



**ПЕРВАЯ ВЫСТАВКА-ФОРУМ
ІТ-АКАДЕМГРАДА
«ІСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ
В БЕЛАРУСИ»**

13–14 октября 2022 года, Минск

ДОКЛАДЫ



Национальная академия наук Беларуси



Объединенный институт проблем информатики
Национальной академии наук Беларуси

**ПЕРВАЯ ВЫСТАВКА-ФОРУМ
IT-АКАДЕМГРАДА
«ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ
В БЕЛАРУСИ»**

13–14 октября 2022 года, Минск

Доклады

Минск
ОИПИ НАН Беларуси
2022

УДК 004(470+476)(061.3)

Первая выставка-форум IT-академграда «Искусственный интеллект в Беларуси» : сборник докладов, Минск, 13–14 октября 2022 г. – Минск : ОИПИ НАН Беларуси, 2022. – 122 с.
ISBN 978-985-7198-13-9.

В сборнике представлены доклады представителей государственных органов, учреждений образования, ученых и специалистов научно-исследовательских организаций, занимающихся исследованиями в области применения методов искусственного интеллекта.

Адресуется исследователям, практическим работникам и широкому кругу читателей.

Доклады, вошедшие в настоящий сборник, представлены в авторской редакции.

Печатается по решению программного комитета Первой выставки-форума IT-академграда «Искусственный интеллект в Беларуси».

Научное издание

ПЕРВАЯ ВЫСТАВКА-ФОРУМ
IT-АКАДЕМГРАДА
«ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ
В БЕЛАРУСИ»

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.

ISBN 978-985-7198-13-9

© Оформление. ОИПИ НАН
Беларуси, 2022

СОДЕРЖАНИЕ

Абламейко С. В.

Искусственный интеллект в Беларуси: история развития
и некоторые результаты..... 6

Голенков В. В.

Методологические проблемы текущего состояния работ в области
искусственного интеллекта 15

Николаев Г. И., Шульдов Н. А., Тузиков А. В., Андрианов А. М.

Глубокое обучение и молекулярное моделирование для разработки
потенциальных лекарств 24

Харин А. Ю.

Обучение студентов и магистрантов в области Data Science
в Белорусском государственном университете..... 26

Ковалев В. А., Филипович И. А., Козловский С. А.

Некоторые проблемы безопасности медицинских систем,
основанных на современных методах искусственного интеллекта..... 28

Нечаев С. Е., Терех И. С., Криштопова Е. А.

От концепции к практической реализации «умного города»
(на базе платформы «Абсолют: SmartCloud»)..... 35

Залесский Б. А., Троцкий Ф. С., Абрамович М. В.

Обнаружение и сопровождение объектов, наблюдаемых
бортовой камерой БЛА 39

Штепа В. Н., Золотых Н. Ю.

Интеллектуальная система анализа и прогноза экологической
безопасности биологических сооружений очистки сточных вод 41

Богуш Р. П., Игнатьева С. А., Абламейко С. В.

Сопровождение и повторная идентификация людей
в интеллектуальных системах видеонаблюдения
с применением сверточных нейронных сетей..... 46

Груммо Д. Г., Русецкий С. Г., Зеленкевич Н. А.

Вероятностная оценка пространственного распределения ключевых
биотопов национального парка «Нарочанский» на основе
наземно-дистанционных прогностических параметров..... 54

Мальцев М. В., Харин Ю. С.

О применении методов машинного обучения к решению задач защиты информации 62

**Гецэвіч Ю. С., Зяноўка Я. С., Трафімаў А. С., Бакуновіч А. А.,
Латышэвіч Д. І., Драгун А. Я., Слесарава М. М., Тукай М. С.**

Комплекс сродкаў рэалізацыі задач штучнага інтэлекту для беларускай мовы..... 64

Гущинский Н. Н., Ковалев М. Я., Розин Б. М.

Модели, методы и программные средства поддержки принятия решений при планировании замены традиционного парка автобусов электробусами 74

Снежко Э. В., Ковалев В. А., Косарева А. А., Павленко Д. А.

Нейросетевой программный комплекс для поддержки принятия решений при диагностике заболеваний легких на основе рентгеновских и томографических изображений 80

Еськов С. А., Красный С. А., Малькевич В. Т.

Предоперационное компьютерное 3D-моделирование в планировании органосохраняющей реконструктивной операции по поводу опухоли легкого центральной локализации..... 88

Абламейко М. С.

Искусственный интеллект среди нас: необходимость правового регулирования..... 91

Бибило П. Н., Романов В. И.

Продукционно-фреймовая модель представления знаний в логическом проектировании цифровых схем..... 97

Климук Д. А., Гуревич Г. Л., Журкин Д. М., Скрыгина Е. М.

Применение республиканского регистра «Туберкулез» в практике работы фтизиатрической службы 102

Палуха В. Ю., Харин Ю. С.

Программное средство энтропийного анализа дискретных временных рядов 103

Скоповец Е. Я., Вертёлко В. Р.

Технологии биоинформатической обработки данных высокопроизводительного секвенирования микробиоты кишечника..... 108

Крамко Д. А.

Медицинская профилактика инвалидности у детей, родившихся с экстремально низкой и очень низкой массой тела с применением технологий искусственного интеллекта 114

Романова М. Л., Понтус А. Р., Максимов М. М.

Разработка системы аэрокосмического мониторинга эколого-функционального состояния городских зеленых насаждений на примере Минска 120

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ РАЗВИТИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

УДК 004.8

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В БЕЛАРУСИ: ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ И НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

С. В. Абламейко

Белорусский государственный университет,
Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси
ablameyko@bsu.by

Введение. В последние десятилетия искусственный интеллект все больше входит в нашу жизнь. Что это такое? Можно сказать, что искусственный интеллект представляет собой информационную систему, разработанную для того, чтобы наделить компьютер имитирующими человека способностями: слухом, зрением, способностью к обучению [1]. То есть – это машина, умеющая интерпретировать различные задачи и самостоятельно разрабатывать подходящие решения на уровне, достаточно близком к мыслительным психологическим способностям человека. ИИ не работает по жестким алгоритмам, а принимает собственные решения, исходя из анализа больших массивов данных, автономно выявляет закономерности и формулирует правила, самосовершенствуется, человек лишь задает критерии точности.

Как научная дисциплина, «искусственный интеллект» является так называемой зонтичной дисциплиной. Она состоит из множества направлений, таких как представление данных, доказательство теорем, компьютерное зрение, машинное обучение, робототехника, обработка естественного языка, многоаспектные системы и т. п. При этом каждая из названных ветвей в свою очередь подразделяется на десятки других, особенно это актуально в робототехнике.

Использование ИИ в различных сферах жизнедеятельности положительно влияет на развитие общества, так как упрощаются многие производственные процессы. Роботизация и применение систем ИИ в промышленности позволила оптимизировать многие процессы, сократить сроки выполнения работ, исключить необходимость присутствия человека на вредных производствах, сократить уровень травматизма. Особо бурно развивается искусственный интеллект в медицине.

Вместе с тем следует отметить и негативные факторы внедрения ИИ такие как: несанкционированный доступ, модификация заложенных программ, угроза сбоев [2].

Огромное внимание стало уделяться обучению основам ИИ в вузах и даже школах. Правительство Российской Федерации в 2021 году выделило 600 млн рублей в качестве грантов вузам для обучения по профилю "искусственный интеллект". Планируется, что через три года в вузах РФ можно будет выбирать не менее из 10 программ бакалавриата, а в магистратуре будет не менее 40. За этот период более 3 тыс. вузовских преподавателей пройдут дополнительное обучение по такому профилю [3].

Ученики 8 –11 классов ряда российских школ с 1 сентября 2021 года смогут осваивать основы искусственного интеллекта (ИИ). Обучение основам ИИ будет проводиться в рамках предмета "Информатика" или отдельного курса в зависимости от приоритетов учебного заведения. Длительность образовательных курсов составит от 18 до

45 часов с учетом возраста учеников и их потребностей [4]. С сентября 2021 года студентов МГУ всех специальностей обязали проходить курс по искусственному интеллекту [5].

Все это говорит о необходимости усиления внимания к развитию ИИ в нашей стране. В данной работе рассматриваются вопросы развития ИИ в нашей стране в науке, образовании и производстве и даются предложения по дальнейшим направлениям.

От узкого к общему ИИ. Что лежит в основе искусственного интеллекта? Для использования и развития искусственного интеллекта необходимы три составляющие: высокая вычислительная мощность, большие объемы данных и интеллектуальные алгоритмы. Поскольку доступность этих ресурсов сегодня резко возросла, то искусственный интеллект переживает настоящий бум.

Искусственный интеллект получает «знания», «умения» и «навыки» не так, как мы. Его способность к обучению пока ограничена одной конкретной областью (которую выбрали программисты). ИИ не может самостоятельно постигнуть что-то еще: созданный для движения робот не начнет «вдруг» читать, пока в дело не вмешается обслуживающий его персонал, т. е. человек.

ИИ позволяет автоматизировать повторяющиеся процессы обучения и поиска за счет использования данных. Однако цель ИИ – не автоматизация ручного труда, а надежное и непрерывное выполнение многочисленных крупномасштабных компьютеризированных задач. Такая автоматизация требует участия человека для первоначальной настройки системы и правильной постановки вопросов. Но это все относится к созданию «узких» систем ИИ, когда система очень эффективно может решать достаточно узкую задачу, например, поставить диагноз какого-либо вида рака по изображению больного органа после проведенного ранее обучения.

Но в последние годы ученые работают над созданием общего (сильного) искусственного интеллекта (в принятой международной номенклатуре – AGI, Artificial General Intelligence). Под общим (сильным) интеллектом понимают человеческий интеллект, наделенный сознанием, т.е. естественный интеллект [6]. Все существующие формы ИИ чаще относят к слабому интеллекту.

Если у ученых получится создать общий ИИ, такой продукт может стать копией человека: он сможет учиться выполнять абсолютно разные задачи и переносить свои знания из одной сферы в другую, будет мыслить критически, а еще кооперироваться с людьми или другими искусственными интеллектами, чтобы достичь своих целей. Удастся ли нам создать такую технологию, пока неизвестно, но, если это произойдет, наш мир круто изменится.

Природа общего ИИ понимается как коллективная, распределенная, тогда как в классическом она понималась как индивидуальная, сосредоточенная [7].

В книге [8] показано, что как только нам удастся создать общий ИИ, тот мгновенно эволюционирует до уровня супер-интеллекта, а значит, станет мыслить лучше и быстрее, чем мы. Мы будем должны выстраивать отношения с искусственным интеллектом и, возможно, даже забывать, что он всего лишь притворяется. Как быть в этом случае? Должны ли мы наказывать за жестокое обращение с ИИ, который реагирует так же, как и мы, однако чувствует иначе. Кто будет отвечать за неправомерные действия ИИ: его создатель или тот, кто его эксплуатирует? Кто возместит нанесенный урон, если ИИ поведет себя не так как планировалось? И множество других вопросов.

Насколько вопрос создания общего искусственного интеллекта является на данный момент актуальным? Вопрос создания искусственного мышления, равного человеческому, очень будоражит умы и воображение людей. Однако, одним из препятствий на пути создания общего искусственного интеллекта человеческого уровня является недостаточное понимание природы человеческого разума. Вполне возможно природа человеческого интеллекта такова, что «прояснить» его механизмы, свести деятельность

интеллекта к некоторому набору «функций» или «операций», невозможно в принципе. Но всё же плоды создания общего искусственного очень важны, ведь его создание позволило бы сразу решить практически неограниченное число прикладных задач [9].

Краткая история развития ИТ-отрасли в Республике Беларусь. К концу советского периода БССР имела устойчивый имидж высокотехнологичной республики и у нас работала огромная армия ученых и практиков в сфере кибернетики и вычислительной техники (тогда это так называлось).

К сожалению, в 1990-е годы все это стало стремительно разрушаться. Наша маленькая республика (в сравнении с большим СССР) не могла содержать такую армию ученых. Прошли сильные сокращения. Часть специалистов в области математики, кибернетики и вычислительной техники уехала за рубеж. Большая часть людей ушла в бизнес. Немалая часть людей перешла в другие государственные структуры, поскольку у них стали повсеместно создаваться отделы вычислительной техники (назовем их так).

Немалая доля сотрудников государственных организаций перешла в частный ИТ-бизнес. Именно люди, работавшие в сфере математики, кибернетики и вычислительной техники стали создавать частные ИТ-предприятия, такие как ИВА, ЕРАМ-Systems и другие. И именно благодаря этим людям, ранее работавшим в госсекторе, появились и расцвели потом частные ИТ-компании.

Надо сказать, что всего 25–30 лет назад мы начали создавать частные программистские компании, создавать продукты, аппаратное обеспечение, оборудование. Но даже за столь короткий промежуток времени и в условиях жесточайшей конкуренции белорусские научные организации и компании, работающие в ИТ-бизнесе, сумели получить серьезные заказы и принять участие в многочисленных международных проектах. Вместе с тем надо учитывать специфику рынка. Существуют универсальные программные продукты для массового потребления, создание которых под силу крупнейшим корпорациям, и специализированные – решающие «узкие» проблемы. Наши программисты много занимались разработкой, внедрением и сопровождением информационных систем для ведущих компаний мира.

В Беларуси в настоящее время организации, работающие или касающиеся сферы искусственного интеллекта, можно разделить на несколько групп:

- университеты, где обучаются студенты и проводятся научные исследования в данной сфере;
- организации Национальной академии наук Беларуси, где проводятся научные исследования и выполняются разработки;
- отраслевые НИИ, ВЦ, выполняющие разработки для своей отрасли;
- ИТ-компании.

В 2005 году был учрежден Парк высоких технологий. В него первыми вошли работающие в Беларуси ИТ-компании. Их было немного, потом их количество стало постоянно расти.

В первое десятилетие своей деятельности наши компании работали больше по «аутсорсинговой» модели, по которой компании попросту говоря разрабатывают какие-то кусочки, а весь продукт собирается за рубежом и продается от имени другой компании. Это было правильно и понятно, потому что только так можно набрать некоторую критическую массу для дальнейшего развития. За эти годы белорусские компании завоевали репутацию первоклассных разработчиков, действующих уже не только преимущественно по «аутсорсинговой» модели.

Но нам, математикам, ученым и руководителям, еще в конце первого десятилетия 21-го века стало понятно, что ИТ-компаниям надо переходить к продуктовой модели, когда весь продукт создается здесь и продается от имени белорусской компании. Мы не только говорили об этом на разных конференциях (например, на Международной конференции «Информационные системы и технологии», проводимой БГУ) и совещаниях,

но готовили наших студентов БГУ к этому. Для этого нужны не только сильные математические знания, но и понимание как организовать свою компанию, Start-up, как найти инвестора. Этому мы стали учить в БГУ. Мы рады, что это дало свои результаты [10].

Это стало происходить в последнее десятилетие. В последние годы ИТ-компании Республики Беларусь, для которых характерно наличие высокого научно-образовательного потенциала, все больше переходили от аутсорсинга прикладного программного обеспечения к разработке наукоемких информационных технологий и программных средств.

Особенно большой рост числа резидентов ПВТ произошел после 2017 года, когда был расширен спектр деятельности компаний ПВТ. В 2022 году общее число резидентов Парка составляет более 1000 компаний с числом сотрудников более 65 тысяч человек.

В настоящее время Беларусь позиционируется в мире как страна с очень сильным ИТ-потенциалом. Можно сказать, что за прошедшие 20 лет практически создана высокотехнологичная отрасль. Но самое главное это то, что эта отрасль создана молодыми людьми, вчерашними выпускниками наших университетов и основном двух университетов – БГУ и БГУИР. Средний возраст сотрудников, работающих в компаниях ПВТ – 29–30 лет. Это очень молодые люди, совсем недавно закончившие университеты. И они не только работают простыми программистами под руководством старших товарищей. Многие компании возглавляются молодыми 30-летними людьми. Т. е. совсем еще молодые люди, по существу, еще вчерашние выпускники, создали новую отрасль.

За прошедшие после этого годы ПВТ значительно расширился и нуждается в притоке новых молодых кадров. Целенаправленная подготовка специалистов для компаний ИТ-сектора ведется на базе фундаментального математического и естественно-научного университетского образования. Совершенно естественно, что базой развития ИТ-отрасли является хорошее образование с серьезной математической подготовкой [10].

Сейчас мы имеем, по разным данным, что в секторе информационно-коммуникационных технологий в Беларуси занято около 100 тысяч человек, из которых около 50 тысячи – в сегменте ИТ продуктов и услуг. В ИТ-отрасли Беларуси отмечают большое количество сотрудников с высшим образованием – около 76 %, тогда как в среднем в экономике их число составляет не более 30 %. Другой характеристикой сектора является молодость – 57 % штата компаний-резидентов ПВТ имеют возраст до 30 лет. Карьерный путь в индустрии обычно начинается до 25 лет. Около 12 % занятых в ИТ-отрасли — студенты [11].

ИИ и наука. Сложно сказать, когда было начало исследований по искусственному интеллекту. По одной из версий, в 1950-е годы британский ученый Алан Тьюринг в статье «Может ли машина мыслить» (в журнале Mind) предложил «тест Тьюринга». Суть такова: человек общается с компьютером и с другим человеком – письменно, не видя собеседников, задает вопросы и получает ответы. И машину можно посчитать разумной, по Тьюрингу, если человек не распознает, где ответы машины.

В СССР искусственным интеллектом занялись в 1960-е годы. Целый ряд ученых Академии наук, МГУ и др. – В. Пушкин, Д. Поспелов, М. Цейтлин, С. Маслов, В. Турчин – добились успехов по таким направлениям, как автоматический поиск доказательства теорем.

Все эти годы пытались создать искусственный интеллект путем имитации человеческого. Но вычислительные мощности были достаточно слабыми и в какой-то степени к концу века эти попытки зашли в тупик. Новый расцвет начался в 2000-х годах, когда ряд математиков и программистов предложили алгоритмы ИИ, названные методами «глубинного обучения» и «обучения на базе многообразий». К 2012 году Дж. Хинтон, А. Крижевский и И. Сацкевер из Торонто (Канада) вдохнули новую жизнь в подход через нейронные сети. Они могут решать задачи, которые предыдущий ИИ раньше решать не мог: распознавать речь, изображения, предсказывать катастрофы [12].

Мы в Беларуси еще в советское время успешно развивали такие направления как распознавание изображений и компьютерная графика, распознавание и синтез речи, машинное обучение и т.п. Это стало интенсивно развиваться и в 1990-е годы. Мы стали участвовать в международных проектах, писать на английском языке и стали узнаваемы в мире. Нейронные сети раньше воспринимались как игрушка, а сейчас с возрастанием мощности компьютеров стали сильным практическим аппаратом.

Наука (фундаментальная) – это международные проекты, публикации в известных международных журналах, международные конференции. И у нас это получается. Я приведу примеры. В нашей стране проводится много конференций по тематике ИИ. Вот некоторые из них:

- «Pattern recognition and information processing». Проводится каждые 2–3 года БГУ, БГУИР и ОИПИ НПП Беларуси под эгидой Международной ассоциации по распознаванию образов.
- «Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем» (Open Semantic Technology for Intelligent Systems). Проводится БГУИР.
- «Нейронные сети и искусственный интеллект». Проводится БГУИР, БГТУ и ОИПИ НАН Беларуси.
- «Компьютерный анализ данных и моделирование» КАДМ (CDAM). Проводится БГУ.
- «Веб-программирование и интернет-технологии (WebConf)». Проводится БГУ.
- «Big data and advanced analytics». Проводится БГУИР.

Кроме наших традиционных конференций, нам поручалось проведение больших международных симпозиумов. В 2017 году на базе БГУ был проведен 12-й Международный симпозиум по биоинформатике (предыдущие симпозиумы проходили в США, Англии, Китае). Труды этих конференций были изданы в известном издательстве Springer. В 2018 году в июне в Минске, в БГУ был проведен 15-й Международный симпозиум по нейронным сетям. Предыдущие симпозиумы проходили в Китае, Японии, России, Корее.

В 2015 году на базе Объединенного института проблем информатики НАН Беларуси и Института физиологии НАН Беларуси создан Межведомственный исследовательский центр искусственного интеллекта. Центр объединяет усилия специалистов в области медицинских, биологических, информационных, технических и физико-математических наук для создания передовых и конкурентоспособных технологий искусственного интеллекта и создает условия для выполнения научно-исследовательских проектов в области искусственного интеллекта, реализуемых как в рамках государственных программ научных исследований, так и с привлечением негосударственных инвестиций.

В 2018 году создано и зарегистрировано Белорусское общественное объединение специалистов в области искусственного интеллекта. Председателем Правления является В.В.Голенков, профессор БГУИР.

Белорусскими учеными каждый год публикуется достаточно большое количество книг и статей в области искусственного интеллекта. Среди наиболее известных авторов можно отметить профессора В. В. Краснопрошин, В. В. Голенков, В. А. Головкин, М. А. Журавков, А. В. Тузиков, С. В. Абламейко, В. В. Старовойтов, Б. М. Лобанов, А. М. Недзьведь и др. Труды этих авторов можно легко найти в Интернете.

Все это говорит о достаточно высоком уровне исследований, проводимых у нас в Беларуси по этим направлениям.

ИИ и образование. Что является важным, так это то, что через науку это все передается в образование. Высшее.

Известно, что у нас в Беларуси очень сильное высшее образование в области естественнонаучных дисциплин. Наше математическое, физическое образование сохранило те сильные черты фундаментальности, которые во многом утрачены в других странах в попытках успеть за постоянно меняющимися практическими приложениями и сокращением сроков обучения.

Мы тоже пытаемся отслеживать все новое и это очень сложная задача – найти баланс между теорией и практикой. Но нам, в какой-то степени, это удастся. Наши выпускники естественнонаучных факультетов нарасхват во всех аспирантурах мира, легко находят себе работу в крупных мировых компаниях.

10 января 1995 года в БГУИР была открыта кафедра "Интеллектуальных систем" (ИС) и начата подготовка студентов по специальности "Искусственный интеллект". Первые два года набор студентов на специальность "Искусственный интеллект" составлял 25 человек.

Сегодня специальность «Искусственный интеллект» есть в трех вузах: Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Брестский государственный технический университет, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы [13].

Можно отметить следующие предметы, которые преподаются в вузах и которые имеют отношение к искусственному интеллекту:

- Экспертные системы
- Знания и их организация
- Машинное обучение
- Семантические сети
- распознавание образов и обработка изображений
- Нейронные сети
- Компьютерное зрение
- Компьютерная графика.

Современные информационные технологии предоставляют большие возможности в преподавании и обучении студентов, им уделяется много внимания на всех уровнях образования. БГУ занимает высокие позиции в различных конкурсах и олимпиадах, в том числе дистанционных. Наиболее высокие позиции занимают студенты ФПМИ в международных олимпиадах по алгоритмическому программированию. В БГУ был создан Центр инновационных идей и проектов Start-Up, а также Дом информационных технологий (IT House) Центра информационных ресурсов и коммуникаций БГУ. Его деятельность построена с учетом развития инновационного потенциала студентов.

Основной проблемой подготовки специалистов по ИКТ остается проблема сохранения и воспроизводства педагогических кадров. Очевидна необходимость в ближайшие несколько лет совместными усилиями государства и частных предприятий-резидентов ПВТ создать устойчивую систему моральных и материальных стимулов для педагогов, участвующих в подготовке кадров для отрасли ИКТ.

Потребность в специалистах, сформировала новые профессии, такие как data scientist, ML engineer (инженер по машинному обучению), DL engineer (специалист по глубокому обучению). Кроме теоретической подготовки, вырастить этих специалистов помогли тематические мероприятия: Хакатоны, Дататоны, а также студенческие лаборатории при ИТ-компаниях, благодаря которым диффузия знаний внутри сообщества значительно ускорилась.

