2021. – Vol. 8, iss. 2. – P. H1–H7.

5. Штепа, В. Н. Интеллектуальная система анализа и прогноза экологической безопасности биологических сооружений очистки сточных вод / В. Н. Штепа, Н. Ю. Золотых // Первая выставка-форум IT-академграда «Искусственный интеллект в Беларуси» : сб. докл., Минск, 13–14 октября 2022 г. – Минск : ОИПИ НАН Беларуси, 2022. – С. 41–45.

6. Штепа, В. Н. Цифровизация водопроводно-канализационного хозяйства с учетом требований экологической безопасности окружающей среды / В. Н. Штепа, Я. Ю. Ерш // Инжиниринг: теория и практика : материалы II Междунар. науч.-практ. конф., Пинск, 6 мая 2022 г. – Пинск : ПолесГУ, 2022. – С. 45–47.

7. Штепа, В. Н. Структура и функционал интеллектуальной системы поддержки принятий решений в водоотведении / В. Н. Штепа // Информатика и кибернетика : научный журнал. – 2022. – № 3 (29). – С. 51–57.

8. Головкин, В. А. Нейроинтеллект: теория и применение : в 2 кн. Организация и обучение нейронных сетей с прямыми и обратными связями / В. А. Головкин. – Брест : БПИ, 1999. – Кн. 1. – 260 с.

УДК 656.13

## Общественная беспилотная скоростная транспортная система

В. Н. Шуть , Е. В. Швецова  
Брестский государственный технический университет,  
Беларусь  
*E-mail: lucking@mail.ru*

### Введение

Развитие информационных технологий позволяет пересмотреть концепцию организации и управления современным городским транспортом. Будущее за автоматическим транспортом. Скоро на улицах городов появятся новые высокоэкономичные системы общественных автоматических перевозок [1–5].

Роботизированная, рельсовая городская транспортная система (суперскоростной трамвай) массовой конвейерной перевозки пассажиров – это создание нового цифрового автоматического типа транспорта, в контуре управления которого человек отсутствует, способного перевозить в городской улично-дорожной среде количество пассажиров, сравнимое с метро [6].

Основатель кибернетики американский математик Норберт Винер на заре развития этой науки говорил о возможности появления полностью автоматических заводов, где человека не будет [7]. Полностью автоматические или с минимальным числом людей заводы уже есть. Теперь такое время наступило и для транспорта.

### Система скоростного трамвая

Беспилотный суперскоростной трамвай небольшой вместимости от 50 до 100 пассажиров позволит гибко удовлетворять потребности потребителей транспортных услуг в городе не по жесткому графику движения (расписанию), а по требованию пассажира, пришедшего на остановочный пункт. Основным недостатком такого трамвая является недостаточно высокая скорость движения (30 км/ч) и, следовательно, невозможность повысить провозную способность за счет скорости движения. Это ограничение носит принципиальный характер и его нельзя обойти, как и в метро, где пределом скорости является 42 км/ч. Связано это с основным и неизбежным атрибутом всякого городского транспорта – делать остановки на каж-

дом остановочном пункте маршрута. Время на торможение, разгон, высадку и посадку пассажиров устанавливает предел скорости городского пассажирского транспорта даже при отсутствии каких-либо других помех, как это имеет место в метро.

Большие экономические потери транспорт несет на остановки и разгон от остановочных пунктов. Рассмотрим трамвайный маршрут, состоящий в прямом направлении из 12 остановочных пунктов. Если пассажиру необходимо проехать из начального пункта в конечный, то транспортное средство сделает 10 промежуточных остановок, ненужных пассажиру, прежде чем доставит его в пункт назначения. Примем, что на каждом промежуточном остановочном пункте с транспортного средства сходит 1/10 часть пассажиров и загружаются новые. Таким образом, при каждой остановке бесполезно гасится кинетическая энергия, пропорциональная 9/10 массам пассажиров, которым не надо выходить на этой остановке. Также теряется энергия, относящаяся к массе транспортного средства.

Для того чтобы хоть как-то увеличить скорость сообщения, сократить энергетические и временные потери в транспортной системе скоростных трамваев, увеличивают дистанции между остановочными пунктами, что, в свою очередь, ведет к снижению транспортной доступности для пассажиров. Частые остановки повышают износ деталей подвижного состава транспортной системы.

Самым существенным недостатком транспортной системы «скоростной трамвай» является отсутствие точной, объективной информации в режиме реального времени о мощности пассажиропотока на маршруте, что препятствует принятию оптимальных решений по выводу на маршрут такого количества транспортных единиц, чтобы покрыть этот пассажиропоток. Поэтому зачастую трамваи либо перегружены, либо недозагружены. И последнее. Транспортная система «скоростной трамвай» плохо влияет на улично-дорожную среду, так как предоставление трамваям преимущественного проезда на светофорах дискриминирует других участников дорожного движения. Суперскоростная транспортная система лишена всех этих недостатков. Основой ее является инновационный принцип кассетно-конвейерной перевозки, который впервые разработан в лаборатории интеллектуальных транспортных систем Брестского государственного технического университета.

На рис. 1 изображена трасса трамвайных путей суперскоростного трамвая, которые расположены посередине улицы и отгорожены от проезжей части. Также видно движение двух кассет. Одна кассета состоит из двух инфобусов, вторая – из четырех. Здесь и в дальнейшем под инфобусом будет пониматься беспилотный скоростной трамвай на 50–100 пассажиров.



Рис. 1. Трасса трамвайных путей суперскоростного трамвая

Средняя скорость движения кассет на трассе составляет 100 км/ч при максимальной скорости на некоторых участках маршрута до 150 км/ч. Кассеты движутся одиночно либо в сборке от 2 до 6 инфобусов. Соединение в сборке виртуальное с межкассетным расстоянием 200 мм. Небольшие перекрестки кассетные сборки пересекают согласно сигналам светофора, с которым они вступают во взаимодействие, приближаясь к перекрестку. Большие, насыщенные транспортом перекрестки кассета пересекает либо по эстакаде (рис. 2), либо по подземному тоннелю (рис. 3).