Актуальными направлениями по развитию образовательной деятельности в этой сфере являются:

- создание современных моделей профессионального образования, обеспечение высокого качества и опережающего характера образовательных программ в области ИКТ;

- разработка, периодическое уточнение и корректировка перечня новых специальностей и специализаций, разработка современных образовательных стандартов с учетом потребностей национальной экономики, культуры, правовой и социальной сферы, глобального рынка информационных товаров и услуг, мировых тенденций в образовании;
- развитие кооперации с ведущими зарубежными вузами, научными и образовательными центрами; согласование перечня квалификаций в области ИКТ с международными стандартами;
- широкое внедрение новых форм обучения на основе модульной технологии организации учебного процесса, обеспечивающей глубокую специализацию индивидуальной профессиональной деятельности; создание университетской системы электронных образовательных ресурсов; использование сетевых технологий для продвижения качественного образования в регионы;
- создание системы материального стимулирования и поощрения наиболее квалифицированных преподавателей в области ИТ-образования с учетом высокой трудоемкости преподавания и учебно-методической работы в этой наиболее динамично прогрессирующей предметной области.

ИИ и ИТ-сектор. В последние годы появляется много стартапов и компаний, основные направления работы которых - машинное обучение, обработка естественного языка, компьютерное зрение. Разработки ведутся для медицины, финансов, промышленности, строительства, транспорта, сельского хозяйства, туризма и экологии и других отраслей.

В 2017 году Инвестор и ИТ предприниматель Алексей Мельничек составил список компаний, ведущих разработку в области искусственного интеллекта в Беларуси, в который включил более 70 компаний. И это только частные компании [14]. Надо добавить, что на ноябрь 2017 года резидентов ПВТ было 192 компаний и ИП, т. е. более 30 % всех компаний занимались ИИ. Сейчас более 1000 компаний. Понятно, что сейчас гораздо большее количество компаний в Беларуси занимается ИИ.

О возможностях белорусских программистов красноречиво свидетельствуют их известные на весь мир продукты – Мир танков (Wargaming), Вайбер (Viber), «Маскарад» и др.

В Беларуси работают компании, которые применяют ИИ в области здравоохранения (Flo, doc, Lung Passport), сельского хозяйства (OneSoil, Zoner.ag), ритейла, промышленного производства, финансов, транспорта, защиты окружающей среды. Целый ряд крупных компаний имеет исследовательские офисы в Минске: Profitero, IHS Markit, WorkFusion, «Яндекс», Teqniksoft, Viber.

Известны успешные примеры развития ИИ-стартапов из Беларуси: AIMatter, которая перешла под контроль Google, MSQRD - куплена Facebook, Zoner.ag, Juno – объединилась с Gett, Apalon - перешел под контроль IAC Applications.

В 2018 году в Беларуси был открыт фонд Bulba Ventures, специализирующийся на искусственном интеллекте (ИИ) и машинном обучении. Фонд проинвестировал три проекта: Friendly Data, Rocket Body и Wannaby. При этом ретейл-стартап Wannaby привлек заметную сумму в \$2 млн (кроме Bulba Ventures, в раунде также принимала участие компания Nahus, специализирующаяся на компьютерном зрении и дополненной реальности для шопинга). Аналогичную сумму удалось привлечь приложению для родительского контроля Nicola компании FaceMetrics от белорусского фонда VP Capital и российского Larnabel Ventures.

ИИ-продукты, разработанные в Беларуси, применяются в области здравоохранения, автомобильной промышленности, сельского хозяйства. Американский стартап Flo (приложение для контроля за женским здоровьем) основан белорусами и за два года привлек \$18 млн инвестиций от партнеров фонда Mangrove Capital и фонда Flint Capital. В настоя-

шее время приложение доступно на 20 языках на iOS и Android, а 60 % пользователей находятся в США и Европе.

Серьезных успехов добились инженеры компании MapData, минского R&D-офиса компании MapBox: они используют компьютерное зрение в задачах распознавания дорожной обстановки на видеопотоке. В минском офисе компании «Яндекс» разрабатывают решения для беспилотных автомобилей, распознавания речи, поисковых технологий. Стартап OneSoil помогает фермерам увеличить эффективность использования посевных площадей, планировать сельскохозяйственную деятельность и прогнозировать урожайность. Для этого компания использует нейронные сети, компьютерное зрение и алгоритмы машинного обучения, которые анализируют спутниковые снимки. За один год компания привлекла \$500 000 инвестиций от фондов Haxus, Bulba Ventures и инвесторов Юрия Мельничка и Лео Лознера [15].

Но особенно приятным, еще раз подчеркну, является то, что в последние годы белорусами создаются высокоинтеллектуальные конкретные практические продукты в данной сложной сфере, которые успешно продаются на мировом рынке. Некоторые примеры, касающиеся компьютерного зрения и графики. Известная компания AIMATTER, купленная Google, один из продуктов которой с помощью нейронных сетей выделяет человека из фона с возможностью замены фона изображения. Это обработка изображений. Известная компания MSQRD, купленная Facebook, которая сделала приложение для наложения масок на лица в реальном времени. Это компьютерная графика. Можно еще много приводить примеров. И такие разработки невозможно сделать без очень серьезной математической подготовки.

И таких завершенных продуктов становится все больше и больше несмотря на то, что их архисложно создавать. Во многом, это разработки в области компьютерной графики и обработки изображения, основанная на достаточно сложной математике.

Заключение. Искусственный интеллект очень быстро развивается. Многие ученые мира пытаются научить ЭВМ или сети нейроноподобных элементов реагировать на информацию, поступающую извне, так же как человек.

У нас в Беларуси эта отрасль также получила хорошее развитие. Понятно, что все это базируется на хорошем образовании. Но также очень важны современные научные результаты и развитая производственная база.

Нужна очень тесная связь всех этих трех компонент. Если хотя бы одна из них будет отсутствовать – ничего не получится. И к счастью, у нас в Беларуси все это есть. Хотя, конечно, такой небольшой стране, как Беларусь, нелегко проводить научные исследования в ИТ сфере на мировом уровне. Известно, что передовая наука требует больших денег и ее могут себе позволить большие страны. Но мы стараемся в наших условиях выжимать максимальное. Как я уже говорил, без серьезной науки не будет хорошего высшего образования, а без образования не будет ничего в стране.

Список использованных источников

1. Рассел С., Норвиг П. Искусственный интеллект: современный подход. 2-е издание, изд-во «Вильямс». 2016. - 1408 с.
2. Абламейко М.С., Абламейко С.В. Правовое регулирование взаимодействия систем искусственного интеллекта и человека // Научно-практический журнал «Наука и инновации». – 2020. № 1 (203). – С. 40-44.
3. Российские вузы получают 600 млн руб. на обучение специалистов по искусственному интеллекту. <https://academia.interfax.ru/ru/news/articles/6589/>
4. Курсы по искусственному интеллекту появятся в российских школах. <https://academia.interfax.ru/ru/news/articles/6590/>

5. Студентов МГУ обязали проходить курс по искусственному интеллекту. https://www.rbc.ru/rbcfreenews/613b602d9a79476242746221?utm_referrer=https%3A%2F%2Fzen.yandex.com
6. Дубровский Д.И. Задача создания Общего искусственного интеллекта и проблема сознания // Философские науки. 2021. Т. 64. № 1. С. 13–44. DOI: 10.30727/0235-1188-2021-64-1-13-44.
7. Волобуев А. В., Воеводина Е. В., Ореховская Н. А., Иоселиани А. Д. Философские проблемы развития искусственного интеллекта. Изд. Прометей, 2019, 194 с.
8. Бостром Н. Искусственный интеллект. Этапы. Угрозы. Стратегии. Изд-во: Манн, Иванов и Фербер, 2016 г. – 496 с.
9. Сильный искусственный интеллект. На подступах к сверхразуму / А.А. Ведяхин и др.; науч. ред. А.С. Потапов. – М.: Интеллектуальная литература, 2021. 240с.
10. С.В. Абламейко, М.А. Журавков. Математика и математики БГУ и Беларуси. 100 лет развития. – Минск: БГУ, 2021. – 268 с. <https://elib.bsu.by/handle/123456789/264446>
11. ИТ рынок Республики Беларусь. <https://bikratings.by/wp-content/uploads/2020/12/it-rynok-respubliki-belarus-2.pdf>. Декабрь 2020.
12. П. Потапейко. Развитие искусственного интеллекта в ЕАЭС: взгляд из Беларуси. <https://eurasia.expert/razvitie-iskusstvennogo-intellekta-v-eaes-vzglyad-iz-belarusi/>
13. <https://kudapostupat.by/speciality/id/498>
- 14 «Столица европейского AI»: в Беларуси больше 70 проектов в области искусственного интеллекта. <https://dev.by/news/ne-tolko-maski-na-polnoy-karte-belorusskih-ii-proektov-bolshe-70-kompaniy>
15. Forbes: Беларусь становится мировым центром по разработке ИИ. <https://tvnews.by/tech/13604-forbes-belarus-stanovitsja-mirovym-centrom-po-razrabotke-ii.html>

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ТЕКУЩЕГО СОСТОЯНИЯ РАБОТ В ОБЛАСТИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

В. В. Голенков

УО «Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники», Минск

Если кратко охарактеризовать **текущее состояние** работ в области *Искусственного интеллекта*, то это – **иллюзия благополучия**. Происходит активное локальное развитие самых различных направлений (неклассические логики, формальные онтологии, искусственные нейронные сети, машинное обучение, мягкие вычисления, многоагентные системы и др.). Но комплексного повышения уровня *интеллекта* современных *интеллектуальных компьютерных систем* не происходит. Для этого требуется сближение и интеграция всех направлений *Искусственного интеллекта* и соответствующее построение *Общей формальной теории интеллектуальных компьютерных систем*, а также превращение современного многообразия инструментальных средств разработки различных компонентов *интеллектуальных компьютерных систем* (framework-ов) в единую *Технологию комплексного проектирования и поддержки всего жизненного цикла интеллектуальных компьютерных систем*, гарантирующую совместимость всех разрабатываемых компонентов *интеллектуальных компьютерных систем*, а также совместимость самих *интеллектуальных компьютерных систем* как самостоятельных субъектов (агентов, акторов), взаимодействующих между собой в рамках комплексных систем автоматизации сложных видов коллективной человеческой деятельности (умных домов, умных больниц, умных школ, умных производственных предприятий, умных городов и т. д.). Таким образом, эпиграфом текущего состояния работ в области *Искусственного интеллекта* является известное высказывание из Экклезиаста: «Время разбрасывать камни и время собирать камни – всему своё время».

«К сожалению, в современных дискуссиях по теме ИИ (Искусственного интеллекта) научные споры часто подменяются завышенными ожиданиями от скорого внедрения ИИ и значительным сужением темы ИИ, которая оказалась сведена лишь к машинному обучению на основе искусственных нейронных сетей. <...> При этом за бортом Национальной стратегии пока остались *онтологии, базы знаний, методы рассуждений и принятия решений, методы синтеза и анализа сложных конструкций, умные кибер-физические системы, цифровые двойники, автономные системы*, системы анализа как “больших”, так и “малых” данных. <...>

Признавая всю важность *машинного обучения* на базе *искусственных нейронных сетей*, научные и практические результаты мирового уровня следует искать на стыке разных дисциплин в *конвергенции* различных технологий ИИ и *интеграции* полипредметных знаний. В этой связи формализация знаний в виде *онтологий* и *баз знаний* в рамках *Semantic Web* рассматривается как одно из фундаментальных направлений для создания ИИ. Действительно, какой же может быть интеллект без использования знаний современных учебников, на основе чего ИИ будет понимать *контекст ситуации*, делать выводы и принимать решения? <...>

Еще одной ключевой сферой ИИ, не нашедшей отражения в Российской стратегии по ИИ, является *распределенное принятие решений*, которое все больше становится коллективным для стремительно развивающихся систем умного Интернета вещей и автономных систем управления, начиная с беспилотных автомобилей, самолетов, кораблей и т. д.

Компанией Гартнер 2020 год был объявлен годом “автономных вещей”, которые по мнению компании уже прошли большую эволюцию от “цифровых” к “умным”. Ожидается, что на следующем этапе автономные вещи, обладающие собственным ИИ, “заговoryт” друг с другом и в научную повестку войдут вопросы *семантической интероперабельности* систем ИИ, которые будут не только обмениваться данными, но и вести переговоры для согласования решений. Дорожная карта научных исследований по ИИ США в качестве ключевых выделяет такие направления, как *связность систем Искусственного интеллекта* (Integrated Intelligence) и их *осмысленное взаимодействие* (Meaningful Interaction), наряду с разными видами *самообучения* в системах (Self-Aware Learning).»

=> цитата*:

Баринов И.И.. *ФормиСРКпИИвНОЦИБ-2021* см/с. 264-265

Ключевым фактором методологических проблем современного состояния *искусственного интеллекта* и серьезным вызовом для специалистов в этой области является проклятие **Вавилонского столпотворения**, которое преследует нас на всех уровнях:

- на уровне внутренней организации решения задач в интеллектуальной компьютерной системе;
- на уровне взаимодействия интеллектуальных компьютерных систем как между собой, так и с пользователями;
- на уровне взаимодействия ученых, работающих в области искусственного интеллекта, что препятствует созданию *Общей формальной теории интеллектуальных компьютерных систем*, а также *Технологии комплексного проектирования и поддержки всего жизненного цикла интеллектуальных компьютерных систем*
- на уровне взаимодействия между учеными, инженерами, разрабатывающими прикладные *интеллектуальные компьютерные системы*, преподавателями вузов, которые готовят специалистов в области *искусственного интеллекта*, а также студентами, магистрантами и аспирантами.

Что делать для решения указанных методологических проблем:

- Необходим переход к созданию совместимых **интеллектуальных компьютерных систем нового поколения**, ориентированных на индивидуальное и коллективное (совместное) решение комплексных задач, требующих использования различных моделей и методов в непредсказуемых комбинациях, что необходимо для существенного расширения сфер применения *интеллектуальных компьютерных систем*, для перехода от автоматизации локальных видов и областей человеческой деятельности к комплексной автоматизации более крупных (объединённых) видов и областей этой деятельности;
- Необходима разработка *Общей формальной теории интеллектуальных компьютерных систем нового поколения*;
- Необходима разработка *Технологии комплексной поддержки жизненного цикла интеллектуальных компьютерных систем нового поколения*, которая включает в себя поддержку проектирования этих систем (как начального этапа их жизненного цикла) и обеспечение их совместимости на всех этапах их жизненного цикла;
- Необходима **конвергенция** и **унификация** *интеллектуальных компьютерных систем нового поколения* и их компонентов;
- Необходима реализация “бесшовной”, “диффузной”, взаимопроникающей, **глубокой интеграции семантически смежных компонентов интеллектуальных компьютерных систем**, то есть интеграции, при которой отсутствуют чёткие границы (“швы”) интегрируемых (соединяемых) компонентов, и которая может осуществляться автоматически;

- Необходимо соблюдение **Принципа бритвы Оккама** – максимально возможное структурное упрощение *интеллектуальных компьютерных систем нового поколения*, исключение эклектичных решений;

- Необходима ориентация на потенциально **универсальные** (то есть способные быстро приобретать любые знания и навыки), **синергетические** интеллектуальные компьютерные системы с “сильным” интеллектом;

Практическим результатом решения рассматриваемых методологических проблем в области искусственного интеллекта является:

- Поэтапное создание глобальной сети эффективно взаимодействующих **интеллектуальных компьютерных систем нового поколения**, обеспечивающих комплексную автоматизацию всевозможных видов и областей *человеческой деятельности*;

- Реорганизация и комплексная автоматизация *человеческой деятельности в области Искусственного интеллекта* с помощью интеллектуальных компьютерных систем нового поколения;

Следует особо подчеркнуть, что **ключевым фактором** решения рассматриваемых методологических проблем в области Искусственного интеллекта являются различные направления **конвергенции** и **интеграции**, обеспечивающие переход к **интеллектуальным компьютерным системам нового поколения** и соответствующей технологии комплексной поддержки их жизненного цикла:

- *конвергенция* и интеграция различных моделей представления и обработки информации в интеллектуальных компьютерных системах нового поколения

- *конвергенция* и интеграция различных видов знаний в базах знаний интеллектуальных компьютерных систем нового поколения

- *конвергенция* и интеграция различных моделей решения задач

- *конвергенция* и интеграция различных видов интерфейсов интеллектуальных компьютерных систем нового поколения

- *конвергенция* и интеграция различных направлений Искусственного интеллекта в целях построения *Общей формальной теории интеллектуальных компьютерных систем нового поколения*

- *конвергенция* и интеграция технологий проектирования различных компонентов интеллектуальных компьютерных систем нового поколения в целях построения комплексной *Технологии проектирования интеллектуальных компьютерных систем нового поколения*

- *конвергенция* и интеграция технологий поддержки различных этапов жизненного цикла интеллектуальных компьютерных систем нового поколения в целях построения *Технологии комплексной поддержки всех этапов жизненного цикла интеллектуальных компьютерных систем нового поколения*

- *конвергенция* и интеграция различных видов *человеческой деятельности в области Искусственного интеллекта* (научно-исследовательской деятельности, развития технологического комплекса, прикладной инженерии, образовательной деятельности) для повышения уровня согласованности и координации этих видов деятельности, а также для повышения уровня их комплексной автоматизации с помощью **семантически совместимых** интеллектуальных компьютерных систем нового поколения

- *конвергенция* и интеграция самых различных видов и областей *человеческой деятельности*, а также средств комплексной автоматизации этой деятельности с помощью интеллектуальных компьютерных систем нового поколения

интеллектуальные компьютерные системы нового поколения

=> *предъявляемые требования**:

- высокий уровень *обучаемости*

- высокий уровень *гибридности*

- высокий уровень способности решать *интеллектуальные задачи* (то есть задачи, методы решения которых и/или требуемая для их решения исходная информация априори неизвестны)

- высокий уровень *интероперабельности*

- высокий уровень *синергетичности*

обучаемость[^]

:= [способность быстро и качественно приобретать новые знания и навыки, а также совершенствовать уже приобретённые знания и навыки]

высокий уровень обучаемости[^]

=> *обеспечивается**:

- высоким уровнем *гибкости информации*, хранимой в памяти интеллектуальной системы;

- высоким уровнем *качества стратификации информации*, хранимой в памяти интеллектуальной системы (стратифицированностью базы знаний);

- высоким уровнем *рефлексивности* интеллектуальной системы;

- высоким уровнем *способности исправлять свои ошибки* (в том числе устранять противоречия в своей базе знаний);

- высоким уровнем *познавательной активности*;

- отсутствием *ограничений на вид приобретаемых знаний и навыков* (отсутствие таких ограничений означает потенциальную универсальность интеллектуальной системы).

гибридность[^]

:= [степень многообразия используемых видов знаний и моделей решения задач и уровень эффективности их совместного использования]

:= [индивидуальная способность решать комплексные задачи, требующие использования различных видов знаний, а также различных комбинаций различных моделей решения задач]

высокий уровень гибридности[^]

=> *обеспечивается**:

- высокой степенью многообразия используемых видов знаний и моделей решения задач;

- высокой степенью конвергенции и глубокой интеграции (степенью взаимопроникновения) различных видов знаний и моделей решения задач;

- способностью неограниченно расширять уровень своей гибридности

интероперабельность[^]

:= [способность к эффективному (целенаправленному) взаимодействию с другими самостоятельными субъектами]

:= [способность к партнёрскому взаимодействию в решении комплексных задач, требующих коллективной деятельности]

:= [способность работать в коллективе (в команде)]

:= [уровень социализации]

:= [social skills]

высокий уровень интероперабельности[^]

=> *обеспечивается**:

- высоким уровнем *взаимопонимания*:

=> *обеспечивается**:

- высоким уровнем *семантической совместимости* заданного субъекта с другими субъектами заданного коллектива;

- высоким уровнем *способности понятно и обоснованно формулировать* свои предложения и информацию, полезную для решения текущих задач;

- высоким уровнем *способности к повышению уровня семантической совместимости* со своими партнёрами;
- высоким уровнем *договороспособности*, то есть способности согласовывать с партнёрами свои планы и намерения в целях своевременного обеспечения высокого качества коллективного результата;
- высоким уровнем *способности к децентрализованной координации* своих действий с действиями партнёров в непредсказуемых (нештатных) обстоятельствах;
- высоким уровнем *способности к минимизации негативных последствий конфликтных ситуаций* с другими субъектами
=> *обеспечивается**;
- высоким уровнем способности к предотвращению возникновения конфликтных ситуаций;
- соблюдением этических норм и правил, препятствующих возникновению разрушительных последствий конфликтных ситуаций;

***семантическая совместимость*^Λ**

:= [степень согласованности (совпадения) систем понятий и других ключевых сущностей, используемых заданными взаимодействующими субъектами]

=> *примечание**:

[Параметр *семантической совместимости* чаще всего задаётся для пар взаимодействующих субъектов.]

Подчеркнем, что *гибридность* и *интероперабельность интеллектуальных компьютерных систем нового поколения* предполагает отказ от известной парадигмы “черных ящиков”, поскольку:

- все многообразие моделей решения задач *гибридной интеллектуальной компьютерной системы* должно интерпретироваться на одной общей универсальной платформе;
- доступность информации о том, как устроен каждый используемый метод, модель решения задач, каждый субъект существенно повышает качество их координации при совместном решении комплексных задач;
- появляется возможность некоторые методы, модели решения задач и целые субъекты (например, интеллектуальные компьютерные системы) использовать для совершенствования (повышения качества) других методов, моделей и субъектов.

Существенно также подчеркнуть, что все перечисленные требования, предъявляемые к *интеллектуальным компьютерным системам нового поколения* и определяющие их способность к индивидуальному и коллективному решению комплексных системных задач, должны предъявляться и к людям, поскольку все сложные виды и области человеческой деятельности являются коллективными и творческими.

Особенно это касается *интероперабельности*. Так, например, творческий коллектив, состоящий из неинтероперабельных специалистов, не способен создавать *интероперабельные интеллектуальные компьютерные системы* и тем более соответствующую им технологию.

Заметим также, что перечисленные требования, предъявляемые к *интеллектуальным компьютерным системам нового поколения*, направлены на преодоление указанного выше проклятия ***Вавилонского столпотворения*** как внутри интеллектуальных компьютерных систем нового поколения (между внутренними информационными процессами решения различных задач), так и между взаимодействующими самостоятельными интеллектуальными компьютерными системами нового поколения в процессе коллективного решения комплексных задач.

интеллектуальные компьютерные системы нового поколения:

=> *принципы, лежащие в основе**:

- смысловое представление знаний в памяти интеллектуальных компьютерных систем;
- использование общего для всех интеллектуальных компьютерных систем универсального языка смыслового представления знаний в виде рафинированных семантических сетей;
- структурно-перестраиваемая (графодинамическая) организация памяти и интеллектуальных компьютерных систем, при которой обработка знаний сводится не столько к изменению состояния хранимых знаков, сколько к изменению конфигурации связей между этими знаками;
- ассоциативный доступ к информации, хранимой в памяти интеллектуальных компьютерных систем, по заданному образцу произвольного размера и произвольной конфигурации;
- ситуационное децентрализованное управление информационными процессами в памяти интеллектуальных компьютерных систем, реализованное с помощью агентно-ориентированной модели обработки знаний, в котором инициирование новых информационных процессов осуществляется не путём передачи управления соответствующим априори известным процедурам, а в результате возникновения соответствующих ситуаций или событий в памяти интеллектуальной компьютерной системы, поскольку «Основная проблема компьютерных систем состоит не в накоплении знаний, в умении активизировать нужные знания в процессе решения задач» (Поспелов Д. А.).

«Выбор многоагентных технологий объясняется тем, что в настоящее время любая сложная производственная, логистическая или другая система может быть представлена набором взаимодействий более простых систем до любого уровня детальности, что обеспечивает фрактально-рекурсивный принцип построения многоярусных систем, построенных как открытые цифровые колонии и экосистемы ИИ. В основе многоагентных технологий лежит распределенный или децентрализованный подход к решению задач, при котором динамически обновляющаяся информация в распределенной сети интеллектуальных агентов обрабатывается непосредственно у агентов вместе с локально доступной информацией от “соседей”. При этом существенно сокращаются как ресурсные и временные затраты на коммуникации в сети, так и время на обработку и принятие решений в центре системы (если он все-таки есть).»