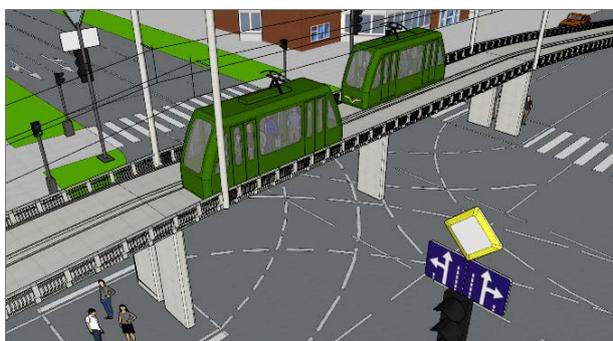


Рис. 2. Движение кассет по эстакаде



Рис. 3. Движение кассет по тоннелю

Пересечение некоторых напряженных перекрестков выполняется по эстакадам. Перед эстакадой скорость первого инфобуса в кассете не снижается, в то время как остальная часть кассеты понижает скорость. Таким образом, перед эстакадой кассета «рассыпается» на отдельные инфобусы, чтобы число одновременно находящихся на эстакаде инфобусов не превышало заданного уровня. За этим следит управляющий комплекс (сервер) системы. На каждом несущем перекрытии эстакады в любой момент времени находится не более заданного числа инфобусов. Этим обеспечивается легкость, ажурность конструкции эстакады, гармонично вписывающейся в городской пейзаж.

По подземному участку пересечения перекрестка инфобусы в кассете движутся в едином строю. Причем подземный тоннель более узкий, нежели чем для обычного трамвая, так как сам инфобус имеет небольшую ширину (1524 мм), как рельсовая колея. Это сильно экономит дорожное улично-дорожное пространство. Две колеи по 1524 и 52 мм расстояния между ними (3,1 м) составляют пространство движения кассет по двум направлениям.

Важным элементом данной транспортной системы является остановочный пункт или остановка длиной 40 м, исходя из условия размещения максимального числа кассет (шести) и шириной в 1 м (размер ограничен условиями улично-дорожной среды). Остановочный пункт закрытого типа. Пассажир, проходя через турникет, оплачивает проезд и одновременно указывает свою станцию назначения. Пассажиры уже на станции дифференцированы по конечному пункту назначения и для них придет кассета, которая поедет на данную станцию, чем и будет обеспечен безостановочный проезд [8, 9].

Остановочные пункты могут быть спаренными (рис. 4), т. е. для прямого и обратного направления движения кассет они расположены рядом относительно перекрестка. На рис. 5 остановочные пункты расположены по разные стороны перекрестка. В принципе, то или иное расположение станций равнозначно, так как в обоих случаях идет негативное сужение магистрали для других участников движения.

Из рис. 4 видно, как пассажиры через пешеходный переход входят на станцию, где уже стоит кассета из трех инфобусов по одному направлению движения.



Рис. 4. Спаренные остановочные пункты



Рис. 5. Остановочные пункты по разные стороны от перекрестка

По второму направлению движения кассет нет и проходные к инфобусам турникеты закрыты для безопасности пассажиров, находящихся на станции. Они будут открыты как только на нее придет очередная кассета. На рис. 4 видны входные на станцию турникеты, с помощью которых пассажир оплачивает свой проезд и указывает станцию назначения.



Рис. 6. Ожидание пассажиров приезда кассеты



Рис. 7. Вход на станцию с подземного перехода

На рис. 6 кассет нет на обеих станциях, проходные турникеты закрыты, пассажиры ожидают прибытия кассет. Интервал движения кассет от 20 с и более. В основном он плавающий в зависимости от пассажиропотока.

Вход на станцию возможно выполнять с подземного перехода, что более безопасно, нежели с пешеходного. На рис. 7 станции расположены относительно перекрестка по разные стороны. Последнее не является принципиальным, так как по подземному переходу можно пройти на станцию и в случае парного расположения их. Вход на станцию по подземному переходу выполняет также функцию и обычного перехода с одной стороны магистрали на другую.

Суперскоростной трамвай (инфобус) имеет следующие размеры: длина – 7000 мм, ширина – 1524 мм, высота – 2500 мм. По три двери с каждой стороны размером по 1000 мм. Удельный вес дверей по отношению к длине инфобуса довольно высокий и составляет  $3/7 = 0,43$ , что способствует более быстрой загрузке и выгрузке пассажиров из салона транспортного средства. Последнее сокращает время нахождения транспортного средства на остановочном пункте, следовательно, увеличивает среднюю скорость сообщения.

В суперскоростном трамвае имеется дополнительный фактор сокращения времени выгрузки пассажиров. Пассажиры в салоне суперскоростного трамвая следуют на одну станцию назначения и по приезду на нее они все сразу покидают салон транспортного средства без помех со стороны других пассажиров как это имеет место в обычном транспортном средстве.

Мест для сидения в суперскоростном инфобусе минимальное (2–5). Связано это с тем, что маршрут в одну сторону в 10 км он проезжает за 6 мин при средней скорости 100 км/ч. Среднее время нахождения пассажира в инфобусе составляет 3 мин (не успеешь присесть, как надо вставать). Расчетная плотность пассажиров в инфобусе максимальная и составляет 8 пассажиров/м<sup>2</sup>. Связано это также с незначительным временем нахождения пассажира в инфобусе.

Внутренний салон инфобуса имеет размеры: длина – 6,5 м, ширина – 1,5 м, площадь инфобуса – 9,75 м<sup>2</sup>. При плотности 8 пассажиров/м<sup>2</sup> объем инфобуса составит 80 пассажиров.

### Провозная способность суперскоростного трамвая

Рассчитаем предельную (максимальную) провозную способность суперскоростного трамвая на примере насыщенной матрицы корреспонденций, т. е. матрицы, где каждый элемент  $m_{ij}$  равен объему инфобуса  $V$ . Алгоритм развозки пассажиров состоит из этапов, каждый из которых содержит две процедуры.

В первой процедуре выполняется развозка пассажиров построчным алгоритмом (по строке матрицы корреспонденций), во второй – работает алгоритм по столбцу. Таким образом, это смешанный алгоритм развозки.

Так, для первого этапа развозки выбирается первая строка матрицы корреспонденций. Для ее развозки потребуется  $k-1$  инфобус. С накопителя 1 (рис. 8) к первой остановке маршрута подъезжает кассета из  $(k-1)$ -го инфобуса. В каждый инфобус загружаются пассажиры, следующие до одной общей остановки назначения. Таким образом, пассажир получает возможность безостановочного проезда до своей остановки.

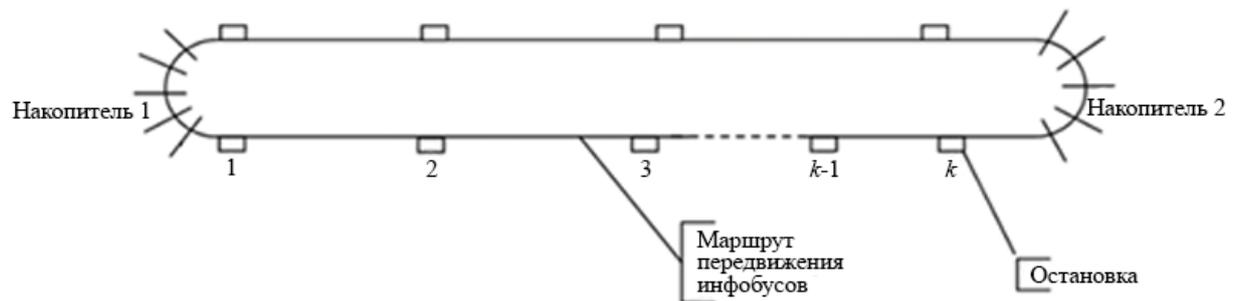


Рис. 8. Маршрут суперскоростного трамвая

В целях обеспечения бесконфликтности следования инфобусов при развозке с 1-й остановки их отправка будет осуществляться сначала к дальним пунктам назначения, затем к ближним. Иначе говоря, в головной инфобус кассеты помещаются все пассажиры, следующие на последнюю  $k$ -ю остановку маршрута. Во второй инфобус кассеты загружаются пассажиры, следующие до  $k-1$  остановки и т. д.

После того как загрузка пассажиров выполнена и первая строка матрицы корреспонденций обнулена (на первой остановке больше ожидающих пассажиров нет), кассета отъезжает от первой остановки. При движении кассеты мимо второй остановки от ее конца отделяется инфобус и останавливается на остановке 2. Из нее выходят пассажиры, следующие с остановки 1 на остановку 2 в количестве  $m_{1,2}$ . Это действие относится к первой процедуре первого этапа развозки пассажиров.

Затем на остановке 2 в нее загрузятся пассажиры в количестве  $m_{2,K}$ , которые безостановочно проследуют от остановки 2 до остановки маршрута  $K$ . Это вторая процедура первого этапа.

Оставшаяся часть кассеты из  $K-2$  инфобусов продолжает движение к остановке 3, где также от конца кассеты отделяется очередной инфобус и останавливается на остановке 3 для выгрузки  $m_{1,3}$  пассажиров и загрузки  $m_{3,K}$  пассажиров. Загруженные на остановке 3 пассажиры в количестве  $m_{3,K}$  проследуют безостановочно с остановки 3 также до остановки  $K$ . Аналогичный процесс выполняется для остановок 4, 5 и т. д. вплоть до остановки  $K-1$ .