=> цитата*:

Баринов И.И.. *ФормыСРКпИИвНОЦИБ-2021см/с. 270*

- Переход к моделям решения задач, в основе которых лежит учёт не только синтаксических (структурных) аспектов обрабатываемой информации, но также и семантических (смысловых) аспектов этой информации – «From data science to knowledge science»;
- **онтологическая стратификация баз знаний** интеллектуальных компьютерных систем в виде иерархической системы предметных областей и соответствующих им онтологий;
- четкая спецификация синтаксиса и **семантики** всего многообразия языков взаимодействия пользователей с интеллектуальными компьютерными системами, включая и языковые средства управления пользовательскими интерфейсом, введение в состав интеллектуальной компьютерной системы соответствующих help- подсистем, обеспечивающих существенное снижение языкового барьера между пользователями и интеллектуальными компьютерными системами, что существенно повысит эффективность эксплуатации интеллектуальных компьютерных систем;
- минимизация негативного влияния человеческого фактора на эффективность эксплуатации интеллектуальных компьютерных систем благодаря реализации интероперабельного (партнерского) стиля взаимодействия не только между самими интеллектуальными компьютерными системами, но также и между интеллектуальными

компьютерными системами и их пользователями. Ответственность за качество совместной деятельности должно быть распределено между всеми партнёрами.

Разговоры о дружественном и, в частности, адаптивном *пользовательском интерфейсе* ведутся давно, но это, чаще всего, касается формы (“синтаксической” стороны) пользовательского интерфейса, а не смыслового содержания взаимодействия с пользователями. В настоящее время пользовательские интерфейсы компьютерных систем (в том числе и *интеллектуальных компьютерных систем*) для широкого контингента пользователей не являются семантически (содержательно) дружественными (семантически комфортными).

Организация взаимодействия пользователей с компьютерными системами (в том числе и с интеллектуальными компьютерными системами) является “узким местом”, оказывающим существенное влияние на эффективность автоматизации человеческой деятельности. В основе современной организации взаимодействия пользователя с компьютерной системой лежит парадигма грамотного пользователя, который знает, чего он хочет от используемого им инструмента и несёт полную ответственность за качество взаимодействия с этим инструментом. Эта парадигма лежит в основе деятельности лесоруба во взаимодействии с топором, всадника во взаимодействии с лошадью, автоводителя, летчика во взаимодействии с соответствующим транспортным средством, оператора атомной электростанции, железнодорожного диспетчера и так далее.

На современном этапе развития *искусственного интеллекта* для повышения эффективности взаимодействия необходим переход от парадигмы грамотного управления используемым инструментом к парадигме равноправного сотрудничества, партнёрскому взаимодействию *интеллектуальной компьютерной системы* со своим пользователем. Интеллектуальная компьютерная система должна повернуться лицом к пользователю. Дружественность пользовательского интерфейса должна заключаться в адаптивности к особенностям и квалификации пользователя, исключении любых проблем для пользователя в процессе диалога с интеллектуальной компьютерной системой, в перманентной заботе о совершенствовании коммуникационных навыков пользователя.

Предложенную нами технологию комплексной поддержки жизненного цикла *интеллектуальных компьютерных систем нового поколения* мы назвали **Технологией OSTIS** (Open Semantic Technology for Intelligent Systems). Соответственно этому *интеллектуальные компьютерные системы нового поколения*, разрабатываемые по этой технологии называются **ostis-системами**. Сама *Технология OSTIS* реализуется нами в форме специальной *ostis-системы*, база знаний которой содержит:

- Формальную теорию *ostis-систем*;
- Стандарт *ostis-систем* и Технологии OSTIS;
- Ядро Библиотеки многократно используемых компонентов *ostis-систем*;
- Методики и инструментальные средства поддержки жизненного цикла *ostis-систем* и их компонентов;

Все многообразие *деятельности в области искусственного интеллекта* включает в себя:

- Развитие Общей теории интеллектуальных компьютерных систем;
- Развитие соответствующей Технологии комплексной поддержки жизненного цикла интеллектуальных компьютерных систем;
- Инженерную деятельность по созданию и эксплуатации прикладных интеллектуальных компьютерных систем и, в том числе, по развитию глобальной Экосистемы интеллектуальных компьютерных систем;
- Разработку и реализацию тактики и стратегии развития искусственного интеллекта, а также организационное обеспечение этого развития;
- Подготовку кадров в области искусственного интеллекта;

Сложность *Подготовки молодых специалистов в области искусственного интеллекта* заключается не только в высокой степени наукоемкости этой области, но и в том, что формирование у них соответствующих знаний и навыков осуществляется в условиях быстрого морального старения текущего состояния технологий искусственного интеллекта, существенные изменения в которых происходят за время обучения студентов и магистрантов. Поэтому надо учить не текущему уровню развития искусственного интеллекта, а тому уровню развития, который будет достигнут через пять и более лет.

При подготовке молодых специалистов в области искусственного интеллекта необходимо формировать у них:

- культуру формализации (математическую культуру);
- системную культуру (в частности, умение осуществлять качественную стратификацию сложных динамических систем);
- технологическую культуру (в частности, умение отличать то, что следует унифицировать и то, унификация чего ограничивает направление эволюции заданного класса сложных систем);
- технологическую дисциплину;
- культуру коллективного творчества (в частности, первоначальную интероперабельность);
- высокую познавательную активность и мотивацию;
- умение сочетать индивидуальную творческую свободу и самостоятельность с обеспечением совместимости своих результатов с результатами коллег, то есть сочетать свободу в создании (порождении) новых смыслов при согласованности (совместимости) форм их представления – о понятиях, терминах и синтаксисе не спорят, а договариваются.

Что можно делать в Республике Беларусь в области искусственного интеллекта? Можно продолжать работать так, как это происходит сейчас, несмотря на то, что указанные выше методологические проблемы становятся все более и более очевидными и широко обсуждаемыми. Но можно, учитывая достаточно большой научный, инженерный и образовательный потенциал Республики Беларусь в области искусственного интеллекта, занять лидирующие в Мировые позиции по созданию Общей теории интеллектуальных компьютерных систем нового поколения и соответствующий Комплексной технологии поддержки их жизненного цикла. Для этого каждому специалисту, работающему в области искусственного интеллекта, нет необходимости менять область своих научных интересов. Достаточно только преодолеть синдром Вавилонского столпотворения, рассматривая свои научные результаты как часть общего коллективного продукта.

Проблемы текущего этапа развития искусственного интеллекта, направленные на создание Общей теории и технологии интеллектуальных компьютерных систем нового поколения, требуют фундаментального комплексного междисциплинарного подхода и принципиально новой организации соответствующей деятельности. Этому, в частности, посвящены ежегодные конференции OSTIS, которые проводятся с 2011 года.

Список использованных источников

1. Поспелов Д. А. Ситуационное управление. Теория и практика. – М.: Наука, 1986.
2. Варшавский В. А., Поспелов Д. А. Оркестр играет без дирижера. Размышления об эволюции некоторых технических систем и управлении ими. – М.: Наука, 1984.
3. Тарасов В. Б. От многоагентных систем к интеллектуальным организациям: философия, психология, информатика. – М. Эдиториал УРСС, 2002. – 352 с.

4. Баринов, И. И. Формирование стратегии развития Комитета по искусственному интеллекту в Научно-образовательном центре «Инженерия будущего» / И. И. Баринов, Н. М. Боргест, С. Ю. Боровик, О. Н. Граничин, С. П. Грачев, Ю. В. Громыко, Р. И. Доронин, С. Н. Зинченко, А. Б. Иванов, В. М. Кизеев, Р. И. Кутлахметов, В. Б. Ларюхин, С. П. Левашкин, А. Н. Мочалкин, М. Г. Пантелеев, С. Б. Попов, Е. М. Севастьянов, П. О. Скобелев, А. Г. Чернявский, В. В. Шишкин, С. И. Шляев // *Онтология проектирования*. – 2021. – Т.11, № 3(41). – С. 260-293. DOI: 10.18287/2223-9537-2021-11-3-260-293

5. 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 : Бест-принт, 2021. – 690 с.

ГЛУБОКОЕ ОБУЧЕНИЕ И МОЛЕКУЛЯРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ЛЕКАРСТВ

Г. И. Николаев¹, Н. А. Шульдов¹, А. В. Тузиков¹, А. М. Андрианов²

¹Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси, Минск;

²Институт биоорганической химии НАН Беларуси, Минск

В докладе обсуждается разработка генеративного состязательного автоэнкодера для идентификации потенциальных лекарственных препаратов против ВИЧ-1 [1, 2].

Архитектура разработанного состязательного автоэнкодера состоит из двух нейросетей – автоэнкодера и дискриминатора, работающих во время обучения в соревновательном режиме. Автоэнкодер представляет собой семислойную нейронную сеть, имеющую входной и выходной слои, латентный слой, а также четыре полносвязных слоя (рис. 1). На входной слой подаются молекулярные дескрипторы химических соединений, данные о которых проходят энкодер и попадают на латентный слой, где к полученному результату добавляется численная оценка энергии связывания с молекулярной мишенью. Далее молекулярные дескрипторы проходят декодер и попадают на выход, который представляет собой вектор молекулярного дескриптора. Латентный слой состоит из трех нейронов, два из которых получают значения от энкодера, а третий получает значение энергии связывания с молекулярной мишенью. В рабочем режиме автоэнкодера на латентный слой подаются случайные числа, которые затем проходят через декодер, генерирующий молекулярные дескрипторы молекул с требуемыми свойствами.

Для обучения автоэнкодера использовались следующие параметры:

- количество эпох для главной модели, используемой для генерации, – 400;
- скорость обучения всего автоэнкодера на первой ступени итерации – 0,005;
- скорость обучения дискриминатора на второй ступени итерации – 0,001;
- скорость обучения энкодера на третьей ступени итерации – 0,005;
- параметр Batch size – 128;
- оптимизатор – метод Adam.

Для тестирования работы автоэнкодера с помощью программного пакета RDKit была создана библиотека молекулярных дескрипторов MACCS для 21 325 567 соединений из библиотеки Drug-Like базы данных ZINC15 и рассчитаны молекулярные дескрипторы для сгенерированных автоэнкодером молекул при пороговом значении энергии связывания с белком gp120, равном -5 ккал/моль. В результате виртуального скрининга для каждой из этих молекул были найдены лиганды с подобными дескрипторами.

Анализ результатов молекулярного докинга найденных соединений с белком gp120 показал, что совместное использование нейронной сети с виртуальным скринингом библиотеки молекулярных дескрипторов позволяет идентифицировать лиганды с более низкой по сравнению с заданным пороговым значением энергией связывания.

Моделирование молекулярной динамики подтверждает данные о высоком сродстве связывания идентифицированных соединений с белком gp120, полученные в результате анализа статических моделей комплексов лиганд/gp120. Эти комплексы обнаруживают относительную стабильность в течение МД расчетов, о чем свидетельствуют средние значения свободной энергии связывания и их стандартные отклонения.

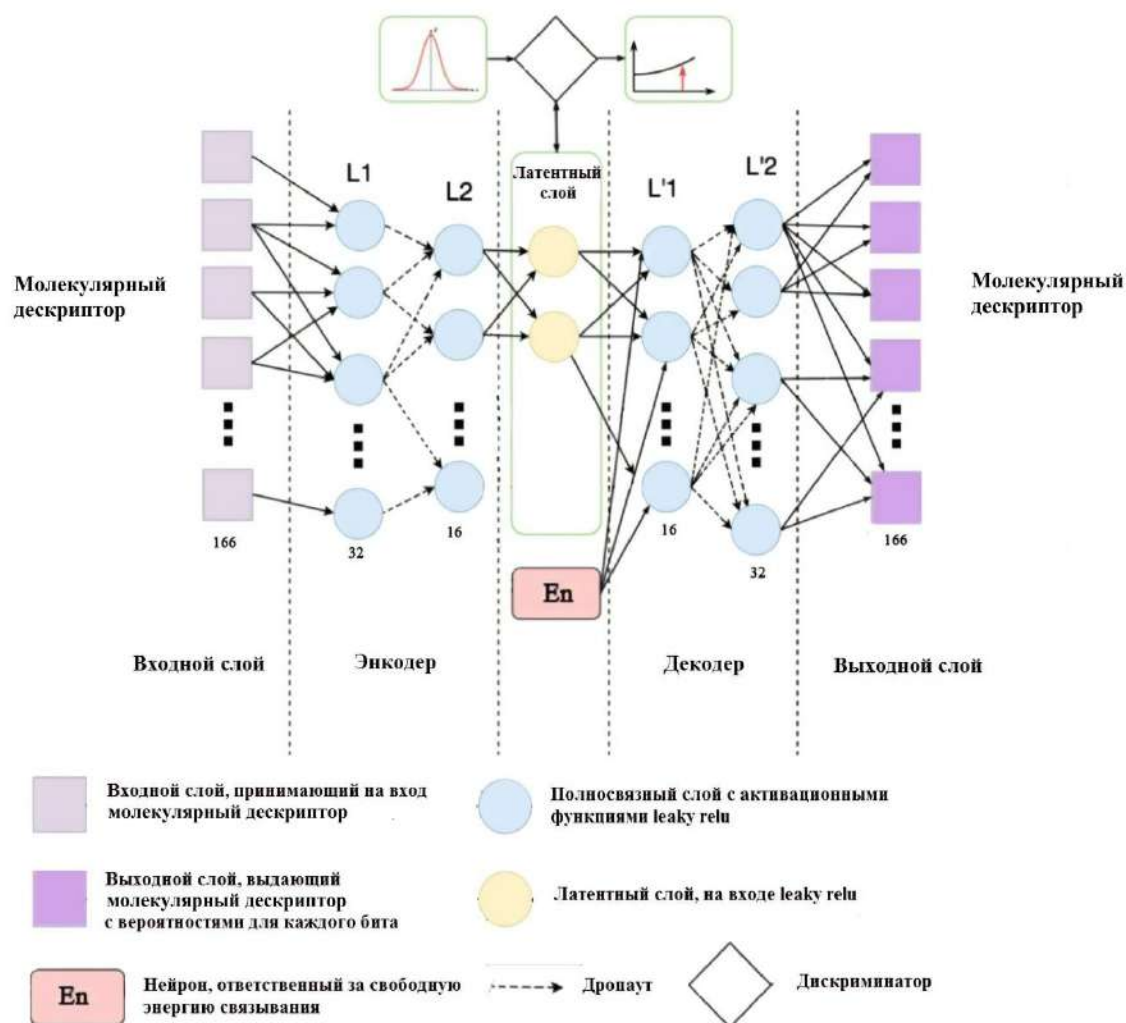


Рис. 1. Архитектура нейронной сети для генерации потенциальных ингибиторов ВИЧ-1, блокирующих CD4-связывающий сайт белка gp120 оболочки вируса

Были идентифицированы три низкомолекулярных химических соединения, проявляющие высокую аффинность связывания с белком gp120 ВИЧ-1. Согласно данным молекулярного докинга, машинного обучения, квантово-химических расчетов и молекулярной динамики, эти соединения характеризуются низкими значениями свободной энергии связывания в комплексах с белком gp120, близкие к значениям, рассчитанным с использованием идентичных вычислительных процедур для ингибиторов ВИЧ-1 NBD-11021 и NBD-14010, представляющих новое поколение антагонистов клеточного рецептора CD4.

Список использованных источников

1. Разработка генеративной состязательной нейронной сети для идентификации потенциальных ингибиторов ВИЧ-1 методами глубокого обучения / Г. И. Николаев, Н. А. Шульдов, А. И. Анищенко, А. В. Тузиков, А. М. Андрианов // Информатика. – 2020. – Т. 17, № 1. – С. 7-17.
2. Application of deep learning and molecular modeling to identify small drug-like compounds as potential HIV-1 entry inhibitors / A. M. Andrianov, G. I. Nikolaev, N. A. Shuldov, I. P. Bosko, A. I. Anischenko, A. V. Tuzikov // The Journal of Biomolecular Structure and Dynamics. – 2022 – Vol. 40, № 16. – P. 7555-7573.

ОБУЧЕНИЕ СТУДЕНТОВ И МАГИСТРАНТОВ В ОБЛАСТИ DATA SCIENCE В БЕЛОРУССКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ УНИВЕРСИТЕТЕ

А. Ю. Харин

Белорусский государственный университет, Минск,
Учреждение Белорусского государственного университета
«НИИ прикладных проблем математики», Минск
KharinAY@bsu.by

Введение. В последние годы в связи с экспоненциальным ростом объемов регистрируемой, хранимой и анализируемой информации в условиях цифровизации и проникновения искусственного интеллекта во многие сферы жизни интенсивно увеличивается спрос на квалифицированных специалистов в области Data Science. В докладе обсуждается подготовка таких специалистов с высшим образованием в Белорусском государственном университете на двух ступенях: специалитет (трансформируемый в настоящее время в бакалавриат) и магистратура.

Особенности подготовки в Белорусском государственном университете и достигнутые результаты. В Белорусском государственном университете на факультете прикладной математики и информатики в 1988 году открыта первая в Беларуси кафедра по направлению Data Science – кафедра математического моделирования и анализа данных. Её открытие позволило начать организованные научные исследования по указанному направлению одновременно с подготовкой специалистов по математическому моделированию сложных систем и анализу данных. В 2013–2018 годах совместными усилиями преподавателей этой кафедры и кафедры теории вероятностей и математической статистики в БГУ выполнен международный проект совместно с ведущими университетами Австрии, Бельгии, Германии, Португалии и Чехии, основной результат которого – открытие в БГУ обучения на второй ступени высшего образования по направлению Data Science [1]: в 2014 году начата подготовка магистрантов по специальности «Прикладной компьютерный анализ данных» [2]. В связи с оптимизацией специальностей в 2018 году она трансформирована в профиль «Компьютерный анализ данных» специальности «Прикладная математика и информатика».

Научный фундамент для высокого уровня подготовки помогает обеспечивать Учреждение Белорусского государственного университета «НИИ прикладных проблем математики и информатики», принимая деятельное участие в руководстве магистерскими диссертациями, обеспечивая базу для прохождения производственной практики и, что чрезвычайно важно для обеспечения высокого уровня магистерской программы, проводя научные исследования по данному направлению. Важный вклад в поддержание высокого уровня обучения студентов и магистрантов вносит Международная научная конференция “Computer Data Analysis and Modeling”, которая более 30 лет проводится в Белорусском государственном университете раз в три года с привлечением всемирно известных специалистов в области Data Science. Её организация позволяет не только обеспечить актуальность и признаваемый в мире уровень научных исследований в рамках сформировавшейся научно-учебной школы в БГУ, но и привлечь магистрантов и студентов к научным исследованиям.

Заключение. Несмотря на имеющийся кадровый голод в подготовке по IT-направлениям в университетах страны, путём тесного сотрудничества кафедр и научного института в БГУ удастся успешно осуществлять обучение на двух уровнях высшего образования в области Data Science.

Список использованных источников

1. Kharin, A. Development of the master program on applied computer data analysis within the TEMPUS project “Applied computing in engineering and science” / A. Kharin, P. Filzmoser, P. Gabko // Computer Data Analysis and Modeling : proceedings of the XI International Conference, Minsk, September 2016 / BSU; ed.: P. Filzmoser et al. – Minsk, 2016. – P. 279–280.

2. Мандрик, П. А. Образовательный стандарт высшего образования второй ступени (магистратуры) по специальности 1-31 81 12 – Прикладной компьютерный анализ данных / П. А. Мандрик, А. Ю. Харин, Т. В. Соболева. – Минск : РИВШ, 2015. – 16 с.

НЕКОТОРЫЕ ПРОБЛЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ МЕДИЦИНСКИХ СИСТЕМ, ОСНОВАННЫХ НА СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДАХ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

В. А. Ковалев^{1✉}, И. А. Филипович², С. А. Козловский¹

¹Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси, Минск
vashkevich@bsuir.by;

²Белорусский государственный университет, Минск

Введение. В настоящее время наблюдается значительный прогресс в области разработки новых архитектур сверточных нейронных сетей (Convolutional Neural Networks, CNNs) и их практического использования при решении различных задач классификации, распознавания и генерации изображений. Данные методы продемонстрировали свою высокую эффективность в области машинного зрения, анализа сигналов, текстов и решении многих других задач, которые традиционно относились к «интеллектуальным». Не являются исключением и задачи анализа и классификации биомедицинских изображений, лежащие в основе современных методов компьютеризированной диагностики заболеваний. Общее описание используемых подходов и примеры решения конкретных задач можно найти в целом ряде обзорных публикаций, таких как [1-3]. Результаты оценки сравнительной эффективности традиционных и нейросетевых методов решения задач классификационного и регрессионного типов на тестовой выборке рентгеновских изображений грудной клетки 10 000 здоровых людей в возрасте от 21 до 70 лет представлены в наших ранних работах [4, 5]. Экспериментально показано, что использование сверточных нейронных сетей для выделения количественных признаков изображений является значительно более эффективным подходом по сравнению с традиционными методами.

Однако, наряду с упомянутыми выше достоинствами, современные методы глубокого обучения имеют ряд существенных недостатков. В частности, широкое практическое использование CNN в области медицинской диагностики ограничивается рядом проблемных вопросов, относящихся к безопасности личных данных. Некоторые из них перечислены ниже.

(1) Восприимчивость медицинских изображений и изображений других типов к так называемым злонамеренным атакам (Adversarial Attacks).

(2) Ограниченность доступа к медицинским изображениям. Строгость ограничений варьирует в зависимости от конкретной страны, типа изображений и ряда других причин. Однако, в любом случае, доступ к персональным медицинским изображениям в целях обучения глубоких CNN всегда связан с целым рядом этических и юридических проблем, а также проблем сохранности личных данных, которые регулируются действующими правилами и законодательными актами.

(3) Потенциальная возможность идентификации конкретного человека в базах данных медицинских информационных систем и систем автоматизации диагностики заболеваний по их медицинским изображениям с целью незаконного использования личных данных.

Таким образом, целью данной работы является рассмотрение указанных проблем безопасности в контексте использования современных методов искусственного интеллекта (Artificial Intelligence) и глубокого обучения (Deep Learning). Соответственно, материал работы представлен в виде трех частей, каждая из которых содержит результаты исследования практической значимости каждой обозначенной проблемы и предлагает некоторые способы ее решения.

Часть 1: Злонамеренные атаки на глубокие нейронные сети. Злонамеренные атаки на нейронные сети осуществляются путем специальной модификации входных изображений, которые, как правило, не могут быть обнаружены человеком. Тем не менее, такие модификации приводят к тому, что обученная нейронная сеть принимает неверное решение. Например, изображение органа с явной патологией распознается сетью как изображение нормы и наоборот.

В данном разделе рассматриваются три типа атак на нейронные сети. Их оригинальные англоязычные названия звучат как градиентные атаки вида FGSM Attacks [6], атаки типа Carlini-Wagner [7] и так называемые AutoAttacks [8]. Эффективность защиты от злонамеренных атак количественно оценивается с помощью метода Adversarial Training [9], метода CGD, осуществляющего удаления атакующих шумов с использованием высокоуровневых представлений в виде меток классов [10], а также нейронная сеть, напоминающая шумоподавляющие автоэнкодеры, которая известна под названием MagNet [11].

Следует отметить, что в данной работе авторы уделяют больше внимания проблеме защиты медицинских изображений от злонамеренных атак нежели чем задачам оценки их потенциального вреда. Более обширный материал по эффективности атак на медицинские изображения различных типов, сравнительный анализ успешности атак белого и черного ящиков на нейронные сети с различной архитектурой, а также другие смежные вопросы подробно освещены в работе [12].

Для обеспечения возможности прямого количественного сравнения результатов злонамеренных атак и эффективности методов защиты, все вычислительные эксперименты проводились с использованной одной и той же модели сверточной сети, в качестве которой выступала широко известная специалистам сеть EfficientNet-B3 [13].

Все вычислительные эксперименты проводились с использованием трех наборов медицинских изображений, включающих рентгеновские снимки грудной клетки 15600 здоровых людей, 10800 изображений (аксиальных срезов) компьютерной томографии (КТ) пациентов, больных туберкулезом легких, а также 192000 гисто-патологических изображений нормы и опухоли у онкологических больных с раком груди и щитовидной железы.