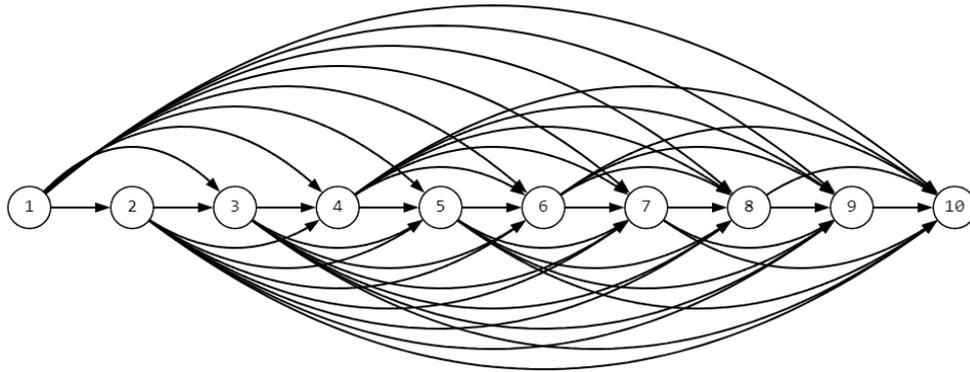


Рис. 9. Полный граф развозки  $G$

Этап 1

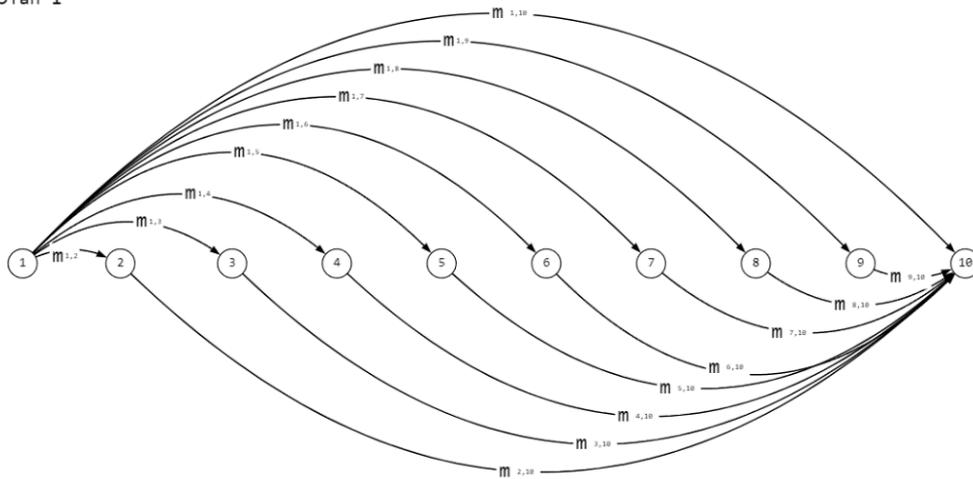


Рис. 10. Подграф  $G_1$  полного графа развозок  $G$

Описанный процесс иллюстрируется подграфом  $G_1$  (рис. 10) полного графа развозок  $G$  из 10 вершин (рис. 9), т. е. маршрут по одному направлению состоит из десяти остановок. Ребра подграфа  $G_1$  выше горизонтали, на которой расположены вершины графа (рис. 10), относятся к первой процедуре; ко второй – относятся ребра ниже этой горизонтали. Первая процедура реализует алгоритм развозки по строке, вторая – алгоритм по столбцу.

В результате первого этапа выполнения первой процедуры будут развезены все пассажиры с первой остановки (верхняя часть подграфа  $G_1$ ). Первая строка матрицы корреспонденций станет нулевой. Также будут развезены все пассажиры маршрута, следующие до остановки  $k$  (нижняя часть подграфа  $G_1$ ). Это вторая процедура первого этапа. В результате  $k$ -й столбец матрицы корреспонденций также обнуляется. После выполнения первого этапа развозки начальная матрица корреспонденций  $M_z$  принимает следующий вид:

$$M = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & \dots & \dots & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_{23} & \dots & \dots & m_{2j} & \dots & m_{2k-1} & 0 \\ \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & m_{i+1} & \dots & m_{ij} & \dots & m_{ik-1} & 0 \\ \dots & 0 \\ \dots & 0 \\ 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & m_{k-1k-1} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & 0 \end{pmatrix}.$$

Инфобусы из кассеты первого этапа вновь собираются в кассету на конечной  $k$ -й остановке маршрута. На  $k$ -остановку все они придут одновременно, кроме головного инфобуса кассеты, который, в отличие от всех других инфобусов, не делает остановок на маршруте и прибывает раньше (см. подграф  $G_1$  на рис. 10). Все остальные инфобусы придут на  $k$ -ю остановку одновременно, так как все они делали по одной остановке, равной длительности  $t_{\text{вз}}$  ( $t_{\text{вз}} = 20\text{--}30$  с) на выгрузку и загрузку пассажиров.

На втором этапе развозки задающей остановкой является остановка 2, на которой выполняется формирование второй кассеты. Она пойдет по маршруту вслед за первой с задержкой  $t_{\text{вз}}$ . В соответствии с первой процедурой все пассажиры остановки 2 будут развезены (алгоритм по строке), а также будут развезены все пассажиры маршрута, следующие до остановки  $k-1$  (алгоритм по столбцу). В матрице корреспонденций обнуляется вторая строка и  $k-1$  столбец. Граф развозки  $G_2$  второго этапа перевозки изображен на рис. 11.

Этап 2

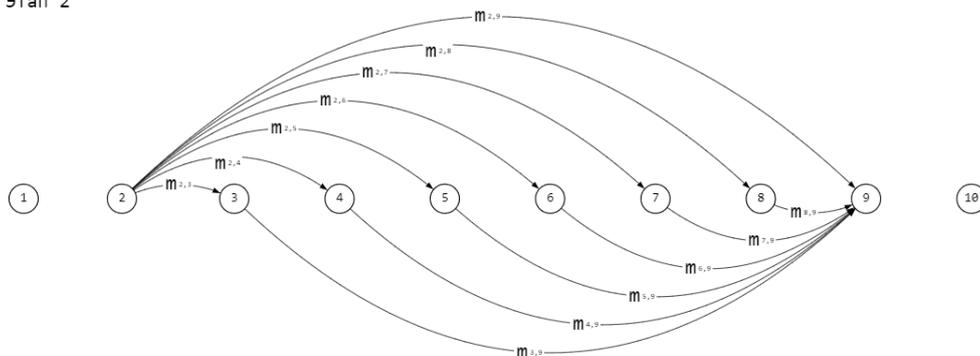
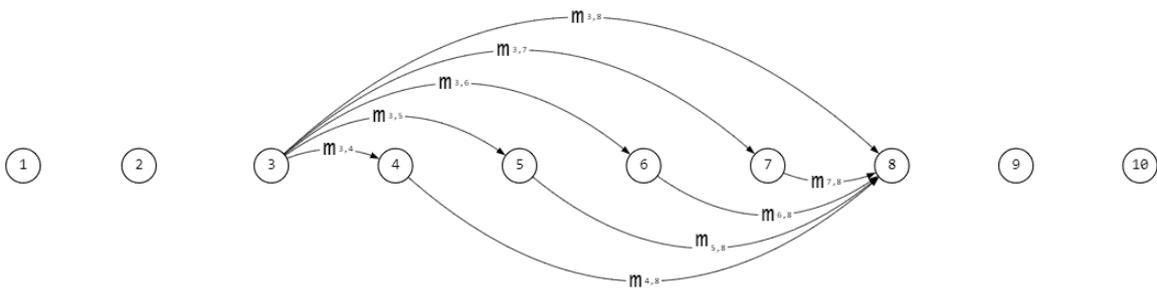


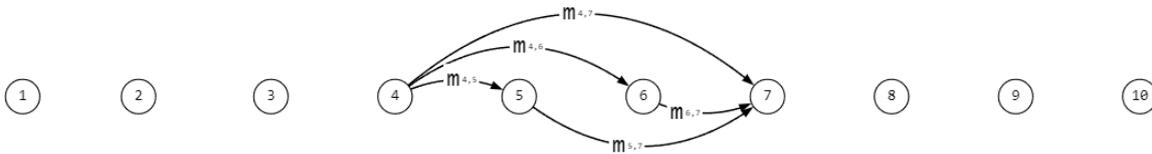
Рис. 11. Подграф  $G_2$  полного графа развозок  $G$

Аналогичным образом выполняются третий и последующие этапы развозки пассажиров. Число этапов определяется выражением:  $C = \left\lceil \frac{k}{2} \right\rceil$ , где  $\left\lceil \frac{k}{2} \right\rceil$  – ближайшее целое число в сторону уменьшения, если выражение дробное. Так, для маршрута на рис. 11 из десяти остановок ( $k = 10$ ) число этапов будет 5. Графы развозок этапов 3–5 перевозки изображены на рис. 12.