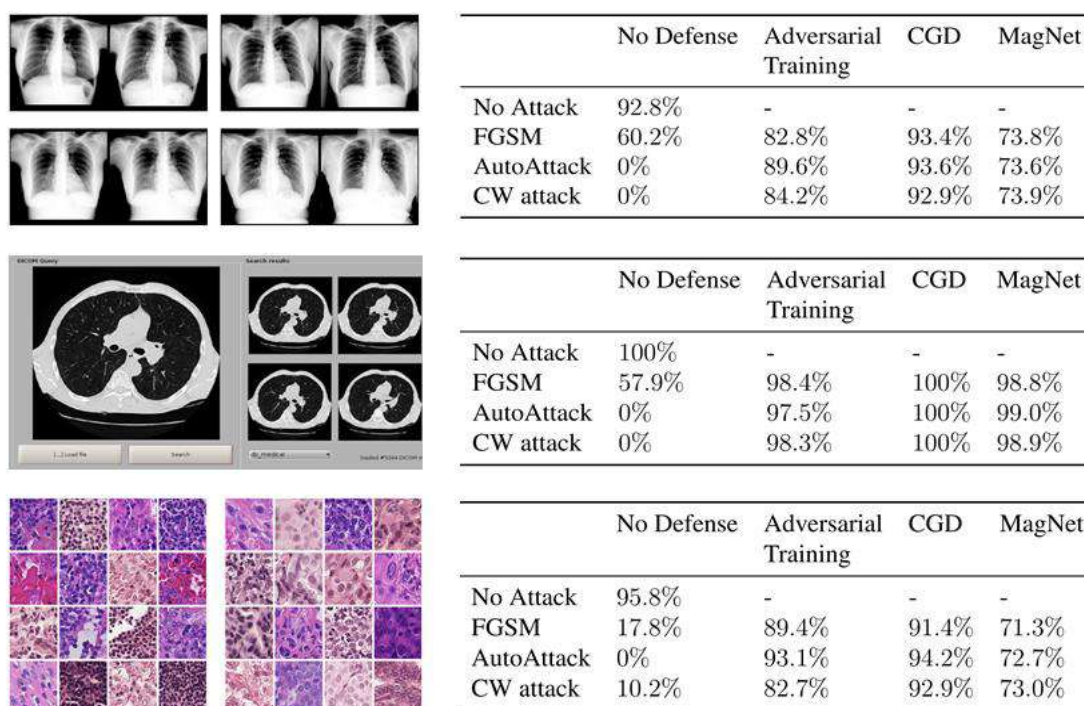


Рис. 1. Эффективность трех типов злонамеренных атак и методов защиты для трех типов медицинских изображений

Примеры изображений и основные результаты проведенных экспериментальных исследований представлены на рис. 1. Как видно из рисунка, наиболее эффективным способом защиты от злонамеренных атак среди исследованных трех методов является метод CGD.

Часть 2: Замена реальных изображений эквивалентными искусственными. Известно, что наряду с общепризнанными достоинствами современные методы глубокого обучения имеют один существенный недостаток: для эффективного обучения сверточной нейронной сети требуется очень большое количество (десятки и сотни тысяч) аннотированных изображений, что особенно трудно обеспечить в случае медицинских изображений. Действительно, в задачах машинного обучения, которые зачастую оперируют с обычными цифровыми фотоснимками, проблема получения большого их количества является хотя и трудоемкой, но вполне решаемой. Кроме того, ручная аннотация снимков – выделение таких целевых объектов, как люди, автомобили, здания, животные и т. п., – не требует никакой профессиональной подготовки и может осуществляться практически кем угодно.

В случае медицинских изображений ситуация существенно отличается от описанной выше: количество доступных изображений естественным образом ограничивается поступающим потоком пациентов, существующими возможностями и технологией накопления и цифрового архивирования данных, доступных для лечебного учреждения, уровнем компьютерной грамотности, квалификацией медицинского персонала и др. Кроме того, имеется еще целый ряд дополнительных факторов, специфичных для данной области. Например, известно, что существует большой перечень достаточно редких заболеваний и редких форм распространенных заболеваний, по которым большое количество снимков в рамках одного или нескольких родственных медицинских учреждений не может быть получено в принципе. Ситуация с ручной аннотацией медицинских изображений также гораздо более тяжелая, так как такие изображения относятся к профессиональным данным, аннотация которых может осуществляться только людьми с соответствующим специальным образованием и практическим опытом.

В данном разделе рассматриваются результаты экспериментального исследования возможности генерации правдоподобных рентгеновских изображений грудной клетки для их последующего использования вместо реальных изображений при решении различных практических задач. Генерация изображений осуществлялась с использованием генеративных состязательных нейронных сетей (Generative Adversarial Neural Networks, GAN), предложенных в работе [14]. Наряду с вариационным автокодировщиком [15] данный тип нейросетевых архитектур используется в качестве одного из современных методов обучения без учителя. Из-за высокой локальной автокорреляции пикселей изображения, когда яркости близкие пиксели коррелируют, а далекие – нет, многослойная сверточная сеть является лучшим выбором в качестве архитектуры для классификации изображений [16]. Поэтому в данной работе использовалась архитектура dcGAN (глубокая сверточная генеративно-состязательная сеть), предложенная в [17].

В качестве исходных данных для обучения GAN использовалась тестовая база цифровых рентгеновских изображений грудной клетки 10000 здоровых людей в возрасте от 21 до 70 лет. Обучающая выборка была полностью сбалансирована. В частности, на каждый конкретный год жизни из указанного выше диапазона в 50 лет были представлены снимки 200 человек, включая 100 женщин и 100 мужчин.

Примеры реальных и сгенерированных изображений представлены на рис. 2. Более детальную информацию по генерации и тестированию рентгеновских и гистологических изображений можно найти в работах [18–19]. Индивидуальное тестирование разработанного генератора можно провести любой желающий на специализированном web-портале по адресу <https://image.org.by/>.

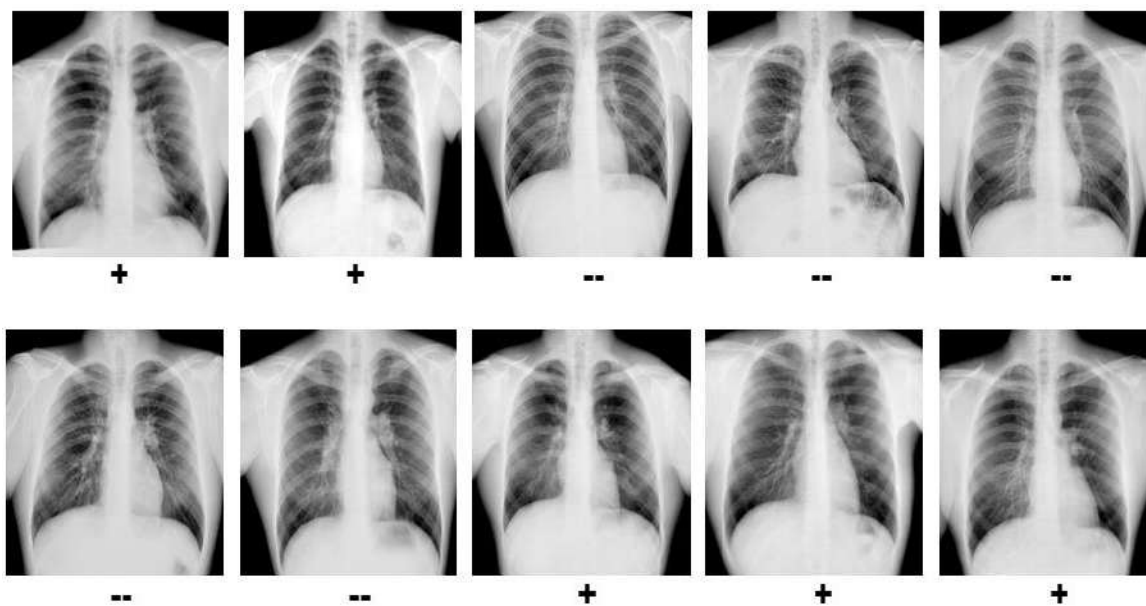


Рис. 2. Примеры рентгеновских изображений грудной клетки реальных людей (помечены символом «+») и изображений, сгенерированных с помощью генеративных соревновательных сетей GAN (помечены символом «--»)

Часть 3: Оценка вероятности идентификации человека по рентгеновскому снимку. Целью экспериментальных исследований данного раздела было провести исследования и получить оценки вероятности идентификации человека в медицинской базе данных по его снимку грудной клетки. В данном случае речь идет об «оценке сверху», т.е. максимально возможной вероятности обнаружения в базе медицинских изображений поскольку задача ставится как идентификация человека по второму снимку его же самого, снятого ранее. Кроме того, рассматриваются максимально реальные практические условия, такие как:

- оба снимка были получены в разное время (с промежутком от нескольких месяцев до 10 и более лет), в течении которого могли произойти значительные изменения состояния тела, связанные с естественным старением, травмами, перенесенными хроническими заболеваниями и целым рядом других факторов;
- снимки человека могли быть сделаны в различных медицинских учреждениях, располагающих различной технической аппаратурой (различное качество, пространственное разрешение, контраст и др.), персоналом различным опытом и др.;
- естественно, что содержимое снимка может варьировать в зависимости от содержания и объема желудка, что приводит к изменению общей картины, деформации некоторых внутренних органов и другим видимым изменениям;
- пациент может быть по-разному размещен в поле зрения сканера, повернут в том или ином направлении и т.п.

Таким образом, дополнительные ошибки могут быть обусловлены преимущественно либо несовершенством методов сравнения и идентификации изображений, либо неконтролируемыми факторами, перечисленными выше.

В качестве исходных данных использовались цифровые рентгеновские изображения грудной клетки 45000 испытуемых, каждый из которых был представлен двумя снимками: снимок – образец поиска плюс снимок, хранящийся в неизвестной позиции базы из $2 \cdot 45000 = 90000$ изображений.

С целью получения расширенных данных о возможности идентификации людей различного пола и возраста, все испытуемые были разбиты на 3 полностью сбалансированные возрастно-половые группы по 10 лет в каждой с промежутком в 5 лет:

- 18-27 лет (условно: «Молодые»), 15000 человек, 7500 мужчин и 7500 женщин;
- 33-42 лет (условно: «Взрослые»), 15000 человек, 7500 мужчин и 7500 женщин;
- 48-57 лет (условно: «Зрелые»), 15000 человек, 7500 мужчин и 7500 женщин.

Поскольку стопроцентная идентификация в данной и других реальных задачах по идентификации объектов как правило невозможна, все оценки проводились по методике «искомый объект присутствует в Топ-N ближайших». При таком сценарии величина N может изменяться от 1 (самый ближайший в пространстве признаков является правильным ответом) вплоть до некоторого разумного числа, при котором польза от компьютерной поддержки процесса идентификации все еще превосходит затраты на полностью ручное решение задачи.

На момент подготовки данной работы, признаки изображений генерировались с помощью трех различных нейронных сетей, включая EfficientNet-B0, Efficient-B0-V2 и ViT-S R50x1 с количеством эпох около EP=60 на этапе фэйн-тюнинга. Результирующие векторы признаков состояли из 1280 и 2048 элементов. Величина N являлась параметром и менялась от 15 до 80. При выборе Топ-N ближайших векторов признаков они сравнивались с признаками изображения-образца поиска с помощью $L1$ метрики. Предварительные результаты исследования представлены на рис. 3.

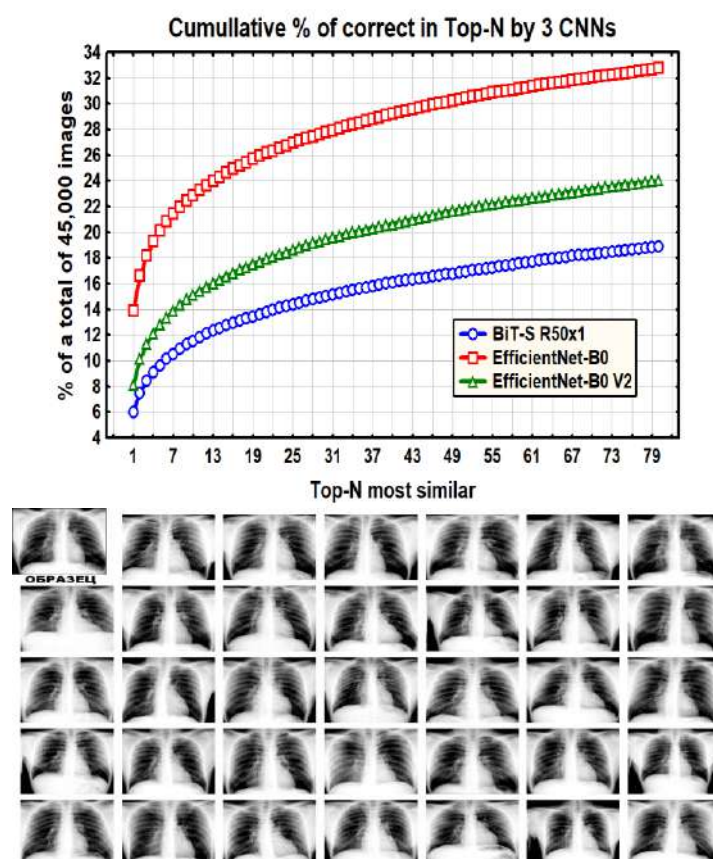


Рис. 3. Процент корректных результатов поиска изображений 45000 человек в Топ-80 (график слева), полученный по трем видам признаков и пример изображений из Топ-34 результатов поиска. Правильный ответ находится в ряду 1 (крайний правый снимок) и соответствует позиции Топ-6

Как видно из рисунка, наибольший процент корректных результатов поиска достигается при использовании признаков, полученных с помощью нейронной сети EfficientNet-B0 первой версии. В этом случае максимальная доля правильных результатов поиска в Топ-80 достигает 33%.

Список использованных источников

1. Litjens G., Kooi T., Bejnordi B., Setio A., Ciompi F., Ghafoorian M. A survey on deep learning in medical image analysis. *Medical Image Analysis*, 2017, vol. 42, pp. 60–88. doi: 10.1016/j.media.2017.07.005.
2. Andres Anaya-Isaza, Leonel Mera-Jimenez, and Martha Zequera-Diaz. An overview of deep learning in medical imaging. *Informatics in Medicine Unlocked*, 26:100723, 2021.
3. Kyriakos D. Apostolidis and George A. Papakostas. A survey on adversarial deep learning robustness in medical image analysis. *Electronics*, 10(17), 2021.
4. Kovalev V., Kalinovsky A., Liauchuk V., Shukelovich A. A comparison of conventional and Deep Learning methods of image classification on a database of chest radiographs. *Intern. J. of Computer Assisted Radiology and Surgery*, 2017, vol. 12, suppl. 1, pp. S139–S140.
5. Kovalev V., Kalinovsky A., Liauchuk V., Shukelovich A. Benchmarking the efficiency of Deep Learning methods on the problem of predicting subjects' age by chest radiographs. *Proc. 3rd Intern. Conf. Minsk, BSUIR*, 2017, pp. 75–82.
6. Ian J. Goodfellow, Jonathon Shlens, and Christian Szegedy. Explaining and harnessing adversarial examples. In Yoshua Bengio and Yann LeCun, editors, *3rd Intern. Conf. on Learning Representations, ICLR 2015, San Diego, CA, USA, May 7-9, 2015, Conference Track Proceedings*, 2015.
7. Nicholas Carlini and David A. Wagner. Towards evaluating the robustness of neural networks. In *2017 IEEE Symposium on Security and Privacy, SP 2017, San Jose, CA, USA, May 22-26, 2017*, pages 39–57. IEEE Computer Society, 2017.
8. Francesco Croce and Matthias Hein. Reliable evaluation of adversarial robustness with an ensemble of diverse parameter-free attacks. In *Proceedings of the 37th International Conference on Machine Learning, ICML 2020, 13-18 July 2020, Virtual event, volume 119 of Proceedings of Machine Learning Research*, pages 2206–2216. PMLR, 2020.
9. Eric Wong, Leslie Rice, and J. Zico Kolter. Fast is better than free: Revisiting adversarial training. In *International Conference on Learning Representations*, 2020.
10. Fangzhou Liao, Ming Liang, Yinpeng Dong, Tianyu Pang, Xiaolin Hu, and Jun Zhu. Defense against adversarial attacks using high-level representation guided denoiser. P. 1778–1787, 06 2018.
11. Dongyu Meng and Hao Chen. Magnet: A two-pronged defense against adversarial examples. P. 135–147, 10, 2017.
12. Vassili Kovalev, Vitali Liauchuk, Dmitry Voynov, and Alexander Tuzikov. Bio-medical image recognition in pulmonology and oncology with the use of deep learning. *Pattern Recognition and Image Analysis*, vol. 31, no. 1, pp. 144–162, 2021.
13. Mingxing Tan and Quoc Le. EfficientNet: Rethinking model scaling for convolutional neural networks. In Kamalika Chaudhuri and Ruslan Salakhutdinov, editors, *Proceedings of the 36th International Conference on Machine Learning, volume 97, Machine Learning Research*, pages 6105–6114. PMLR, 09–15 Jun 2019.
14. Ian J. Goodfellow, Jean Pouget-Abadie, Mehdi Mirza et al. Generative Adversarial Networks // *arXiv.org* [Electronic resource]. – 2014. – Mode of access: <https://arxiv.org/pdf/1406.2661>. – Date of access: 05.09.2022.
15. Diederik P. Kingma and Max Welling. Auto-encoding variational bayes // *arXiv.org* [Electronic resource]. – 2014. – Mode of access: <https://arxiv.org/pdf/1312.6114>. – Date of access: 05.09.2022.
16. LeCun Y. Gradient-based learning applied to document recognition. *Proc. of the IEEE*, 1998, vol. 86, no. 11, pp. 2278–2324.
17. Radford A, Metz L., Chintala S. Unsupervised representation learning with deep convolutional generative adversarial networks. *ArXiv.org*, 2016. Available at: <https://arxiv.org/pdf/1511.06434> (accessed 05.09.2022).

18. Ковалев, В. А. Генерация искусственных рентгеновских изображений грудной клетки с использованием генеративно-состязательных нейронных сетей / В. А. Ковалев, С. А. Козловский, А. А. Калиновский // Информатика. – 2018. – Т. 15, № 2. – С. 7–16.
19. Kozlovski S., Kovalev V. Generation of Artificial Biomedical Image Datasets for Training Deep Learning Models, In: Pattern Recognition and Information Processing (PRIP-2019), Minsk, Belarus, 21-23 May, BSUIR, pp. 278-281, 2019.

ОТ КОНЦЕПЦИИ К ПРАКТИЧЕСКОЙ РЕАЛИЗАЦИИ «УМНОГО ГОРОДА» (НА БАЗЕ ПЛАТФОРМЫ «АБСОЛЮТ: SMARTCLOUD»)

С. Е. Нечаев, И. С. Терех, Е. А. Криштопова✉
ООО «НЬЮЛЭНД технолоджи», Минск, Беларусь
contact@newland.by

Введение. «Умные» процессы, «интернет вещей» «умный город», «умное производство», «умное производство» – это сегодняшняя реальность, позволяющая делать жизнь более комфортной, безопасной и экологически чистой, повышать эффективность технологических процессов.

На практике решения «интернета вещей» или IoT (Internet of Things) внедряются постепенно и только для отдельных подсистем «умного города». В результате для каждой подсистемы создается своя отдельная технико-технологическая инфраструктура и возникают сложности обмена данными между смежными подсистемами, часто отсутствует единый центр мониторинга и управления всей инфраструктурой «умного города», «умного предприятия».

Еще одной проблемой, характерной для уже реализованных решений на базе зарубежного программного обеспечения, являются значительное увеличение стоимости продукта либо полное прекращение технической поддержки.

Озвученные проблемы приводят к росту материальных и временных затрат на мониторинг и управление инженерной инфраструктурой удаленных объектов, трудности с управлением и масштабированием инфраструктуры. Эти же проблемы делают актуальным использование программных решений отечественной разработки.

В настоящей работе в качестве решения вышеназванных проблем предлагается IoT-платформа «Абсолют: SmartCloud», разработанная белорусской компанией ООО «НЬЮЛЭНД технолоджи» для реализации «умного города».

Архитектура и описание работы платформы. «Абсолют: SmartCloud» – универсальная IoT-платформа для мониторинга и управления подключенными к ней устройствами. Архитектура платформы приведена на рис. 1.

Платформа объединяет датчики, счетчики, контроллеры, видеокамеры и иные приборы в единое цифровое пространство, создавая инфраструктуру для мониторинга и эффективного управления системами «умного города».

Данные от подключённых к платформе «Абсолют: SmartCloud» устройств и событий, сгенерированных «Абсолют Zrok», накапливаются в базе данных, что позволяет проводить оперативный анализ данных для принятия управленческих решений и получать необходимые аналитические отчеты и графики. Наличие в платформе искусственного интеллекта позволяет не только осуществлять мониторинг удаленных объектов, но и предсказывать события на объекте на основе собранных данных.

Датчики, видеокамеры, приборы учета, размещенные на объектах, могут взаимодействовать с платформой «Абсолют: SmartCloud» через контроллер «SmartSite» (1) или обмениваться с ней данными напрямую (2), как показано на рис. 2. Обмен данными может осуществляться по каналам связи 2G/3G/4G/5G, NB-IoT, Ethernet, UDP/TCP, LoRaWAN и др.



Рис. 1 Архитектура платформы «Абсолют: SmartCloud»

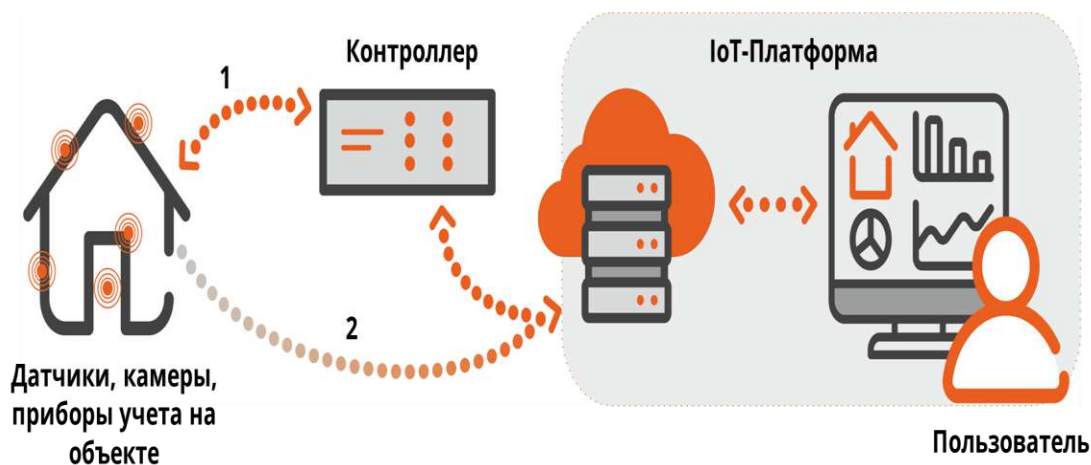


Рис. 2. Обмен данными с платформой «Абсолют: SmartCloud»

По необходимости, пользователь может вносить изменения в настройки параметров удаленных объектов или проводить иные разрешенные его уровнем допуска изменения посредством центра мониторинга платформы.