Этап 3



Этап 4



Этап 5

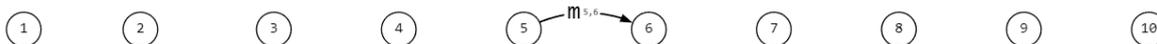


Рис. 12. Подграфы  $G_3$ ,  $G_4$  и  $G_5$  полного графа развозок  $G$

Рассчитаем провозную способность транспортной системы «супер-скоростной трамвай» при следующих начальных условиях:

$k = 10$  – число остановок одного направления маршрута;

$L = 10$  км – протяженность маршрута;

$V = 80$  пассажиров – вместимость инфобуса;

$v = 150$  км/ч – рабочая (максимальная) скорость движения;

$a = 1,5$  м/с<sup>2</sup> – ускорение разгона;

$b = 1,8$  м/с<sup>2</sup> – ускорение торможения;

$t_{63} = 20$  с – время остановки для выгрузки и загрузки пассажиров.

Рассчитаем время, необходимое для полной перевозки всех пассажиров насыщенной матрицы корреспонденций. На рис. 13 представлена диаграмма движения инфобуса первой кассеты (этап 1). Она состоит из ди-

станции разгона  $S_p$  с первой остановки, торможения  $S_T$  на  $i$ -й остановке (в данном случае на рис. 13 – на второй), дистанции разгона  $S_p$  со второй остановки, дистанции  $S_T$  торможения и остановки на  $k$ -м остановочном пункте. Диаграмма движения головного инфобуса кассеты изображена на рис. 14. Он движется безостановочно от первой остановки к  $k$ -й последней и у него только один разгон от первой остановки и торможение на  $k$ -й. В данном примере на 10-й.

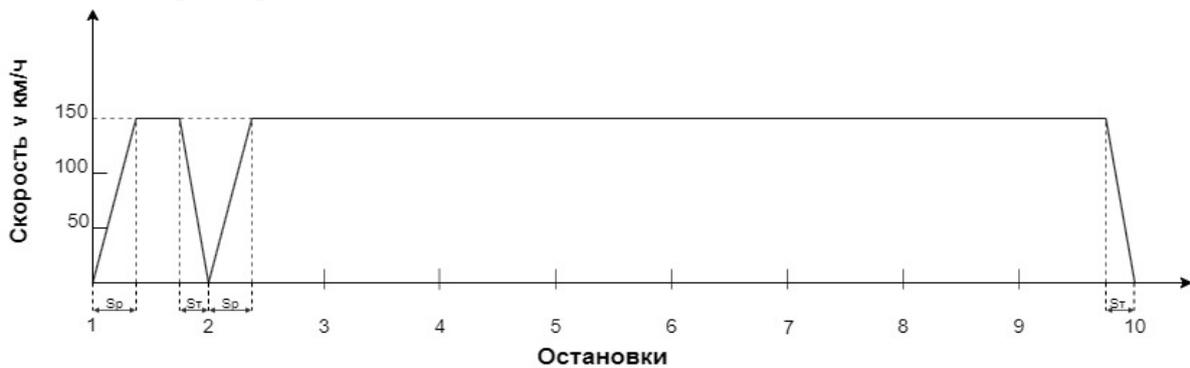


Рис. 13. Диаграмма движения инфобуса первой кассеты

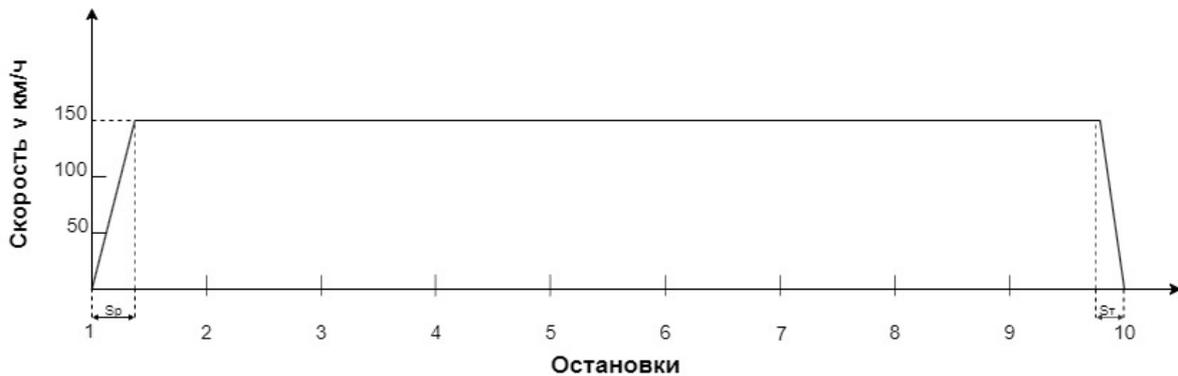


Рис. 14. Диаграмма движения головного инфобуса кассеты

Все остальные инфобусы в кассете делают по одной остановке на протяжении маршрута. На конечную  $k$ -ю остановку все инфобусы кассеты первого этапа развозки прибывают одновременно, так как с первой остановки они начали движение в единой кассете, имели равную скорость и сделали каждый по одной остановке. В процессе движения каждый инфобус отделялся от конца кассеты, чтобы сделать единственную остановку для загрузки и выгрузки пассажиров.