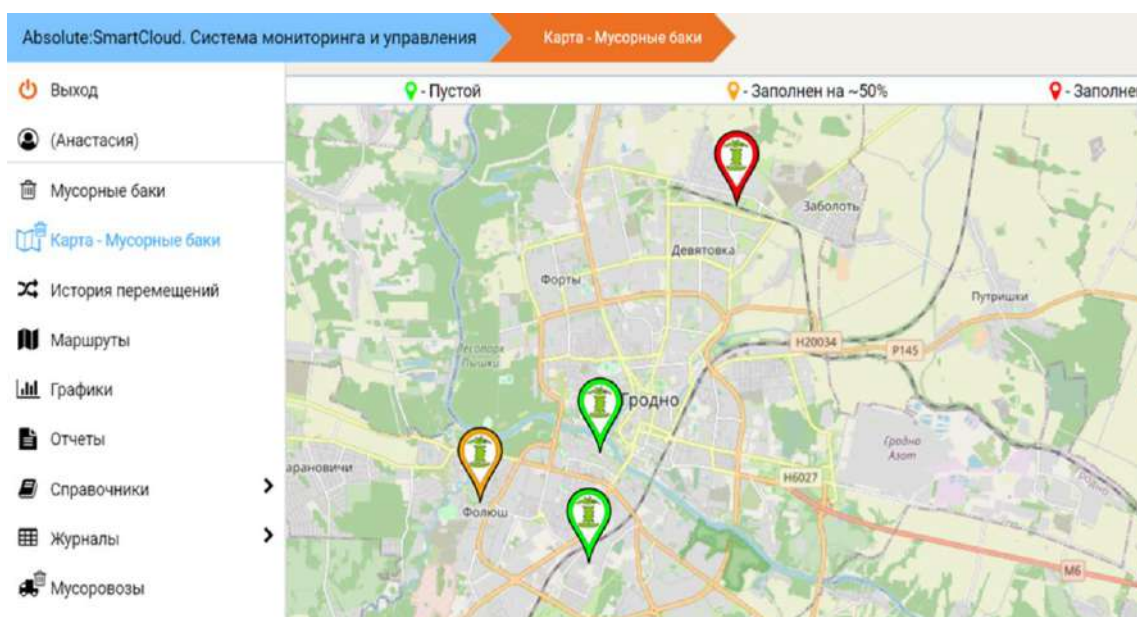


Рис. 3. Интерфейс IoT-платформы «Абсолют: SmartCloud» (карта размещений мусорных баков)

Модуль видеоаналитики «Абсолют Zrok» обрабатывает получаемые с сети видеокamer события. Событиями «Абсолют Zrok» являются появление людей в кадре, их лиц, транспортные средства и их номеров, пересечение линии периметра, наличие дыма и т.п.

События из «Абсолют Zrok» собираются, учитываются и анализируются IoT-платформой «Абсолют: SmartCloud» для принятия решения о состоянии удаленного объекта (например, улицы города, школы). Использование искусственного интеллекта позволяет проверять достоверность распознавания события, совмещая данные, полученные с видеокamer, с данными, полученными от датчиков.

Программное обеспечение модуля «Абсолют Zrok» (рис. 4) снижает требования к аналитическим возможностям видеокamer, и соответственно их стоимости за счет использования искусственного интеллекта платформы при распознавании событий, что обеспечивает следующие возможности платформы:

- анализ лиц;
- распознавание автомобильных номеров;
- анализ пересечения линии/периметра
- умное освещение;
- управление видеокameraми.

Практические решения для «умного города» на основе платформы «Абсолют SmartCloud». На базе платформы разработаны и уже апробированы следующие программно-аппаратные решения:

«Абсолют: SmartHatch» - решение для мониторинга положения крышки люка и состояния канализационных и технических шахт.

«Абсолют: SmartBIN» - решение для оптимизации сбора и вывоза ТБО, промышленных и строительных отходов, вторсырья.

«Абсолют: SmartInc» - решение для удаленного мониторинга отклонения любых конструкций от вертикали.

«Абсолют: SmartTrace» - решение для мониторинга положения тормозных башмаков подвижного железнодорожного транспорта.

«Абсолют: Climate» - решение для автоматического измерения температуры воздуха и относительной влажности в жилых, производственных и складских помещениях, в транспортных средствах и контейнерах.

«Абсолют: SmartTrack» - решение для контроля перемещения грузов на всём пути их следования. Сегодня платформа используется в ряде проектов по «умному городу»: РУП «Белтелеком» (умный квартал в г. Орша), операторами сотовой связи А1 и МТС (контроль наполненности мусорных контейнеров и оптимизация маршрутов мусоровозов, мониторинг и управление дизель-генераторными установками и удаленными объектами операторов связи), производителями продуктов питания (контроль температуры и влажности скоропортящихся продуктов), контроль доступа в офисные помещения и парковки.

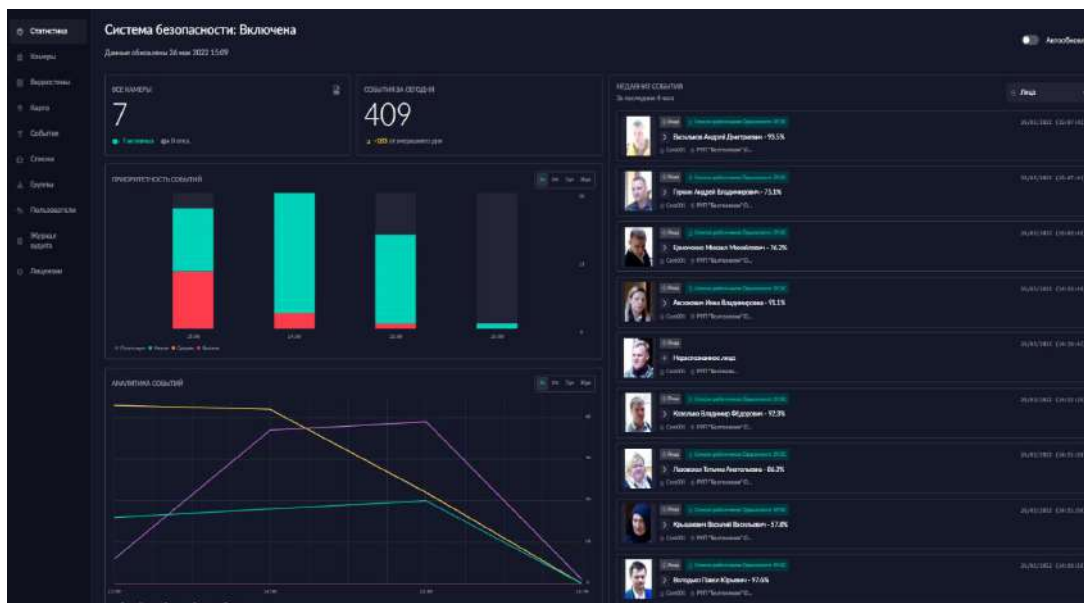


Рис. 4. Скриншот интерфейса модуля видеоаналитики «Абсолют Zrok»

Заключение. IoT-платформа «Абсолют SmartCloud» является отечественной высокопроизводительной разработкой, которая уже успешно используется для элементов «умного города»: от уровня дома, производства до уровня районного центра.

УДК 004

ОБНАРУЖЕНИЕ И СОПРОВОЖДЕНИЕ ОБЪЕКТОВ, НАБЛЮДАЕМЫХ БОРТОВОЙ КАМЕРОЙ БЛА

Б. А. Залесский[✉], Ф. С. Троцкий, М. В. Абрамович

Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси», Минск
zalesky@newman.bas-net.by

Введение. В настоящее время беспилотные летательные аппараты (БЛА) применяются для решения широкого круга народно-хозяйственных, научно-технических и военных задач. Успех в их применении в большой мере зависит от разработки новых аппаратных, алгоритмических и программных средств, установленных на борту, предназначенных для решения поставленных целевых задач. Актуальными в настоящее время являются задачи обнаружения и сопровождения объектов, наблюдаемых бортовыми камерами БЛА.

Результаты. Получены и программно реализованы решения задачи автоматического обнаружения объектов заданных типов, наблюдаемых бортовой камерой, а также задачи автоматического сопровождения обнаруженных или выделенных оператором объектов интереса, наблюдаемых бортовой камерой. Решения и их программные реализации предназначены для выполнения на малых бортовых вычислителях, например, таких как Khadas VIM3 Pro или Jetson TX2 (размеры 50 мм x 87 мм).

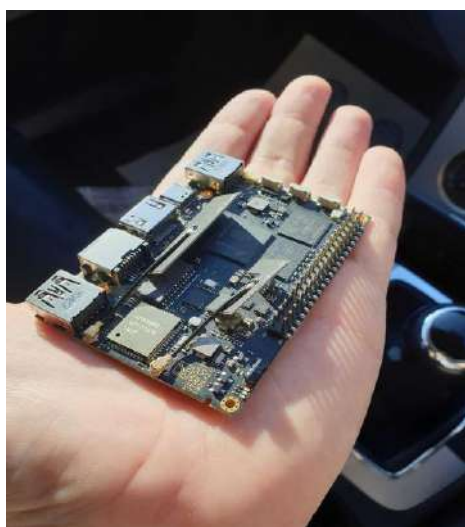


Рис. 1. Слева изображен использованный одноплатный компьютер Khadas VIM3 Pro, справа – Jetson TX2

Одной из особенностей полученных решений является применение нейронных сетей для первичного обнаружения объектов на кадрах видеопотока. Дальнейшее сопровождение обнаруженных объектов осуществляется специально разработанными для этого алгоритмическими средствами.

Еще одна особенность решений заключается в использовании версий нейронных сетей, преобразованных к форматам данных и архитектур, пригодных для работы на указанных выше малых вычислителях. Так одноплатный компьютер Khadas VIM3 Pro оборудован шестью процессорами ARM-архитектуры и нейросетевым процессором, использующим специфическое представление данных, а вычислитель Jetson TX2 – ARM-архитектуры и 256 CUDA-ядер.

Программные реализации полученных решений выполняются на указанных вычислителях в режиме, близком к режиму реального времени. На работу с каждым кадром они тратят примерно одно и то же время – от 80 до 100 миллисекунд.

Созданные решения тщательно протестированы не только на стандартных наборах тестовых видеоданных, таких, например, как UAVDT, но и на различных наборах цветных и полутоновых видеоданных, полученных бортовыми камерами БЛА.

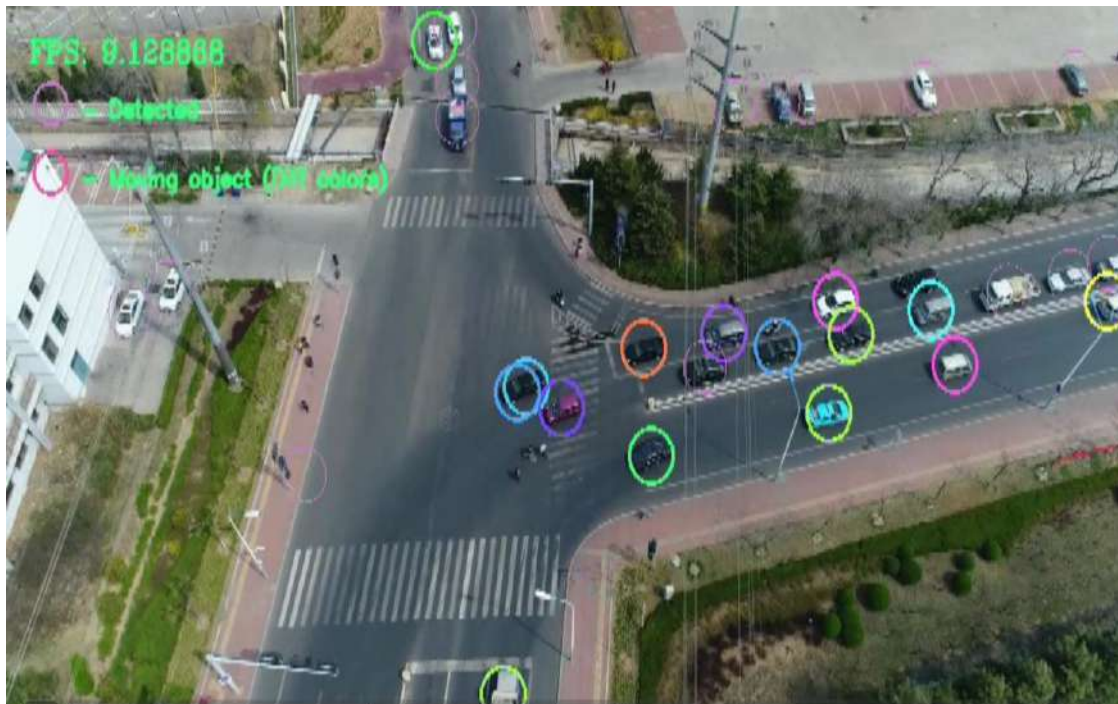


Рис. 2. Иллюстрация разработанного решения обнаружения и сопровождения движущихся объектов (жирными окружностями отмечены обнаруженные движущиеся объекты)

В настоящее время проводятся исследования, направленные на повышение надежности и быстродействия полученных решений.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА АНАЛИЗА И ПРОГНОЗА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ БИОЛОГИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

В. Н. Штепа¹, Н. Ю. Золотых²

¹Полесский государственный университет, Пинск, Беларусь

shtepa.v@polessu.by;

²Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н. И. Лобачевского, Россия

nikolai.zolotikh@itmm.unn.ru

Введение. В водопроводно-канализационных хозяйствах по каналу «качество водных ресурсов» фактически невозможно реализовать реагирования на риски чрезвычайных ситуаций (ЧС) в режиме реального времени [1], особенно в случае действия залповых выбросов загрязнителей [2, 3]. На основе анализа технологической ситуации была создана матрица взаимосвязей измерительных устройств, конструктивно-технологических способов очистки и показателей качества водных ресурсов [1]. Ее оценка указывает на недостаточность номенклатуры измерительного оборудования способного работать в реальном времени на около 71 % [3]. Соответственно, можно сформулировать проблемную область обеспечения эффективности обработки водных растворов, очистки питьевой и сточных вод и факторы, вызывающие риски населению, техногенную нагрузку на окружающую среду и усложняющие управление экологической безопасностью окружающей среды: возможность действия непредсказуемых ЧС природного и техногенного происхождения; отсутствие полноты информации относительно конкретных комбинированных процессов водоочистки (каждый объект имеет свои особенности и параметры настройки оборудования для эффективного функционирования); многофакторность характеристик процессов; отсутствие измерительного оборудования показателей качества водных растворов или низкая точность и быстроедействие современных технических решений. Указанные недостатки используемых подходов при создании и эксплуатации сооружений очистки особенно актуальны для биологических способов редукации воды, поскольку кроме технологических агрегатов необходимо учитывать и биологическую составляющую такой биотехнической системы – активный ил (АИ) [4].

Поэтому перспективным является создание интеллектуальной системы анализа и прогноза экологической безопасности биологических сооружений очистки сточных вод (ИСАП ЭП БСОВ).

Технологические аспекты функционирования ИСАП ЭП БСОВ. В ПНД Ф СБ 14.1.92-96 изложены подходы по систематизации нитчатых микроорганизмов, которые выполняют ключевые задачи при очистки сточных вод. Вместе с тем методики оценки биоценоза активного ила достаточно трудоемкие, поэтому для экспресс-оценивания предложено использовать упрощённую схему экспертной оценки в качестве глобального критерия качества процесса управления с характеристиками, представленными в таблице 1.

Структура информационных потоков системы поддержки принятия решения (СППР) процессами на биологических очистных сооружениях (БОС) представлена на рисунке 1.

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В БЕЛАРУСИ

Таблица 1. Шкала оценки жизнеспособности биоценоза АИ очистных сооружений

Наименование	Критерий жизнеспособности активного ила
Обозначение	α
Диапазон шкалы	0 – 5
Тип шкалы	дискретный целочисленный
Физическая трактовка шкалы	5 – «отлично» (активный ил имеет высокий прирост биомассы нужных эколого-трофических групп микроорганизмов, активность биологических процессов максимальна для данного видового состава); 4 – «хорошо» (*); 3 – «удовлетворительно» (*); 2 – «неудовлетворительно» (*); 1 – «стойкое отмирание» (активный ил метаболически неактивен по доминантным группам микроорганизмов, высокий уровень отмирания клеток, активность биологических процессов отсутствует); 0 – «гибель» (отсутствие живых форм)
Способ определения	экспертная оценка

Примечание «»* – трактовка в компетенции специалиста-технолога.

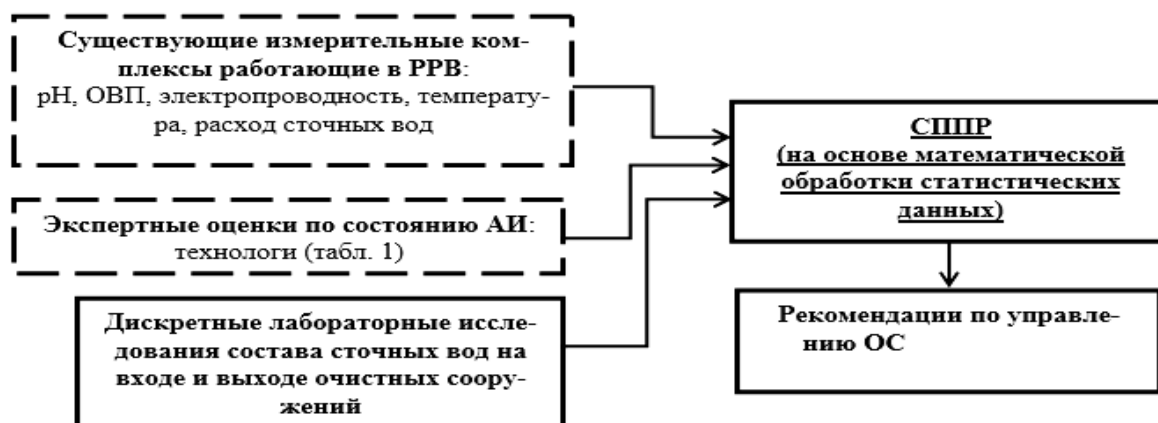


Рис. 1. Информационные потоки системы ИСАП ЭП БСОВ

Функционал программного обеспечения. Задачи программного обеспечения (ПО):

1. Синхронизировано по времени снимать и сохранять информацию в приближенном к режиму реального времени (РРВ) быстрodeйствии (дискретность – 10 мин) данные поступающие со входа очистных сооружений:

- рН,
- окислительно-восстановительный потенциал (ОВП),
- электропроводность,
- растворенный кислород,
- расход сточных вод,
- температура.

2. Обеспечить консольный ввод экспертных данных о состоянии активного ила (см. табл. 1) – дискретность 1 раз в сутки.

3. Обеспечить консольный ввод результатов лабораторных анализов состава сточных вод (дискретность 1 раз в неделю):

- с входа очистных сооружений,
- с выхода очистных сооружений.

4. Вести базу данных всех указанных в пунктах 1–3 параметров и синхронизировать их по времени прохождения технологических процессов на БОС.

5. Графически отображать все данные в виде двумерных графиков (трехмерных поверхностей) и конвертировать информацию в общедоступные форматы табличных процессоров, например, «.xls».

6. Интеллектуальный аналитический модуль выполняет обработку данных и прогнозирование состояния АИ и эффективности очистки сточных вод.

Математический аппарат интеллектуального аналитического модуля. Рекомендации по управлению ОС формируются с использованием методов статистического анализа данных и машинного обучения. Решающее правило строится с помощью метода опорных векторов [5] на основе размеченных исторических данных. Настройка гипер параметров производится с помощью решения задачи глобальной оптимизации. Ранее данный подход был успешно применен в задаче предсказания спроса региона на воду [6].

Практическая реализация ИСАП ЭП БСОВ. Практическая реализация ИСАП ЭП БСОВ выполнена на очистных сооружениях коммунальных сточных вод г. Барановичи (Брестская область). Точки распределенного получения технологической информации представлены на рисунке 2.

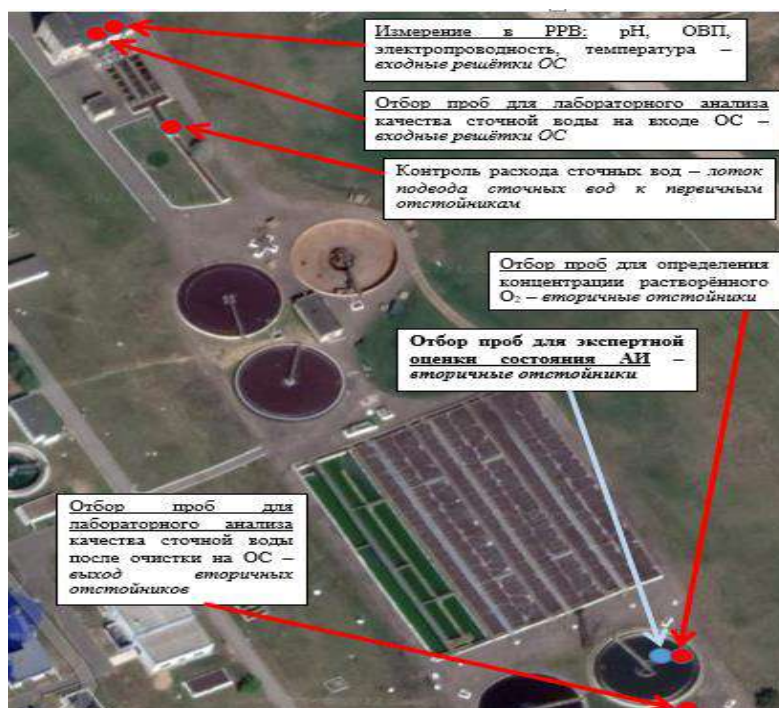


Рис. 2. Картографическая схема получения информации ИСАП ЭП БСОВ

Программное обеспечение создано на языке Python с использованием кросс-платформенного фреймворка Qt (рис. 3, 4). При таком подходе ориентировались, что использование Python облегчает подключение множества различных научных и других модулей для анализа данных, машинного обучения. Также использование Qt позволяет не завесить от платформы: ПО может работать на разных операционных системах (Windows, Linux, MacOS).

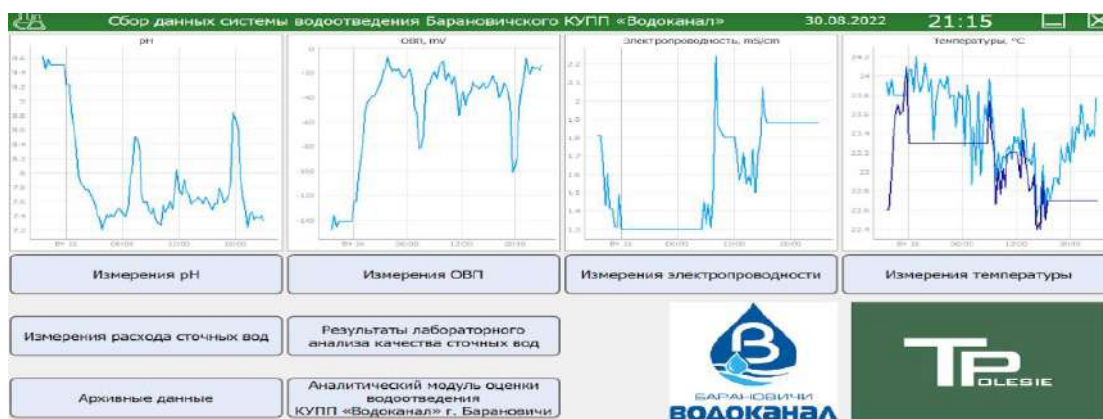


Рис. 3. Интерфейс главного окна ИСАП ЭП БСОВ

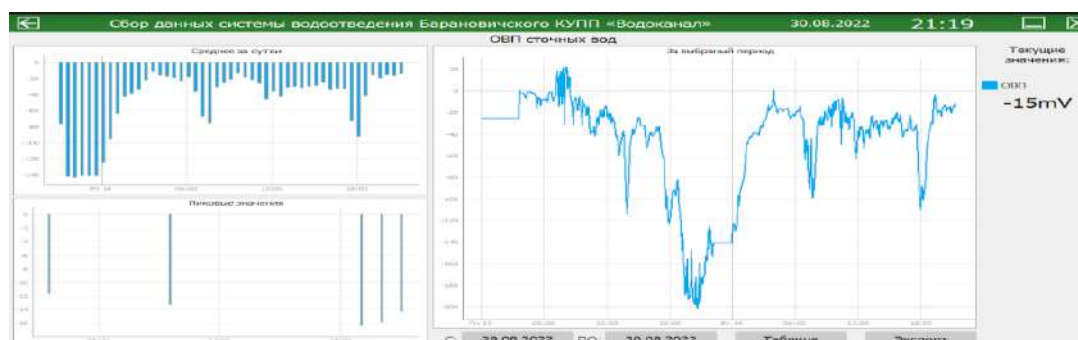


Рис. 4. Интерфейс программного обеспечения фиксации и визуализации технологических параметров БОС

Практическое внедрение ИСАП ЭП БСОВ позволило значительно упростить работу инженеров технологов очистных сооружений и, что главное, повысить эффективность обработки коммунальных сточных вод прежде всего за счет уменьшения запоздалости реакций на поступление залповых концентраций загрязнителей негативно влияющих на АИ – для г. Барановичи это серосодержащие токсиканты.

Заключение.

Построение интеллектуальных СППР сооружений очистки является необходим решением для их экологически безопасного функционирования при этом технико-экономическое обоснование промышленного использования таких программно-аппаратных комплексов заключается в уменьшение расходов на использование ресурсов в штатном режиме (электроэнергия, реагенты) и недопущения гибели АИ (нештатные ситуации), который потом крайне долговременно, затратно и биотехнологически сложно регенерировать. Дальнейшие исследования целесообразно нацелить на трансформацию СППР в интеллектуальные системы автоматического управления БОС с распределёнными по сети водоотведения измерительными узлами с удалённым доступом, сенсоры которых могут энергоавтономно работать в режиме реального времени в агрессивных средах (например, получение данных о значениях: pH, ОВП, электропроводности, мутности, температуры), а также улучшения качества предсказания на основе новых методов анализа данных.

Список использованных источников

1. Штепа, В. Н. Концептуальные основы энергоэффективной системы управления комбинированными системами водоочистки / В. Н. Штепа // Известия высших учебных

заведений и энергетических объединений СНГ. Энергетика: научно-технический журнал. – 2016. – № 5. – С. 479 – 487.

2. Штепа, В. Н. Нейросетевой блок поддержки адаптивного управления комбинированными системами водоочистки / В. Н. Штепа // Вестник Гомельского государственного технического университета им. П. О. Сухого: науч.-практ. журнал. – 2015. – № 4. – С. 37-43.

3. Штепа, В. Н. Этапы создания информационно-аналитических систем обеспечения регионального рационального водопользования / В. Н. Штепа, И. А. Янковский // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета: сб. науч. тр. / Сев.-Вост. науч. центр Трансп. акад. Украины ; [редкол. В. А. Богомолов (гл. ред.) и др.]. – Харьков: ХНАДУ. – 2015. – № 70. – С. 119-121.

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, issue 2. - P. H1-H7.

5. Cortes, C. Support-vector networks / Cortes, Corinna; Vapnik, Vladimir // Machine Learning. – 1995. – Vol. 20, issue 3. - P. 273-297.

6. Candelieri, A. Tuning hyperparameters of a SVM-based water demand forecasting system through parallel global optimization / Antonio Candelieri, Ilaria Giordani, Francesco Archetti, Konstantin Barkalov, Iosif Meyerov, Alexey Polovinkin, Alexander Sysoyev, Nikolai Zolotykh // Computers and Operations Research. - 2019. – Vol. 106. - P. 202-209.

СОПРОВОЖДЕНИЕ И ПОВТОРНАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ ЛЮДЕЙ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Р. П. Богуш^{1✉}, С. А. Игнатьева¹, С. В. Абламейко^{2,3}

¹Полоцкий государственный университет им. Евфросинии Полоцкой,
Новополоцк, Беларусь
r.bogush@psu.by;

²Белорусский государственный университет, Минск;

³Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси, Минск

Введение. В настоящее время отмечается рост использования систем видеонаблюдения, что объясняется широким кругом решаемых ими задач и непрерывно развивающимся для этого алгоритмическим и аппаратным обеспечением. Следует отметить, что в связи с быстрым совершенствованием аппаратной базы, увеличением разрешения видеокамер, повышением пропускной способности каналов связи, внедрением 5G технологии, развитием и применением методов искусственного интеллекта обработки информации, технологий обработки больших объемов данных, облачных решений, интернета вещей такая тенденция сохранится и в будущем.

Среди систем видеонаблюдения наиболее эффективны пространственно-распределенные, основанные на применении пространственно-разнесенных IP камер, и многоагентной архитектуры. Такие системы используют видеоаналитику данных, а интеллектуальность их заключается в способности автоматически анализировать видеопотоки с целью выявления заданных объектов или их действий. Среди таких задач важными и актуальными являются сопровождение множества людей на видеопоследовательностях, формируемых одной камерой, и их ре-идентификация [1]. Ре-идентификация (повторная идентификация, междукamerное сопровождение) людей может быть определена как задача присвоения одного и того же имени или индекса всем образам одного и того же человека, получаемым с пространственно-разнесенных камер, области видимости которых не пересекаются друг с другом, на основе выделения и анализа признаков его изображений. Применение ре-идентификации в пространственно-распределенных системах видеонаблюдения позволяет собирать статистику о количестве уникальных вхождений человека на большой площади, покрываемой несколькими камерами видеонаблюдения. На основе сопровождения и повторной идентификации людей возможна реализация различных практических задач: мониторинг перемещения людей и других объектов в системах «Умный дом» и «Умный город», анализ окружающей обстановки в автоматизированных системах вождения транспортными средствами, оценка правильности движения в медицине и спорте, сопровождение объектов в системах технического зрения на производстве, распознавание типа активности человека в системах мониторинга и охраны и т.д.

Такие задачи характеризуются высокой сложностью реализации и требуют точной локализации людей в кадрах и правильной идентификации на текущем кадре или на кадре другой видеокамеры относительно предыдущих. Одной из основных проблем является выбор дескриптора, описывающего человека [2]. Для ее решения необходимо выявить отличительные признаки и путем сопоставления изображений людей из разных кадров или выполнения запроса сравнить их между собой или с признаками из имеющейся выборки изображений множества людей (галереи для ре-идентификации). Поиск и выделение набора наиболее отличительных особенностей объектов на изображениях, в том числе и людей, не формализован. Следовательно, требуется эмпирический поиск

признаков, который в большинстве случаев является долгим и трудоемким процессом. Для сопровождения и повторной идентификации людей, из-за неоднозначности внешнего вида с разных ракурсов, вариаций освещения, различных разрешений камер, окклюзий такой подход требует нерационально большое количество времени. Поэтому долгое время значимые результаты для указанных задач не достигались. Совершенствование средств вычислительной техники и открытия в области глубокого обучения, в частности, развитие сверточных нейронных сетей (СНС) позволили автоматизировать процесс извлечения признаков изображений людей и обеспечить значительное увеличение точности повторной идентификации, однако в полной мере решение не получено в настоящее время.

Принципы и проблемы сопровождения и повторной идентификации. Пространственно-распределенная система видеонаблюдения состоит из территориально разнесенных IP камер и организована, как правило, на основе единого центра обработки данных. На рис.1 показана общая схема интеллектуальной видеосистемы с сопровождением и повторной идентификацией людей.

На каждом кадре F^q из C_1, C_2, C_q IP камер, q - номер видеокамеры в системе, с помощью детектора на основе СНС выполняется обнаружение всех людей, попадающих в поле зрения камер, формирование ограничительных рамок для них, которые описывают прямоугольником обнаруженные фигуры. Для каждого изображения человека I_i , где $i=1, \dots, N_{img}$, N_{img} - общее количество изображений, с помощью другой СНС определяются вектора СНС признаков f_i^{gen} (СНС дескрипторы), формирующие общее пространство СНС признаков $\chi_{I_i} = \{f_i^{gen}\}$, $i=1, \dots, N_{img}$. Данное множество дескрипторов представляется в виде таблицы, в которой каждая строка является СНС дескриптором f_i^{gen} для одного изображения.

Для движущегося человека на видеопоследовательности возможно изменение одного или нескольких параметров: координат на кадре $(x_{f_i^{gen}}^{F_k}, y_{f_i^{gen}}^{F_k})$, размеров $(sz_{f_i^{gen}}^{F_k})$, формы $(FR_{f_i^{gen}}^{F_k})$ на определенном интервале времени (t). Трансформация его формы и (или) размеров изменяет его признаки на кадрах (f_i^{gen}) . Соответственно, движущийся объект описывается как:

$$Ob_j^D = \{f_i^{gen}, x_{f_i^{gen}}^{F_k}, y_{f_i^{gen}}^{F_k}, sz_{f_i^{gen}}^{F_k}\}.$$

Под сопровождением человека понимают определение местоположения его на каждом кадре видеопоследовательности, формируемой одной видеокамерой, в течение интервала времени (t).

Следует отметить, что существуют два типа разных по сложности задач при сопровождении объектов, в том числе и людей: сопровождение одного объекта (Visual object tracking, VOT) и сопровождение множества объектов (Multiple object tracking, MOT). Первый случай характеризуется тем, что заданный объект, человек, обнаружен и локализован на определенном кадре, а другие люди не представляются объектами интереса и не детектируются.

При множественном сопровождении в кадре, как правило, присутствуют несколько одновременно движущихся или неподвижных некоторое время людей. Причём многие из них могут иметь визуально схожие признаки, выходить за пределы сцены на малый интервал времени, или совсем ее покидать, а другие люди могут появляться практически в местах выхода предыдущих, например, в дверном проеме при входе в помещение. Соответственно, высока вероятность срыва сопровождения из-за пересечения людей между собой или их скрытием за элементами заднего плана. Поэтому такое сопровождение в режиме реального времени представляет собой очень сложную задачу.

При ее решении после обнаружения фигур людей на кадре вычисляются и анализируются признаки выделенного фрагмента в пространственной области кадров и во временной области на видеопоследовательности. К таким могут быть отнесены: СНС признаки, гистограммные, цветовые признаки; координаты центра выделенной области человека в кадре; направление смещения в текущем кадре относительно предыдущего; ширина и высота области на предыдущем кадре; траектория движения; время движения. Подобные признаки могут вычисляться для всего изображения человека и(или) для его частей. Для всех сопровождаемых объектов и обнаруженных на текущем кадре вычисляются значения схожести, на основе которых устанавливается соответствие между обнаруженными и сопровождаемыми объектами. Определение соответствия детектированных людей и их расположении на предыдущих кадрах выполняется путем решения задачи о назначении обнаруженных областей к существующим отслеживаемым объектам. Для этого формируется матрица схожести между областями, обнаруженными детектором, и существующими отслеживаемыми объектами. В качестве выходных данных формируется вектор, в котором каждому объекту назначен индекс обнаруженного детектором объекта. Траектория создается при первом обнаружении человека, а удаляется если данный человек на протяжении определенного числа последовательных кадров не детектируется и для него отсутствует сопоставление с предыдущими кадрами, т.е. считается, что он вышел со сцены, которую снимает видекамера.

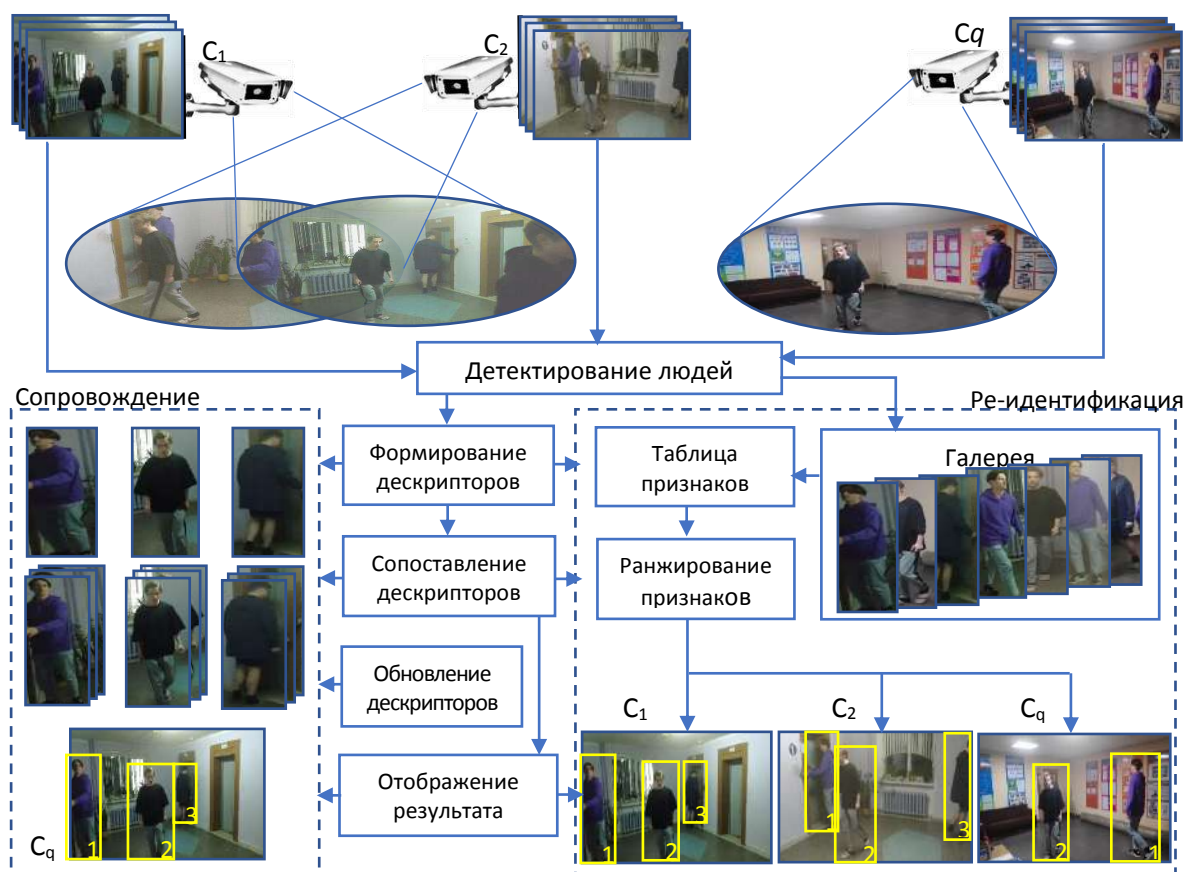


Рис. 1. Общая схема интеллектуальной видеосистемы с сопровождением и повторной идентификацией людей

Для описания человека при ре-идентификации дескриптор может быть представлен как:

$$P_{ID} = (p_n^{ID}, f_i^{gen}, f_i^{add}),$$

где p_n^{ID} – идентификатор (метка) человека; n – количество возможных идентификаторов которое равно общему числу уникальных людей; f_i^{gen} – СНС признаки для i -го изображения человека быть разделены на глобальные, характеризующие его изображение в целом, и локальные, которые получают при разделении изображения на части; f_i^{add} – дополнительные признаки, которые могут содержать информацию, позволяющую улучшить эффективность системы ре-идентификации, например, идентификатор камеры C_{ID} , номер кадра с q -й видеокамеры F_m^q , время $t_m^{F_m^q}$ получения кадра m с q -й видеокамеры.

Для практической реализации повторной идентификации создается таблица, содержащая изображения людей и их дескрипторы, которая называется галереей. При поступлении запроса для ре-идентификации человека вычисляется его вектор признаков, который используется для нахождения расстояния d_q , определяющего степень подобия между данным запросом и дескрипторами изображений галереи. С использованием найденных расстояний выполняется ранжирование в таблице от $d_{\min}$ до $d_{\max}$. С учетом дополнительных признаков исключаются изображения, которые по каким-либо критериям позволяют предполагать, что несмотря на схожесть визуальных признаков, изображение-кандидат не является искомым. После исключения из таблицы признаков всех неподходящих кандидатов, в качестве результата повторной идентификации выводятся изображения людей, f_i^{gen} которых находились вверху списка ранжированной таблицы. Первый человек в ранжированном списке принимается за результат повторной идентификации, как наиболее схожий с запросом.

Повышение точности сопровождения и ре-идентификации. Известно, что эффективность дескриптора человека, формируемого на основе СНС, определяется ее архитектурой и набором данных, на которых выполняется обучение. Увеличение количества слоев СНС позволяет улучшить точность работы.

При сравнении людей необходимо учитывать вариативность их схожих и отличных признаков и обеспечить приемлемые вычислительные затраты.

Таблица 1. Сравнение архитектур СНС

<i>Тип СНС</i>	<i>Количество слоев</i>	<i>Вероятность ошибки в метрике top1</i>	<i>Вероятность ошибки в метрике top5</i>	<i>Быстродействие (мс)</i>
AlexNet	8	42,90	19,80	14,56
Inception-V1	22	-	10,07	39,14
VGG-16	16	27,00	8,80	128,62
VGG-19	19	27,30	9,00	147,32
ResNet-18	18	30,43	10,76	31,54
ResNet-34	34	26,73	8,74	51,59
ResNet-50	50	24,01	7,02	103,58
ResNet-101	101	22,44	6,21	156,44
ResNet-152	152	22,16	6,16	217,91
ResNet-200	200	21,66	5,79	296,51

По результатам тестирования из [3], содержащим характеристики компьютеров, на которых выполнены тесты, на основе анализа таблицы 1 для вычисления дескрипторов и обеспечения работы в режиме реального времени представляет интерес СНС ResNet-34, которая обладает небольшим количеством слоев и удовлетворительной точностью вычислений. Наличие замыкающих соединений в ResNet-34 позволяет изменять количество слоев для лучшего результата обучения. Однако, с учетом специфики сопровождения требуется выделение признаков различных людей для последующего их сравнения с учетом того, что они относятся к одному классу «человек», что не позволит сделать ResNet-34. В работе [4] предложена модифицированная архитектура СНС: удаление входной сверточной слой с размером фильтра $[7 \times 7]$, так как применение ядер свертки минимальных размеров $[3 \times 3]$ позволяет получать лучший результат при реидентификации [153]; количество выходов конечного полносвязного слоя уменьшено до 128, позволяющего сформировать такое же количество признаков для описания человека; сокращение числа сверточных слоев СНС до 29 с размерами ядер для них $[3 \times 3]$, после каждого слоя используется замыкающее соединение. Применение данной архитектуры позволяет увеличить точность сопровождения людей при видеонаблюдении внутри помещений [4].

Для глубоких СНС при их обучении возможны такие явления, как взрывные или исчезающие градиенты. Они приводят к проблеме, возникающей при накоплении больших градиентов ошибок, за счет чего веса СНС обновляются очень быстро, соответственно, модель сети не обладает стабильностью. Другого типа градиенты, исчезающие, приводят к обратной проблеме, при которой также невозможно эффективное обучение. Существуют разные способы решения этих проблем, одним из которых является поиск функций активации ФА. Выбор ФА для конкретной прикладной задачи предполагает проведение экспериментальных исследований, которые позволят определить наиболее эффективную по точности и временным затратам. Поэтому, выполнен анализ наиболее распространенных ФА ReLU, Leaky-ReLU, PReLU, RReLU, ELU, SELU, GELU, Swish, Mish, используемых в сверточных нейронных сетях для повторной идентификации человека, который проведен для трех СНС ResNet-50, DenseNet-121 и DarkNet-53. В результате анализа полученных результатов, установлено, что для повторной идентификации наиболее перспективны функции активации ReLU и GeLU [5]. Однако скорость работы и воспроизводимость результатов при применении ReLU выше, чем при GeLU [5].

Основными требованиями к набору данных являются большое количество изображений, их разнообразие и равномерность. Недостаточное количество данных может привести к переобучению, т.е. запоминанию СНС обучающих примеров и неустойчивости модели к новым данным. Под разнообразием в наборе данных подразумевается, что изображения были получены с нескольких камер с различными характеристиками (разрешение, угол обзора, место установки), при разных условиях видеонаблюдения (время суток, сезон, освещение) и для людей с отличающимся внешним видом (пол, рост, телосложение, одежда). Увеличение разнообразия повышает надежность извлекаемых признаков и устойчивость обученной системы к незнакомым данным. Под равномерностью понимают то, что разнообразных примеров должно быть примерно равное количество, т.к. большое число изображений со схожими признаками может приводить к разбалансировке при обобщении, т.е. система будет считать, что признаки, выделенные для схожих изображений, имеют большее значение, чем для примеров, которых было недостаточно.

Для обучения СНС сформирован набор данных PolReID [6], в котором для каждого человека использовалось от 2 до 10 камер, расположенных в разных локациях, и от 1 до 9 видеорядов с каждой камеры при разных погодных условиях и времени года (лето, осень и зима), в помещениях при естественном и искусственном освещении разной ин-

тенсивности. Для извлечения ограничивающих рамок из кадров применен алгоритм обнаружения YOLOv4. Неправильные ограничивающие рамки были удалены оператором после визуального анализа. Для каждого человека в наборе данных есть изображения с частичным перекрытием по горизонтали и по вертикали. Один и тот же человек представлен с разных сторон. Всего набор данных содержит изображения для 657 человек и включает 52035 изображений.

PolReID разделен на обучающие и тестовые данные. Для обучения используется 398 идентификаторов разных людей (32516 ограничивающих прямоугольников), для тестирования – 259 идентификаторов (19519 ограничивающих прямоугольников). PolReID включает изображения 440 мужчин и 217 женщин; 524 человек в возрасте от 18 до 30 лет и 133 человек старше 30 лет. Изображения у 340 человек были получены в помещении, у 214 человек – с камер наружного наблюдения, у 103 человек – с камер внутреннего и внешнего наблюдения. 210 человек с маской на лице, 33 из них зафиксированы на некоторых камерах без маски. Съемки проводились летом для 95 человек, зимой – для 288, весной и осенью – для 274 человек. Примеры изображений представлены на рисунке 2.

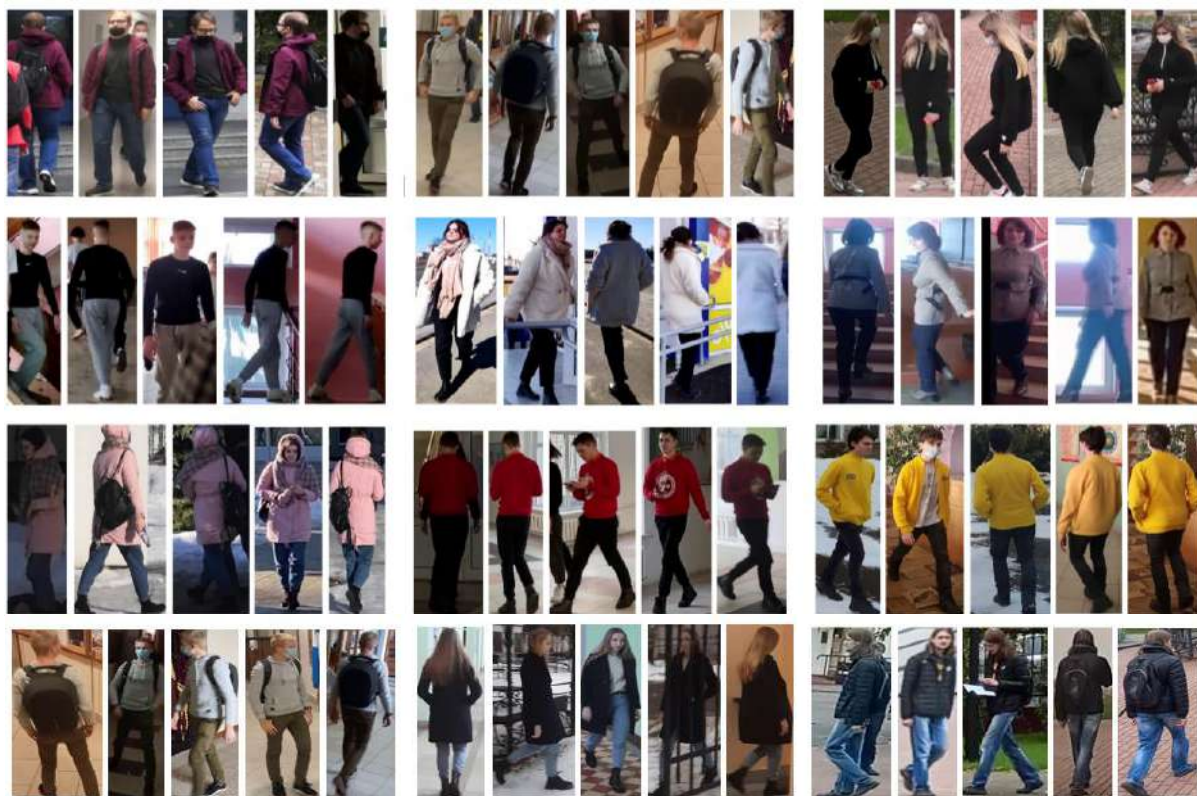


Рис. 2. Примеры изображений из набора данных PolReID

Далее выполнено объединение существующих наборов Market[7], Duke[8], CUHK02[9], CUHK03[10], MSMT17 [11] и PolReID. На полученном большом наборе обучены CHC DenseNet-121, ResNet-50, PCP и выполнена оценка точности по метрикам Rank1 и mAP, результаты представлены в таблице 2. Анализ таблицы 2 показывает, что созданный набор данных позволил улучшить метрики повторной идентификации для всех тестов, максимальные значения были получены для PolReID Rank1 = 95,41, mAP = 84,74. CHC PCV наиболее эффективна при совпадении исходного и целевого доменов, а также для PolReID и Market1501 для междоменной переидентификации. DenseNet-121 наиболее эффективна для DukeMTMC-ReID, а также для Market-1501 и DukeMTMC-ReID при обучении на объединенном наборе данных.