Рассчитаем время, необходимое для перевозки пассажиров первого этапа развозки. Оно будет состоять из времени на разгон  $t_p$  до рабочей скорости  $v = 150$  км/ч инфобуса от остановки 1, времени на торможение  $t_T$  и разгон  $t_p$  на  $i$ -й остановке, времени самой остановки  $t_{\text{вз}} = 20$  с (выгрузка, загрузка), времени  $t_c$  равномерного движения со скоростью  $v = 150$  км/ч и торможения на  $k$ -й (10-й) остановке (см. рис. 13).

Рассчитаем:

– время разгона  $t_p$  кассеты до рабочей скорости  $v = 150$  км/ч (41,6 м/с):  
 $t_p = v/a = 41,6/1,5 = 27,7$  с;

– пройденный кассетой путь при разгоне:  $S_p = at^2/2 = 1,5 \times 27,7 \times 27,7/2 = 575,47$  м;

– время торможения  $t_T$  кассеты до полной остановки:  $t_T = v/b = 41,6/1,8 = 23,11$  с;

– пройденный кассетой путь при торможении:  $S_T = b t^2/2 = 1,8 \times 23,11 \times 23,11/2 = 480,66$ ;

– полное время движения кассеты в режимах разгона и торможения:  
 $t_{pT} = 2(t_p + t_T) = 2(27,7 + 23,11) = 101,62$  с.

Рассчитаем длину пути движения кассеты в режиме равноускоренного (разгон) и равнозамедленного (торможение) движения. На всем маршруте движения кассеты были две дистанции равноускоренного и две дистанции равнозамедленного движения (рис. 13). Суммарный путь равен:

$$S_{pT} = 2(S_p + S_T) = 2(575,47 + 480,66) = 2112,26 \text{ м.}$$

Длина пути кассеты в режиме равномерного движения:

$$S_c = L - S_{pT} = 10000 - 2112,26 = 7887,74 \text{ м.}$$

Время равномерного движения кассеты на маршруте:

$$t_c = S_c / v = 7887,74 / 41,6 = 189,6 \text{ с.}$$

Полное время движения первой кассеты на маршруте с учетом времени остановки кассеты для выгрузки и загрузки пассажиров:

$$T_{n1} = t_{pT} + t_c + t_{\text{вз}} = 101,62 + 189,6 + 20 = 311,22 \text{ с или } 0,086 \text{ ч.}$$

Выше было рассчитано полное время  $T_{n1}$  движения кассеты первого этапа. Кассета второго этапа (вторая кассета) идет вслед за первой с задержкой на время выгрузки и загрузки  $t_{\text{вз}} = 20$  с. Третья кассета также идет с задержкой  $t_{\text{вз}} = 20$  с относительно второй кассеты и т. д. Так как этапов пять (и кассет пять), то полное время задержек между кассетами составит 80 с. Добавляем 80 с к  $T_{n1}$  и получим  $311,22 + 80 = 391,22$  с или 0,108 ч.

Вычислим число перевезенных пассажиров по матрице корреспонденций. Число элементов матрицы корреспонденций на маршруте из 10 остановок равно  $(10 \times 10 - 10) / 2 = 45$ . Каждый элемент содержит 80 пассажиров. Итого перевезено 3600 за время 0,108 ч. Рассчитаем провозную способность системы «суперскоростной трамвай»:  $3600/0,108 = 33333,33$  пассажиров/ч, что сравнимо с метрополитеном [8], но на два порядка дешевле и что в 1,33 раза выше, нежели в скоростном трамвае (25 000 пассажиров/ч).

Рассчитаем среднюю скорость движения кассет на маршруте:

$$L/t = 10\,000 / 391,22 = 25,56 \text{ м/с} = 92 \text{ км/ч.}$$

Следует отметить, что кассеты второго, третьего и т. д. этапов прибывают на конечную  $k$ -ю остановку почти одновременно с кассетой первого этапа с задержкой  $t_{83} = 20$  с. Другими словами, объект движения выглядит как одна единая кассета, в которой постоянно идут процессы разъединения, выхода инфобусов из кассеты (для остановки, выгрузки и загрузки пассажиров) и вновь присоединения к кассете. При этом соблюдается принцип конвейера, т. е. никто никого не обгоняет. Также такой алгоритм развозки исключает конфликтность между инфобусами, при движении полная синхронизация и никто никого на маршруте не задерживает.

Таким образом, кассетность, конвейерность, синхронизированность и высокая алгоритмизированность процессов позволяют данной транспортной системе достичь параметров метро, а по некоторым позициям значительно превзойти их (таблица).

Сравнительная характеристика суперскоростного и скоростного трамвая

Скоростной трамвай	Суперскоростной трамвай	Преимущества
Система функционирует при управлении человеком	Система функционирует при полном отсутствии человека	Высокий уровень безопасности движения. Сокращение числа ДТП, травм и смертей. Минимизируется негативное влияние человеческого фактора, который по статистике является причиной почти 80 % ДТП
Нет единого контура управления	Система беспилотный суперскоростной трамвай увязана единым контуром управления	Единая система управления обеспечивает оптимальный режим эксплуатации без простоев и неэффективного использования транспортных средств
Система слабо адаптирована к пассажиропотоку	Система максимально адаптирована к пассажиропотоку	Система работает по требованию пассажира на обслуживание и перевозку с минимальным временем ответа на запрос
Общественный транспорт	Сочетает в себе признаки личного и общественного транспорта	Высокая провозная способность, минимальное время на ожидание транспорта
Выделенная полоса в общем потоке движения транспорта	Выделенная специально оборудованная полоса	Эффективное использование пропускной способности дорог. Оптимальный скоростной режим существенно сократит дорожные заторы
Работает по графику	Работает ежедневно по 24 ч в сутки	Высокие потребительские качества

Окончание табл.