Таблица 2. Результаты экспериментов

Данные для теста	CHC	Данные для обучения							
		Market-1501		DukeMTMC-ReID		MSMT17		Joint Dataset	
		Метрики для оценки точности							
		Rank1	mAP	Rank1	mAP	Rank1	mAP	Rank1	mAP
Market 1501	Dense- Net-121	88,86	73,01	49,23	21,71	54,22	26,40	94,09	83,34
	ResNet-50	83,33	71,16	43,88	18,68	48,49	22,81	92,12	80,62
	PCB	92,70	77,69	55,05	25,89	55,53	25,74	93,14	81,62
Duke MTMC- ReID	Dense- Net-121	37,21	20,18	81,51	64,81	55,61	34,51	86,45	74,00
	ResNet-50	30,57	15,86	79,04	62,40	50,76	30,84	84,20	71,19
	PCB	40,44	22,23	84,87	70,30	54,35	33,26	86,36	73,86
MSMT17	Dense- Net-121	12,72	03,92	19,84	5,94	70,53	40,99	76,73	51,13
	ResNet-50	9,24	2,68	15,04	4,32	65,71	36,56	72,05	45,64
	PCB	11,06	3,10	16,49	4,57	70,42	42,81	73,87	48,17
PolReID	Dense- Net-121	63,66	34,55	74,21	43,44	83,64	58,09	95,25	83,82
	ResNet-50	57,61	29,39	67,85	37,16	79,69	52,91	94,12	80,89
	PCB	62.61	35.31	72.20	40.80	86.38	60.62	95.41	84.74

Заключение. Применение СНС для формирования признаков людей при множественном сопровождении и ре-идентификации позволило практически реализовать эти задачи в многокамерных системах видеонаблюдения. Рассмотренные в работе подходы направлены на повышение их точности за счет новых архитектур СНС и больших составных наборов данных для их обучения. Представленные результаты исследований показывают, что обеспечивается возможность улучшения сопровождения и повторной идентификации людей.

Список использованных источников

1. Behera, N. K. S. Person re-identification for smart cities: State-of-the-art and the path ahead / N. K. S. Behera, P. Kumar, S. Bakshi // Pattern Recognition Letters. – 2020. – Vol. 138. – P. 282–289.
2. Ye, S. Person Tracking and Re-Identification in Video for Indoor Multi-Camera Surveillance Systems / S. Ye, R. Bohush, C. Chen, I. Zakharava, S. Ablameyko // Pattern Recognition and Image Analysis, 2020. - Vol. 30, №4 – P. 827-837
3. Benchmarks for popular CNN models [Electronic resource] – 2020 – Mode of access: <https://github.com/jcjohnson/cnn-benchmarks>. – Date of access: 16.09.2022.
4. Bohush, R. Robust Person Tracking Algorithm Based on Convolutional Neural Network for Indoor Video Surveillance / R. Bohush, I. Zakharava // Communications in Computer and Information Science. - 2019. - Vol. 1055. - P. 289–300
5. Чен, Х. Выбор функции активации в сверточных нейронных сетях при повторной идентификации людей в системах видеонаблюдения / С. Игнатъева, Р. Богущ, С. Абламейко // Программирование. - 2022. - № 5. - С. 15-26.
6. PolReID [Electronic resource] – 2022 – Mode of access: <https://github.com/SvetlanaIgn/PolReID>. – Date of access: 16.09.2022.
7. Scalable Person Re-identification: A Benchmark/ L. Zheng [et. al] // Proc of IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV). - 2015. – P. 1116-1124.

8. Performance Measures and a Data Set for Multi-target, Multi-camera Tracking [Electronic resource]. – Mode of access: <https://arxiv.org/abs/1609.01775>. – Date of access: 03.09.2022.

9. Li W, Wang X. Locally Aligned Feature Transforms across Views / W. Li, X. Wang // Proc. of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. - 2013. – P. 3594-3601.

10. DeepReID: Deep Filter Pairing Neural Network for Person Re-identification / W. Li [et al.] // Proc of. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. – 2014. – P. 152-159.

11. Wei L, Zhang S, Gao W, Tian Q. Person Transfer GAN to Bridge Domain Gap for Person Re-identification / L. Wei [et al.]// Proc. of IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. - 2018. - P. 79-88.

ВЕРОЯТНОСТНАЯ ОЦЕНКА ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КЛЮЧЕВЫХ БИОТОПОВ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «НАРОЧАНСКИЙ» НА ОСНОВЕ НАЗЕМНО-ДИСТАНЦИОННЫХ ПРОГНОСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

Д. Г. Груммо[✉], С. Г. Русецкий, Н. А. Зеленкевич

Институт экспериментальной ботаники НАН Беларуси, Минск
zm.hrumo@gmail.com

Введение. Целью нашей исследований является получение вероятностных оценок пространственного распространения ключевых биотопов на основе комбинации данных наземных обследований, серии спутниковых изображений и почвенных характеристик местности, включая определение оптимального состава исходных индикаторов (признаков) и степени надежности получаемых результатов.

Объекты и методы исследования. Тестовым полигоном для исследований являлась территория, которая расположена (WGS-84) между 54°32'–55°02' с.ш. и 25°58'–27°40' в.д. Ядро исследуемого региона – национальный парк «Нарочанский», однако нами целенаправленно была рассмотрена область с буферной зоной 15–30 км вокруг границ особо охраняемой природной территории (ООПТ) для того что бы: а) выделить природно-территориальные комплексы перспективные для включения в состав земель ООПТ; б) увеличить объем наземных данных по редко встречающимся местообитаниям и тем самым повысить точность геоинформационной модели вероятностной оценки выявления ключевых биотопов модельных территорий.

В качестве прогностических параметров вероятностной оценки выявления ключевых биотопов использовали признаки растительности (определяемые по спектральным характеристикам спутниковых данных) и экотопа (почвенные условия). Такой выбор представляется вполне обоснованным, поскольку именно эти индикаторы, точно отражают особенности рельефа, гидрологии, климата и других природных факторов.

Перечень ключевых биотопов, выбранный в качестве тестовых для разработки геоинформационной модели их вероятностной оценки представлен в таблице 1.

В 2004–2019 гг. в национальном парке «Нарочанский» проведены геоботанические исследования наземных экосистем с геопривязкой заложенных учетных площадок (100–500 м²) при помощи GPS-навигатора, что позволяет использовать собранные данные в тематической обработке спутниковых изображений. В ходе выполнения геоботанических описаний характеризовали местоположения и ярусную структуру растительных сообществ, составляли полные списки видов сосудистых растений и мхов, в ряде случаев выборочно определяли возраст деревьев при помощи бурава Пресслера [3], проводили описания почвенных условий [4], измерение экологических параметров. Также по итогам многолетних исследований составили крупномасштабные (М 1: 60 000 – 1: 100 000) геоботанические карты национального парка и прилегающих территорий [1, 2, 5].

Логическая схема последовательности научно-исследовательских работ по вероятностной оценке пространственного распределения ключевых биотопов на основе наземно-дистанционных данных включает 6 этапов.

1. Подбор исходные данных для геопространственного моделирования.
2. Формирование эталонной и контрольной выборок.
3. Пространственное моделирование. Д
4. Анализ точности вероятностных оценок «сырой модели».
5. Оптимизация геоинформационной модели.
6. Анализ результатов моделирования.

Таблица 1. Перечень исследуемых ключевых биотопов

Код биотопа EUNIS	Наименование биотопа EUNIS	Соответствие биотопам, охраняемым в Беларуси (ТКП 17.12-06-2021)
D1.111	Кочки, гряды и ковры верхового болота	5.1 Верховые болота
D2.39	Ковры с вахтой трехлистной [<i>Menyanthes trifoliata</i>] и сабельником болотным [<i>Comarum palustre</i>]	5.3. Переходные болота
D2.3B	Осоково-гипновые низинные болота	5.9. Низинные осоковые болот
D4.15	Богатые низинные болота с осоками двудомной [<i>Carex dioica</i>] и желтой [<i>C. flava</i>]	5.8. Карбонатные болота
G1.21	Периодически затопляемые ясенево-черноольховые [<i>Fraxinus excelsior</i> , <i>Alnus glutinosa</i>] влажные леса в поймах рек	6.8. Лиственные леса в долинах рек
G3.4211 2	Субконтинентальные сосновые [<i>Pinus sylvestris</i>] лишайниковые леса	6.10. Сосняки лишайниковые
G3.D11	Бореальные сосновые [<i>Pinus sylvestris</i>] багульниковые [<i>Ledum palustre</i>] болотные леса	6.7 Хвойные леса на верховых, переходных и низинных болотах, березовые леса на переходных болотах
G3.D13	Бореальные сосновые [<i>Pinus sylvestris</i>] пушицево-сфагновые болотные леса	
G3.D23	Бореальные сосновые [<i>Pinus sylvestris</i>] сфагновые леса на низинных болотах богатого минерального питания	
G3.D3	Бореальные сосновые [<i>Pinus sylvestris</i>] гипновые леса на низинных болотах	
G5.64	Слабооблесенные верховые болота на ранних стадиях формирования болотных лесов	5.1 Верховые болота
X04	Комплексы растительности на верховом болоте	5.1 Верховые болота

Результаты и обсуждение. С использованием оптимальных пороговых значений вероятностей (оптимальное значение вероятности, выше которого пиксели изображения были однозначно отнесены к соответствующему ключевому биотопу) мы оценили потенциальные площади, занимаемые ключевыми биотопами модельной территории (рисунок 1).

Согласно нашим оценкам, рассматриваемые типы ключевых биотопов суммарно занимают 23,8 тыс. га (4,2% исследуемой территории). Из них наиболее распространенными являются: D2.3B (осоково-гипновые низинные болота) – 10437,7 га или 43,7% от общей площади биотопов модельной группы; D1.111 (кочки, гряды и ковры верхового болота) – 4410,1 га (18,5%); G3.D13 (бореальные сосновые [*Pinus sylvestris*] пушицево-сфагновые болотные леса) – 2131,3 (8,9%); G3.D11 (бореальные сосновые [*Pinus sylvestris*] багульниковые [*Ledum palustre*] болотные леса) – 767,3 га (3,2%).

Сравнение полученных вероятностных оценок с данными наземного обследования показало, что степень соответствия варьирует от 70 до 90,9% в зависимости от биотопа, при среднем значении сходства 82,3% (таблица 2).

Пересечение результатов геопространственного моделирования и возможностей инструментальных геоинформационных систем позволяет создавать картографические тематические продукты, имеющие практическое значение по 3 основным направлениям использования: 1) тематическое картографирование биотопического разнообразия; 2) построение прогнозных моделей на основе местоположений (например, выявления потенциальных мест произрастания редких и охраняемых видов растений); 3) геопространственный анализ и управленческие решения в природоохранных целях (выделение перспективных ООПТ, функциональное зонирование объектов природно-заповедного фонда, проектирование систем мониторинга биоразнообразия).

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В БЕЛАРУСИ

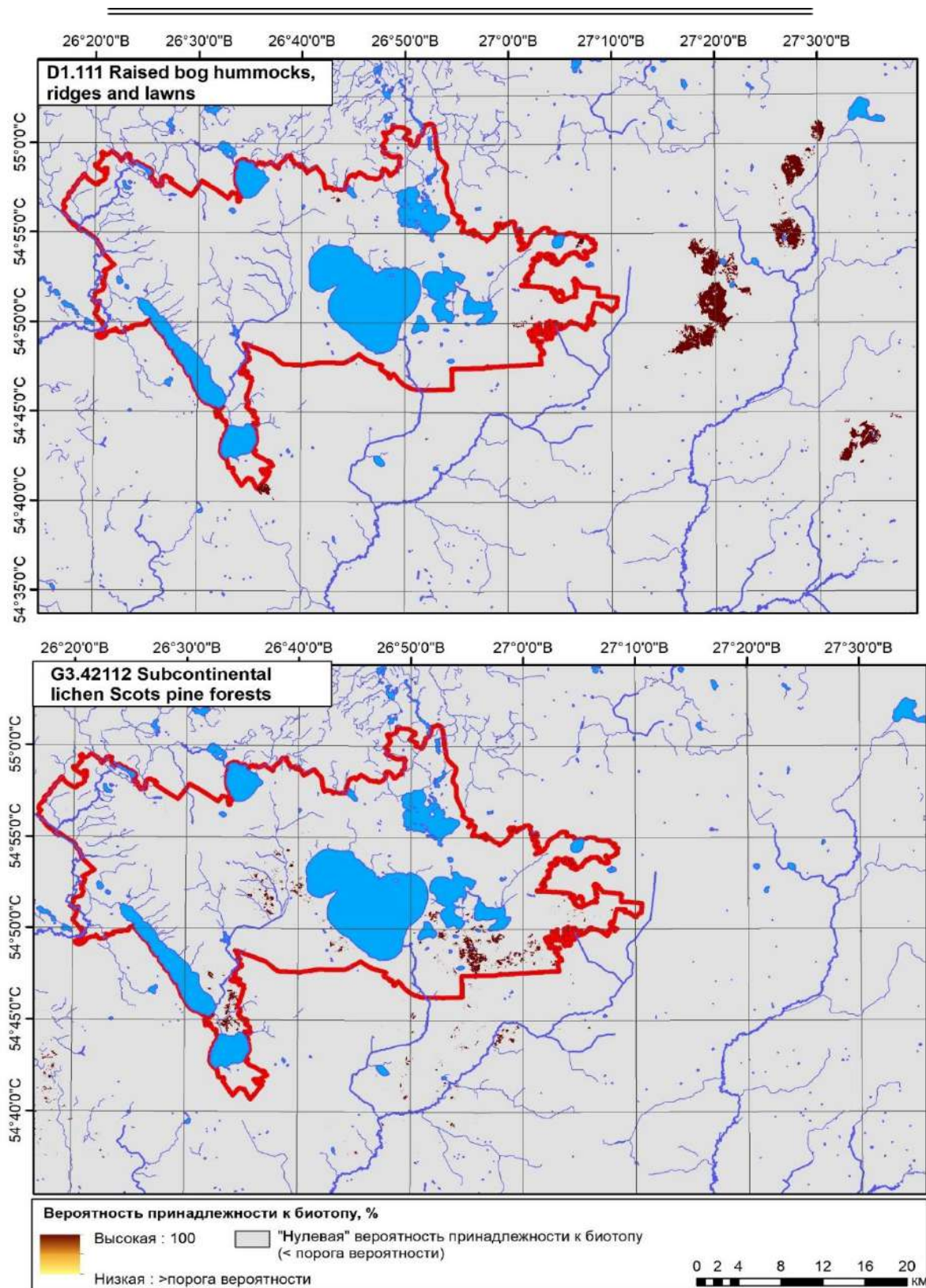


Рис. 1. Вероятностные оценки пространственного распределения модельных биотопов в пределах проектной территории («итоговая модель»)

Примеры таких тематических карт представлены на рисунках 2–4. Анализируя их содержание можно отметить, что значительные площади ключевых биотопов размещены вне границ национального парка «Нарочанский» и маркируют потенциальные места для его территориального развития в ближайшей перспективе.

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В БЕЛАРУСИ

Таблица 2. Сравнительная оценка карт биотопов тестовой выборки на территории национального парка «Нарочанский», полученных по данным наземного обследования и по данным геопространственного моделирования

Код биотопы EUNIS	Площадь		Контрольные точки		Сходимость карт геопространственного моделирования в сравнении с картой биотопов**
	га	%*	общее количество	не совпавших с классом карты биотопов**	
D1.111	515,0	0,6	125	31	75,2
D2.39	49,5	0,1	96	27	71,9
D2.3B	1519,6	1,8	334	59	82,3
D4.15	35,1	<0,1	10	3	70,0
G1.21	1146,5	1,3	56	13	76,8
G3.42112	1475,8	1,7	234	32	86,3
G3.D11	579,1	0,7	245	38	84,5
G3.D13	506,6	0,6	308	50	83,8
G3.D23	88,5	0,1	22	2	90,9
G3.D3	514,3	0,6	170	26	84,7
G5.64	94,4	0,1	122	24	80,3
X04	28,2	<0,1	60	9	85,0
ИТОГО:	6552,6	7,6	1782	314	82,4

* – % от общей площади национального парка;

** – составлена по данным лесоустройства и выборочного наземного обследования

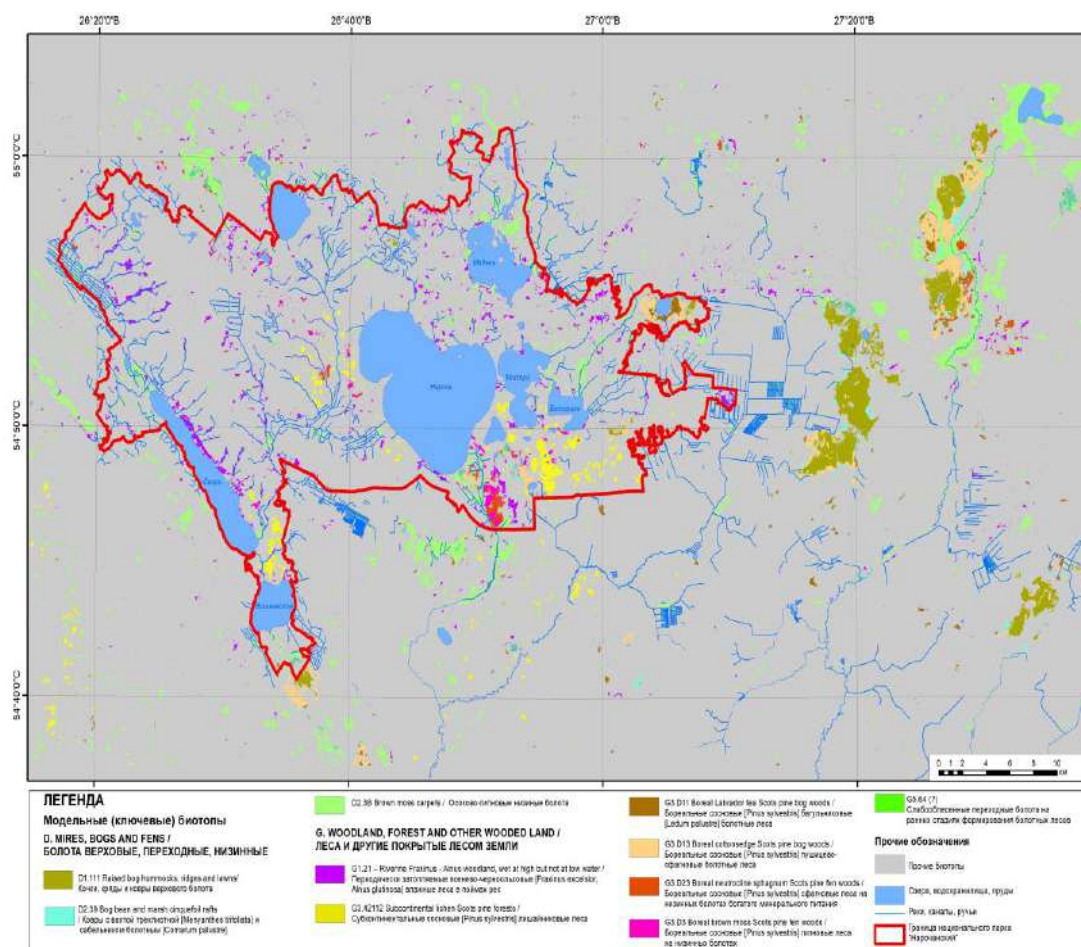
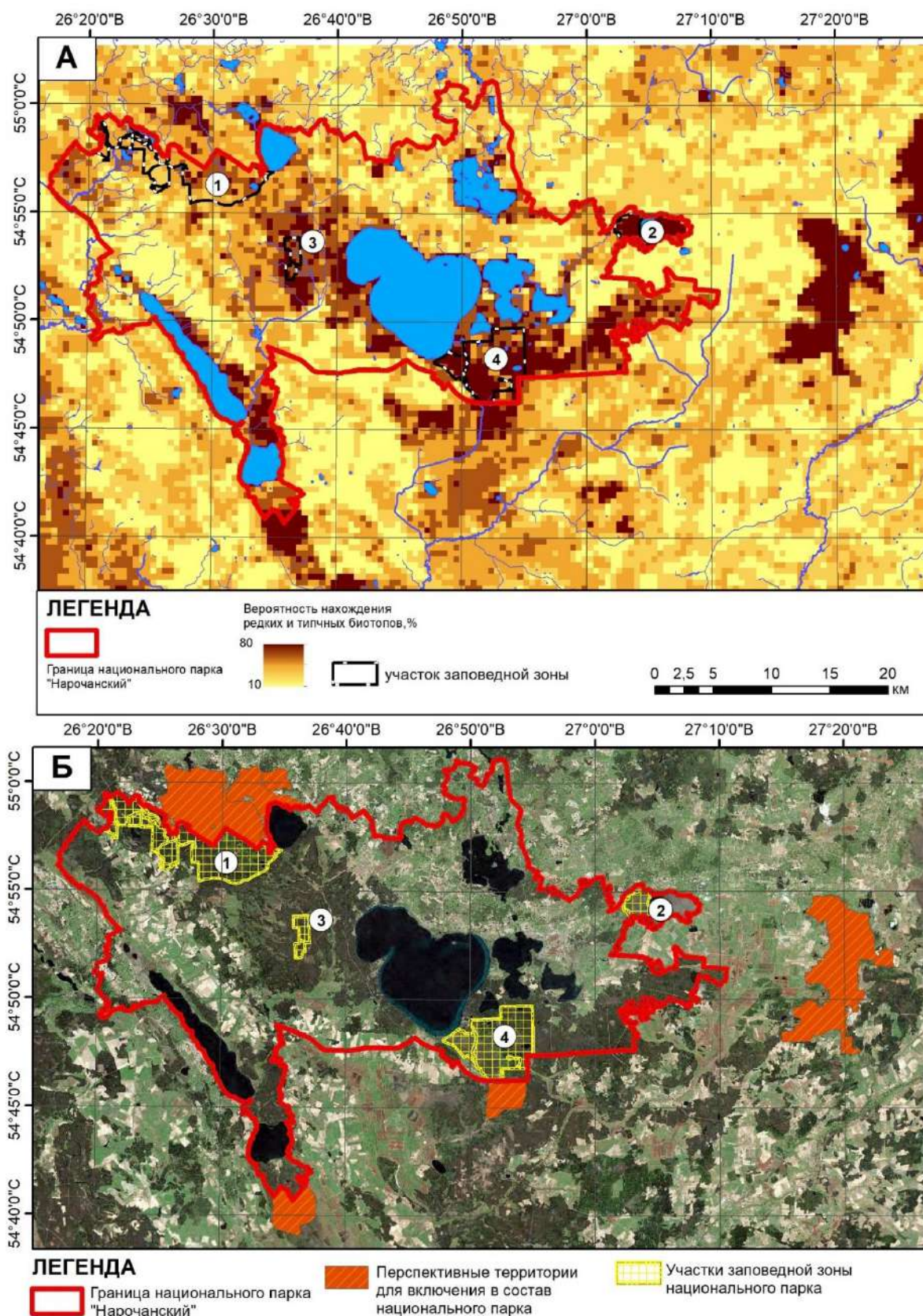


Рис. 2. Карта распространения ключевых биотопов тестовой выборки, составленная на основе геопространственного моделирования

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В БЕЛАРУСИ



В пределах национального парка общая площадь ключевых биотопов составляют 6552,6 га (7,6% площади ООПТ) и основные места их концентрации приурочены к южному сектору. Важные для сохранения биоразнообразия местообитания вне границ национального парка размещены преимущественно к востоку и югу (см. рисунок 3а). Эти участки целесообразно рассматривать в качестве перспективных для включения в состав данного ООПТ (см. рисунок 3б).