Скоростной трамвай	Суперскоростной трамвай	Преимущества
Средняя скорость движения 25–30 км/ч	Высокая средняя скорость движения 60–90 км/ч	Увеличение провозной способности системы в 1,5 раза. Сокращение времени поездки пассажира
Средняя провозная способность 25 тыс. пассажиров в час	Высокая провозная способность 33,3 тыс. пассажиров в час	Высокая степень удовлетворения потребностей населения в перевозках
Высокий уровень изнашиваемости механических частей транспорта	Низкий уровень изнашиваемости механических частей транспорта	Сокращение эксплуатационных затрат
Высокий уровень расхода электроэнергии на километр пути	Низкий уровень расхода электроэнергии на километр пути	Экономия электроэнергии
Наличие водителя трамвая	Отсутствие водителя	Экономия на заработной плате водителя

Перечислим основные качества суперскоростной трамвайной системы:

- 1) полная адаптивность к пассажиропотоку;
- 2) быстрое формирование транспортного средства любого объема;
- 3) в два раза меньшее потребление дорогого городского пространства на проложение путей;
- 4) меньший радиус разворота на поворотах;
- 5) распределенная нагрузка на полотно имеет меньшие требования к рельсам и, следовательно, удешевляет строительство;
- 6) меньшая шумогенерация в экологии города;
- 7) облегченный тип эстакад, меньший радиус тоннельного входа по подземному проезду;
- 8) высокая энергоэкономичность;
- 9) маневренность;
- 10) массовое производство однотипных и малогабаритных инфобусов трамвайного типа;
- 11) малое время ожидания транспорта пассажиром;
- 12) высокая скорость доставки пассажира (безостановочная) до места поездки;
- 13) высокая транспортная доступность;

14) провозная способность такой транспортной системы может варьироваться в широких пределах и приближаться к провозной способности метро;

15) низкие амортизационные расходы.

### **Заключение**

Во всем мире идет процесс ренессанса трамвая. Разрабатываются новые скоростные трамвайные линии в передовых странах Европы. Обычный трамвай становится скоростным путем отделения линии его движения от других участников дорожного движения, а также за счет удлинения перегонов между остановками. Последнее ухудшает транспортную доступность остановочного пункта для пассажира.

Минск на полвека запоздал с разработкой скоростного трамвая. С появлением концепции суперскоростного трамвая на принципах новой транспортной технологии кассетно-конвейерных городских скоростных пассажирских перевозок Минск может пропустить фазу строительства скоростного трамвая и сразу впервые в мире реализовать суперскоростную трамвайную систему. Такая транспортная система в 80 % случаев может исключить строительство дорогого метро, так как имеет высокую провозную способность, приближающуюся к метро.

### **Список использованных источников**

1. Швецова, Е. В. Алгоритмы функционирования беспилотной городской пассажирской транспортной системы / Е. В. Швецова, В. Н. Шуть // Математические методы в технике и технологиях : сб. тр. XXXII Междунар. науч. конф. – СПб. : Изд-во Политехнического университета, 2019. – Т. 12, ч. 2. – С. 32–39.

2. Шуть, В. Н. Оптимизация городских пассажирских перевозок в транспортной системе на базе беспилотных электрокаров [Электронный ресурс] / В. Н. Шуть, Е. В. Швецова. – Режим доступа: <https://rep.bntu.by/bitstream/handle/data/68249/486-491.pdf>. – Дата доступа: 25.09.2023.

3. Швецова, Е. В. Алгоритмы выбора остановок доставки инфобуса для посадки пассажиров / Е. В. Швецова // Вестник Брестского государственного технического университета. Физика, математика, информатика. – 2019. – № 5(118). – С. 50–53.

4. Shviatsova, A. The Smart Urban Transport System / V. Shuts, A. Shviatsova // Research Papers Collection of Open Semantic technologies for Intelligent System. – Minsk : Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2020. – P. 349–352.

5. Shuts, V. System of urban unmanned passenger vehicle transport / V. Shuts, A. Shviatsova // ICCPT 2019: Current Problems of Transport : proc. of the 1st Intern. Scientific Conf., Ternopol, 28–29 May 2019. – Ternopol : TNTU, 2019 – С. 174–184.

6. Шуть, В. Н. Алгоритм организации городских пассажирских перевозок посредством рельсового беспилотного транспорта «Инфобус» / В. Н. Шуть, Е. В. Швецова // Actual problems of fundamental science : 3rd Intern. Conf., Луцк, 1–5 июня 2019 г. – Луцк : Вежа-Друк, 2019. – С. 222–226.

7. Винер, Н. Кибернетика / Н. Винер. – Пер. с англ. И. В. Соловьев, Г. Н. Поваров ; под ред. Г. Н. Поварова. – М. : Советское радио, 1968. – 400 с.

8. Шуть, В. Н. Суперскоростная роботизированная интеллектуальная транспортная система городской перевозки пассажиров / В. Н. Шуть, Е. В. Швецова // Университет – территория опережающего развития : сб. науч. ст., посвящ. 80-летию ГрГУ им. Янки Купалы. – Гродно : ГрГУ, 2020. – С. 146–149.

9. Современные тенденции развития бортовых интеллектуальных транспортных систем / П. А. Пегин [и др.]. – СПб. : СПбГАСУ, 2019. – 198 с.

Содержание

Введение.....	3
<i>Абламейко М. С.</i> Риски применения систем искусственного интеллекта: правовая защита.....	5
<i>Абламейко С. В., Абламейко М. С., Белоцерковский А. М., Голенков В. В., Касанин С. Н., Кругликов С. В., Минько Н. С., Михалева Т. Н.</i> Модельный закон «Об искусственном интеллекте»: цель, предмет правового регулирования и основные положения.....	10
<i>Алигаджиев Р. И., Веригин И. С.</i> Искусственный интеллект как платформа: развитие и применение технологии ИИ в практике подготовки данных для цифрового госуправления и автоматизации бизнес-процессов.....	22
<i>Артамонов В. А., Артамонова Е. В.</i> Искусственный интеллект в науке и мироздании.....	26
<i>Атрошкина А. Д.</i> Современное состояние искусственного интеллекта.....	37
<i>Бойко И. М., Писаревский Д. С., Мацко А. А.</i> Интеллектуальная система поддержки принятия решений в области космической деятельности.....	45
<i>Бураков Д. П., Микони С. В., Соколов Б. В.</i> Инструментальная система автоматизации решения задач многокритериального четкого и нечеткого выбора.....	50
<i>Воробьев Д. А., Карпенко А. Д., Тузиков А. В., Андрианов А. М.</i> Применение генеративной модели LSTM глубокого обучения для дизайна потенциальных ингибиторов вируса иммунодефицита человека.....	61
<i>Гецэвіч Ю. С., Дыдо В. В., Бяляўскі Д. А., Зяноўка Я. С., Люціч М. С., Кухарэвіч Г. С., Хахлоў В. А., Драгун А. Я., Павуціна М. А., Назараў У. У.</i> Тэхналогіі аўтаматычнай апрацоўкі і аналізу маўлення з прымяненнем штучнага інтэлекту.....	71

<i>Гладкая Е. Н.</i> Идентификация и институционализация искусственного интеллекта в структуре общественных отношений .....	79
<i>Голенков В. В., Гулякина Н. А., Шункевич Д. В.</i> Главная стратегическая цель работ в области искусственного интеллекта и соответствующие ей ключевые задачи.....	85
<i>Денисов А. А., Никифоров А. В., Волков А. В.</i> Анализ изображений клеток нервной ткани <i>in vitro</i> с применением метода глубокого обучения.....	95
<i>Дравица В. И., Решетняк А. В., Король И. А., Андрушевич А. А.</i> Перспективы применения технологий искусственного интеллекта в управлении цепочками поставок .....	100
<i>Зяноўка Я. С., Бяляўскі Д. А., Дыдо В. В., Тамашэвіч У. С., Латышэвіч Д. І., Бакуновіч А. А., Собаль В. С., Гецэвіч Ю. С.</i> BELAIBY – платформа штучнага інтэлекту .....	104
<i>Игнатъева С. А., Богуш Р. П.</i> Реидентификация людей по данным систем видеонаблюдения с использованием машинного обучения.....	112
<i>Исаев А. А.</i> Стратегическое видение развития искусственного интеллекта в Казахстане 2023–2025 гг.....	119
<i>Карапетян А. Г.</i> Развитие искусственного интеллекта в Союзном государстве .....	123
<i>Колесников А. В.</i> Искусственный интеллект как форма, повод и поле самопознания человеком самого себя.....	126
<i>Кончиц А. П., Сачек А. П.</i> Определение фенотипических характеристик древесины с использованием методов компьютерной биометрии .....	131
<i>Кузнецов О. Е.</i> Диагностика злокачественных новообразований на основе системы искусственного интеллекта.....	136

<i>Лабоцкая А. А.</i> Аналитические системы в спортивной сфере .....	142
<i>Микитчук К. Б., Чиж А. Л.</i> Автоматический подбор параметров радиофотонных устройств для генерации сверхширокополосных СВЧ-сигналов с линейно-частотной модуляцией .....	148
<i>Мухитдинов Н. Н.</i> Правовое регулирование применения технологий искусственного интеллекта .....	159
<i>Нечаев С. Е., Терех И. С., Криштопова Е. А.</i> Интеграция искусственного интеллекта с IoT на основе платформы «Абсолют: SmartCloud»: возможности для «умного города». ....	166
<i>Никитин А. Н., Кудин М. В., Чешик И. А., Мищенко Е. В., Сухарева Д. В., Калиниченко С. А., Шуранкова О. А.</i> Глубокая нейронная сеть архитектуры трансформер для оценки и прогноза параметров состояния экосистем на территориях с высоким уровнем радиоактивного загрязнения .....	172
<i>Пиричук Д. И.</i> О преподавании дисциплины «Нейронные сети» .....	183
<i>Понтус А. Р., Романова М. Л., Давидович Ю. С., Дольский В. Л., Аниськов И. П.</i> Разработка системы дистанционного лесопатологического мониторинга с использованием беспилотных летательных аппаратов и искусственного интеллекта автоматической детекции полученных материалов съемки .....	192
<i>Понтус А. Р., Романова М. Л., Ермоленкова Г. В., Червань А. Н.</i> Разработка информационной системы высокоинтенсивного ведения сельскохозяйственного производства с использованием данных ДЗЗ и элементов искусственного интеллекта при дешифрировании полученных материалов .....	201
<i>Прись И. Е.</i> Неоэкзистенциализм М. Габриэля против искусственного интеллекта .....	208

*Радкевич К. А.*

Перспективы внедрения искусственного интеллекта в «умных городах»  
в условиях цифрового развития Беларуси ..... 217

*Русецкий С. Г., Куликова Е. Я.*

Оценка покрытия территории древесной растительностью по открытым  
данным космической съемки с использованием сверточных нейронных  
сетей ..... 223

*Скиба И. Р.*

Технотропный подход к разработке систем сильного искусственного  
интеллекта ..... 230

*Соколов Б. В., Юсупов Р. М., Охтилев М. Ю., Охтилев П. А.*

Создание и использование интеллектуальных систем поддержки  
принятия решений в АСУ сложными объектами ..... 235

*Ставровский И. К.*

Является ли искусственный интеллект угрозой творчеству? ..... 246

*Штена В. Н., Шикунец А. Б., Козырь А. В., Золотых Н. Ю.*

Практическое использование информационно-аналитической  
системы оценки экологической безопасности водоотведения ..... 251

*Шуть В. Н., Швецова Е. В.*

Общественная беспилотная скоростная транспортная система ..... 257

*Научное издание*

**II ФОРУМ IT-АКАДЕМГРАДА  
«ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В БЕЛАРУСИ»**

Доклады

Ответственный за выпуск С. С. Мойсейчик

Подписано в печать 01.12.2023. Формат 60×84 1/16. Бумага офсетная. Ризография.  
Уч.-изд. л. 19,2. Усл. печ. л. 15,8. Тираж 150 экз. Заказ 10.

---

Издатель и полиграфическое исполнение:  
государственное научное учреждение «Объединенный институт проблем  
информатики Национальной академии наук Беларуси».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,  
распространителя печатных изданий № 1/274 от 04.04.2014.

Ул. Сурганова, 6, 220012, Минск.