Результаты моделирования также могут быть использованы для прогнозирования распространения редких видов растений. В качестве тестовых объектов были использована 2 группы охраняемых видов.

1. *Betula humilis*-Gr: *Dactylorhiza ochroleuca* (II категория национальной природоохранной значимости), *Liparis loeselii* (II), *Baeothryon alpinum* (III), *Betula humilis* (III), *Listera ovata* (IV), *Salix lapponum* (IV). Местообитания этой тестовой группы видов приурочены к низинным осоковым болотам и сфагновым болотам богатого минерального питания (коды биотопов EUNIS – D2.39, D2.3B, D4.15, G3.D23, G3.D3).

2. *Охуссус microcarpus*-Gr: объединяет редкие олиготрофные виды, характерные для высоких кочек и гряд: *Охуссус microcarpus* (IV), *Rubus chamaemorus* (II). Биотопы *Охуссус microcarpus*-Gr приурочены к верховым сфагновым болотам (коды биотопов EUNIS – D1.111, G3.D11, G3.D13, G5.64).

При создании прогнозной карты потенциальных мест произрастания охраняемых видов растений вероятностная модель распространения ключевых биотопов преобразована в тематический растровый слой характеризующий исследуемую территорию по оценке пригодности местопроизрастания растений (*Betula humilis*-Gr и *Охуссус microcarpus*-Gr). Затем была проведена стратификация проектной территории на основе регулярной сети (размером ячейки 0,5×0,5 км) по их вероятности распространения (см. рисунок 4). Полевая проверка показала достаточно высокую сходимость результатов геопроостранственного моделирования и эмпирических данных (рисунок 5).

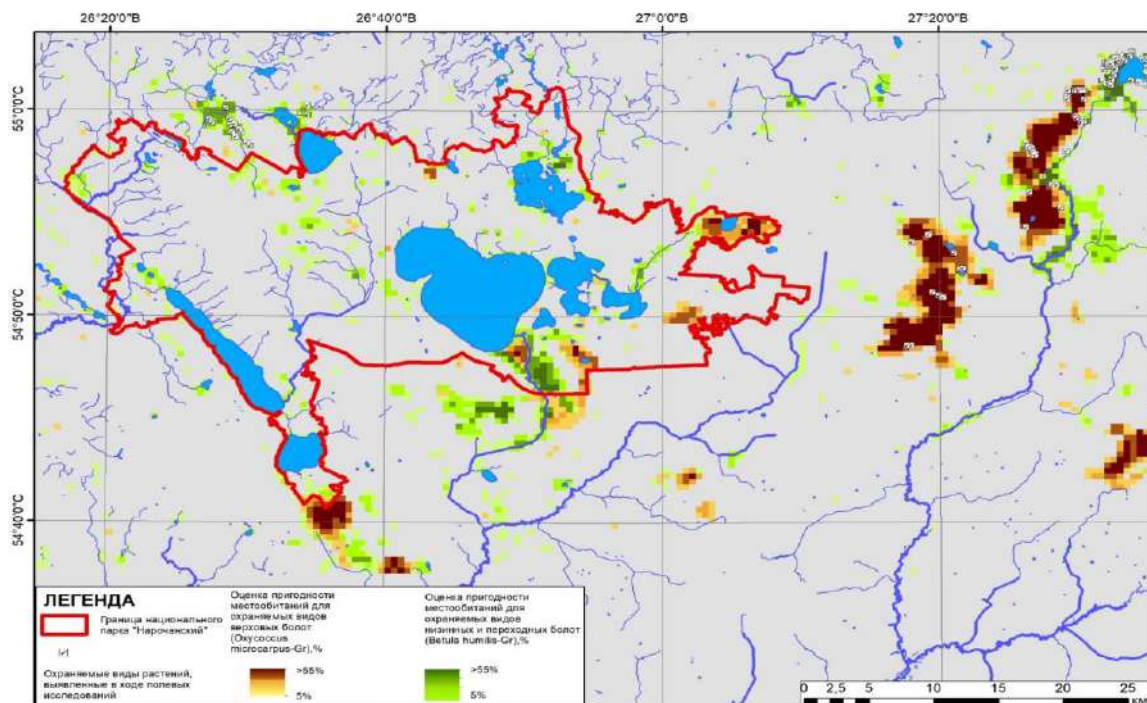
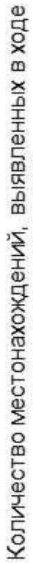


Рис. 4. Карты-ниши потенциальных мест произрастания охраняемых видов растений, составленные с использованием геопроостранственной вероятностной модели



Вероятность нахождения редких и охраняемых видов *Betula humilis*-Gr (по данным геопространственного моделирования), %

В наших исследованиях результатом моделирования являются вероятностные оценки пространственного распространения ключевых биотопов на основе комбинации данных наземных обследований, серии спутниковых изображений и почвенных характеристик местности, включая определение оптимального состава исходных индикаторов (признаков) и степени надежности получаемых результатов.

Результаты геопространственного моделирования с применением геоинформационных систем позволяют создавать прогнозные тематические карты, для развития территориальной системы охраны окружающей среды, мониторинга биоразнообразия.

1. Груммо, Д. Г. Растительность республиканского гидрологического заказника «Сервечь» / Д. Г. Груммо [и др.] // Веснік Гродзенскага дзяржаўнага ўніверсітэта імя Янкі Купалы. – Серыя 5. Эканоміка, Сацыялогія, Біялогія. – Том 11, № 1. – 2021. – С. 110–125.

60

родных территорий: геоинформационные системы, дистанционное зондирование земли: сборник научных статей. – Минск, 2019. – С. 16–33.

3. Методические подходы к экологической оценке лесного покрова в бассейне малой реки / Отв. ред. Заугольнова Л. Б. и Браславская Т. Ю. – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2010. – 240 с.

4. Полевая геоботаника / Под общ. ред. Е. М. Лавренко и А. А. Корчагина. – Москва; Ленинград: Изд-во Акад. наук СССР, 1959-1964. – Т 1–5.

5. Растительность и биотопы национального парка «Нарочанский» с картой наземной растительности (М 1:60 000) и картой биотопов (М 1:60 000) / Д. Г. Груммо [и др.]; под ред. А. В. Пугачевского. – Минск: Колорград, 2017. – 82 с.

О ПРИМЕНЕНИИ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ

М. В. Мальцев, Ю. С. Харин

НИИ прикладных проблем математики и информатики БГУ, Минск

Машинное обучение (machine learning) объединяет в себе методы и алгоритмы, позволяющие автоматически выявлять закономерности в данных и затем использовать обнаруженные закономерности для решения различных задач: прогнозирования, классификации и кластеризации, обнаружения аномалий и т.д. [1]. Одним из наиболее перспективных и активно развивающихся методов машинного обучения являются искусственные нейронные сети (ИНС) [2]. Применение ИНС позволило значительно улучшить качество распознавания речи и изображений, существенно продвинуться в ряде задач биоинформатики, создать системы искусственного интеллекта, способные на сопоставимом с человеком уровне управлять автомобилем и играть в интеллектуальные игры. Закономерно, что интерес к ИНС как к эффективному инструменту решения самых разнообразных задач появился и в криптографическом сообществе.

Идеи использовать машинное обучение в криптологии высказывались еще в начале 90-х годов Ривестом [3], но широкое распространение они получили в последнее десятилетие вследствие развития методов обучения ИНС, появления новых архитектур, роста вычислительных мощностей. ИНС, используя большие объемы информации, позволяют выявлять скрытые закономерности в данных сложной структуры, что способствует их применению в задачах криптоанализа [4–8]. Отметим, что в открытой печати, как правило, анализируются упрощенные версии криптографических алгоритмов. Например, в работе [4] для алгоритма SDES (упрощенная версия алгоритма DES) исследовалось преобразование открытого текста в шифртекст с помощью нейронного криптоанализа. Построенная нейронная сеть смогла выявить уязвимости в одном из используемых S-блоков и получить правильные значения для некоторых бит ключа. В работе [5] нейронные сети использовались для повышения эффективности дифференциального криптоанализа алгоритма Speck32/64. В работе [8] – одной из первых, посвященных криптоанализу блочных шифров с помощью нейронных сетей, – исследовалась возможность восстановления ключа для криптосистем, основанных на сети Фейстеля.

Широко применяется машинное обучение в атаках по сторонним каналам, использующих особенности реализации криптосистем на физическом уровне. Для этих задач используются такие методы как глубокие нейронные сети [9], метод опорных векторов [10], генеративно-состязательные нейронные сети [11]. В работе [12] для построения атак по сторонним каналам рассматривались различные архитектуры нейронных сетей, наибольшую эффективность показали сверточные ИНС.

В статье [13] предложен поточный шифр на основе нейронной сети, в [14] – функция хэширования. В [15] нейронные сети применяются для анализа генераторов случайных числовых последовательностей. Ряд статей посвящен применению машинного обучения в стеганографии: работы [16, 17] посвящены методам стегоанализа на основе нейронных сетей, в статьях [18, 19] ИНС применяются для встраивания секретной информации в контейнер.

Таким образом, машинное обучение и ИНС обладают высоким потенциалом для их применения в задачах защиты информации – как за счет повышения эффективности существующих методов, так и путем создания на основе ИНС новых методов анализа.

Список использованных источников

1. Murphy, K. P. Machine Learning: a Probabilistic Perspective. – Cambridge University Press, 2013. – 1104 p.
2. Николенко, С. Глубокое обучение / С. Николенко, А. Кадурын, Е. Архангельская. – СПб.: Питер, 2018. – 480 с.
3. Rivest, R. L. Cryptography and machine learning / R. L. Rivest // Advances in Cryptology. ASIACRYPT 91. – 1991. – P. 427–439.
4. Danziger, M. Improved cryptanalysis combining differential and artificial neural network schemes / M. Danziger, M. Henriques // 2014 Intern. telecommunications symp. (ITS), IEEE, 2014. – P. 1–5.
5. Gohr, A. Improving attacks on round-reduced speck32/64 using deep learning / A. Gohr // Advances in cryptology, CRYPTO-2019. – 2019. – P. 150–179.
6. Laskari, E. Cryptography and cryptanalysis through computational intelligence / E. Laskari, G. Meletiou, Y. Stamatou, M. Vrahatis // Computational Intelligence in Information Assurance and Security, Springer. – 2007. – P 1–49.
7. Chou, J. On the effectiveness of using state-of-the-art machine learning techniques to launch cryptographic distinguishing attacks / J. Chou, S. Lin, C. Cheng // Proceedings of the 5th ACM workshop on Security and artificial intelligence. ACM, 2012.
8. Albassal, A. Neural network based cryptanalysis of a feistel type block cipher / A. Albassal, A. Wahdan // International Conference on Electrical, Electronic and Computer Engineering, 2004. ICEEC'04, 2004. P. 231–237.
9. Lerman, L. Power analysis attack: an approach based on machine learning / L. Lerman, G. Bontempi, O. Markowitch // Intern. J. of Applied Cryptography. – Vol 3(2). – 2014. – P. 97–115.
10. Bartkewitz, T. Efficient Template Attacks Based on Probabilistic Multi-class Support Vector Machines / T. Bartkewitz, K. Lemke-Rust // Springer Berlin Heidelberg – 2013. – P. 263–276.
11. Ping, W. Enhancing the Performance of Practical Profiling Side-Channel Attacks Using Conditional Generative Adversarial Networks / W. Ping, C. Ping, L. Zhimin, D. Gaofeng, Z. Mengce, Y. Nenghai, H. Honggang // Cryptology ePrint Archive, Paper 2020/867. – 2020.
12. Picek, S. On the Performance of Convolutional Neural Networks for Side-channel Analysis / S. Picek, I. P. Saiotis, A. Heuser, J. Kim, S. Bhasin, A. Legay. – Cryptology ePrint Archive, Paper 2018/004. – 2018.
13. Long, H. Stream Cipher Method Based on Neural Network / H. Long // Proceedings of the 2012 National Conf. on Information Technology and Computer Science, CITCS. – 2012. – P. 414–417.
14. Lian, S. One-way Hash Function Based on Neural Network / S. Lian, J. Sun, Z. Wang. – 2007. – arXiv:0707.4032.
15. Truong, N.D. Machine learning cryptanalysis of a quantum random number generator / N. D. Truong, J. Y. Haw, S. M. Assad, P. K. Lam, O. Kavehei // IEEE Transactions on Information Forensics and Security, 14(2). – 2018. – P. 403–414.
16. Qian, Y. Deep learning for steganalysis via convolutional neural networks / Y. Qian, J. Dong, W. Wang, T. Tan // SPIE/IS&T Electronic Imaging, P 94090J–94090J. International Society for Optics and Photonics. – 2015.
17. Pibre, L. Deep learning is a good steganalysis tool when embedding key is reused for different images, even if there is a cover source mismatch // L. Pibre, J. Pasquet, D. Ienco, M. Chaumont // Electronic Imaging, 2016 (8). – 2016. – P. 1–11.
18. Jarušek, R. Neural network approach to image steganography techniques // R. Jarušek, E. Volna, M. Kotyrba // Mendel 2015, Springer. – 2015. – P. 317–327.
19. Baluja, S. Hiding images in plain sight: Deep steganography / S. Baluja // Advances in Neural Information Processing Systems 30. Curran Associates, Inc. – 2017. – P. 2069–2079.

КОМПЛЕКС СРОДКАЎ РЭАЛІЗАЦЫІ ЗАДАЧ ШТУЧНАГА ІНТЭЛЕКТУ ДЛЯ БЕЛАРУСКОЙ МОВЫ

Ю. С. Гецэвіч, Я. С. Зяноўка, А. С. Трафімаў, А. А. Бакуновіч, Д. І. Латышэвіч,
А. Я. Драгун, М. М. Слесарава, М. С. Тукай

Аб'яднаны інстытут праблем інфарматыкі НАН Беларусі, Мінск

Уводзіны. Хуткае развіццё IT-сферы спрыяе новым дасягненням і імкненню ўдасканалваць, мадэрнізаваць і аўтаматызаваць сучаснае грамадства. Праблема штучнага інтэлекту (ШІ), якая закранае такія сферы дзейнасці, як робататэхніка, машыннае навучанне, віртуальная рэальнасць, апрацоўка вялікіх аб'ёмаў даных і інш., пашырае навуковыя даследаванні і садзейнічае развіццю перспектывных практычных рэалізацый. Асноўныя тэндэнцыі развіцця ШІ, якія склаліся ў цяперашні час у сусветным навуковым асяроддзі, перспектывы далейшага развіцця і важнасць удзелу ў навуковай і даследчай працы, дыкуюць галоўныя прыярытэты і напрамкі дзейнасці па павышэнню эфектывнасці распрацовак, якія ажыццяўляюцца ў названых сферах дзейнасці на тэарэтычным і практычным узроўнях. Праграма сацыяльна-эканамічнага развіцця РБ накіравана на інтэлектуалізацыю вытворчасцяў, распрацоўку, паляпшэнне і распаўсюджванне беларускай прадукцыі. Адным з важных пунктаў з'яўляецца заахвочванне распрацовак у галіне перспектывных метадаў штучнага інтэлекту, накіраваных на стварэнне прынцыпова новай навукова-тэхнічнай прадукцыі, у тым ліку на распрацоўку ўніверсальнага (моцнага) штучнага інтэлекту, здольнага думаць, ўзаемадзейнічаць і адаптавацца да зменлівых умоў. Дадзеная мэта рэалізуецца з дапамогай Міжведамаснага даследчага цэнтру штучнага інтэлекту, які быў створаны ў 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 [1]. Цэнтр аб'ядноўвае намаганні спецыялістаў у галіне разнастайных навук для стварэння перадавых і канкурэнтаздольных тэхналогій штучнага інтэлекту і стварае ўмовы для выканання навукова-даследчых праектаў у галіне штучнага інтэлекту, што рэалізуюцца як у рамках дзяржаўных праграм навуковых даследаванняў, так і з прыцягненнем недзяржаўных інвестыцый.

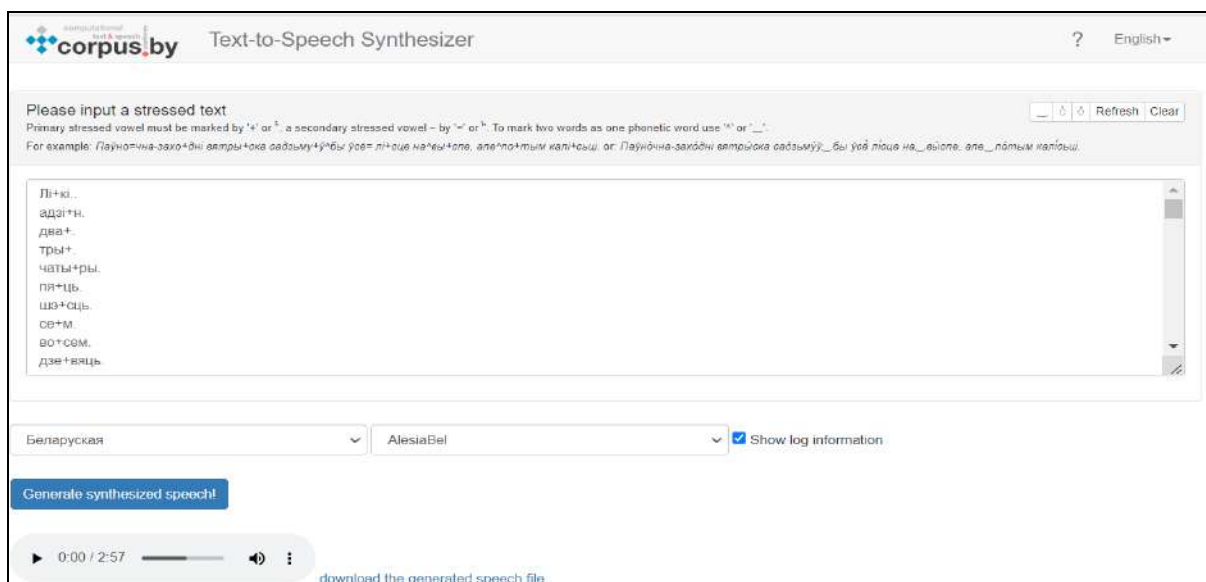
У дадзеным накірунку працуе лабараторыя распазнавання і сінтэзу маўлення АПП НАН Беларусі [2], галоўным навуковым прыярытэтам якой з'яўляецца распрацоўка тэорыі і алгарытмаў маўлення ўзаемадзеяння “чалавек-машына” на аснове глыбокага лінгвістычнага аналізу маўлення і тэксту. Стварэнне прынцыпова новай навукова-тэхнічнай прадукцыі для беларускай мовы, у тым ліку распрацоўка ўніверсальных метадаў, алгарытмаў і прататыпаў, здольных апрацоўваць натуральную мову і маўленне, садзейнічае іх прымяненню ў самых розных галінах навукі, прамысловасці і іншых відаў дзейнасці [3].

Інтэрнэт-платформа для апрацоўкі тэкставай і гукавой інфармацыі для розных тэматычных даменаў. Адной з падзадач штучнага інтэлекту з'яўляецца аўтаматызаваная апрацоўка тэкстаў вялікіх аб'ёмаў, якая атрымала асаблівую актуальнасць. Высокая хуткасць росту колькасці даступнай інфармацыі змушае ўдасканалваць спосабы яе апрацоўкі, рэалізоўваць частковую ці поўную аўтаматызацыю гэтых працэсаў. Прымяненне камп'ютарных тэхналогій для распрацоўкі сістэм, здольных аўтаматычна апрацоўваць электронныя тэксты, дазволіла супрацоўнікам лабараторыі стварыць інтэрнэт-платформу для апрацоўкі тэкставай і гукавой інфармацыі для розных тэматычных даменаў Corpus.by [4], якая дапамагае рашаць мноства задач, звязаных з апрацоўкай электронных тэкстаў і маўленчых

сігналаў. Платформа ўяўляе сабой набор розных сэрвісаў (дакладная колькасць – 74), якія накіраваны на мэтавую аўдыторыю (праграмісты, лінгвісты, філолагі, студэнты, выкладчыкі і г.д.), забяспечваючы прасты і ўстойлівы доступ да сродкаў і інструментаў апрацоўкі электроннага тэксту для аналізу, даследавання або аб'яднання такіх набораў даных на беларускай, рускай і англійскай мовах. Прынцып функцыянавання corpus.by заключаецца ў адпаведнасці “ўваходныя даныя-выніковыя даныя”, дзе карыстальнік уводзіць тэкставую інфармацыю і на выхадзе мае апрацаваныя вынікі. Падыход да распрацоўкі сэрвісаў палягае ў тым, каб карыстальнік мог па ўведзеных тэставых даных запусціць сэрвіс адной кнопкай і азнаёміцца з вынікамі яго працы. Далей карыстальніку прапаноўваецца самастойна выкарыстаць сэрвіс з уведзенымі ўласнымі данымі і выстаўленымі ўласнымі настройкам.

У аснову кожнага сэрвіса пакладзены асобныя прыёмы і метады фармалізацыі і матэматычнага мадэлявання феноменаў як натуральных, так і штучных (фармальных) моў. Алгарытмізацыя і аўтаматызацыя апрацоўкі фармальна-матэматычных мадэлей, увасабленых у інфармацыйна-тэхналагічных комплексах, рэалізуюцца на аснове фармальных правілаў і граматык, якія адказваюць за лінгвістычную напauняльнасць сэрвісаў.

Сінтэз маўлення па тэксце на беларускай мове. Акрамя апісанага сэрвіса платформа прадастаўляе інструменты для такенізацыі, марфалагічнага аналізу, агучвання электроннага граматычнага слоўніка, пошуку амонімаў, падліка частотнасці сімвалаў і слоў, праверкі арфаграфіі, сэрвісы па распазнаванні маўлення і эмоцый і многіх іншых. Варта адзначыць і беларускамоўную анлайн-версію сінтэзатара маўлення па тэксце, якая знаходзіцца ў адкрытым доступу [5]. Сістэма рэалізавана на бясплатнай і найбольш распаўсюджанай у Інтэрнэце скрыптавай мове праграмавання PHP. Яна аўтаматычна апрацоўвае ўваходны тэкст на трох мовах (беларускай, рускай і англійскай з беларускім акцэнтам) і фарміруе гукавы файл, які можна праслухаць, спампаваць і захаваць на камп'ютар. Знешні інтэрфейс інтэрнэт-сінтэзатара маўлення паказаны на малюнку 1.



Мал. 1. Знешні інтэрфейс інтэрнэт-версіі сінтэзатара маўлення па тэксце

Лінгвістычная апрацоўка тэксту рэалізавана на высокім узроўні. Невядомыя словы чытаюцца па складах, а словы, напісаныя вялікімі літарамі, вымаўляюцца карэктна. Правільна гучаць складаныя фанетычныя словы: «прыназоўнік+слова», «сло-

ва+часціца». Аднак карэктная апрацоўка спецыфічных токенаў (лікаў, дат, скарачэнняў, адзінак вымярэння, абрэвіятур і інш.) на дадзены момант адсутнічае.

Па ходу пераўтварэння электроннага тэксту ў маўленчы сігнал сінтэзатар генеруе мноства прамежкавых вынікаў. Сярод іх нармалізаваны тэкст, фанемны запіс тэксту, запіс тэксту ў алафонным выглядзе і інш. (мал. 2). Гэтыя вынікі ў сваю чаргу могуць быць выкарыстаны для вырашэння шэрагу іншых камп'ютарна-лінгвістычных задач. Адной з іх з'яўляецца атрыманне транскрыпцыі слоў і цэлых тэкстаў у 4 фарматах: кірылічная, міжнародная (IPA), спрошчаная міжнародная і X-SAMPA. Акно «Токены» адлюстроўвае групіраванне сімвалаў па прыкмеце прыналежнасці да аднаго з 5 відаў сімвалаў: *alphabet* (сімвалы мэтавага алфавіту – мовы, абранай для сінтэзавання); *letters* (любыя іншыя літары (не мэтавага алфавіту)); *digits* (лічбы); *whitespaces* (прабельныя сімвалы: прабел, перавод радка, табуляцыя і інш.); *character* (іншыя сімвалы).

The screenshot displays a web-based interface for linguistic analysis. It features several sections with dropdown menus and text input fields:

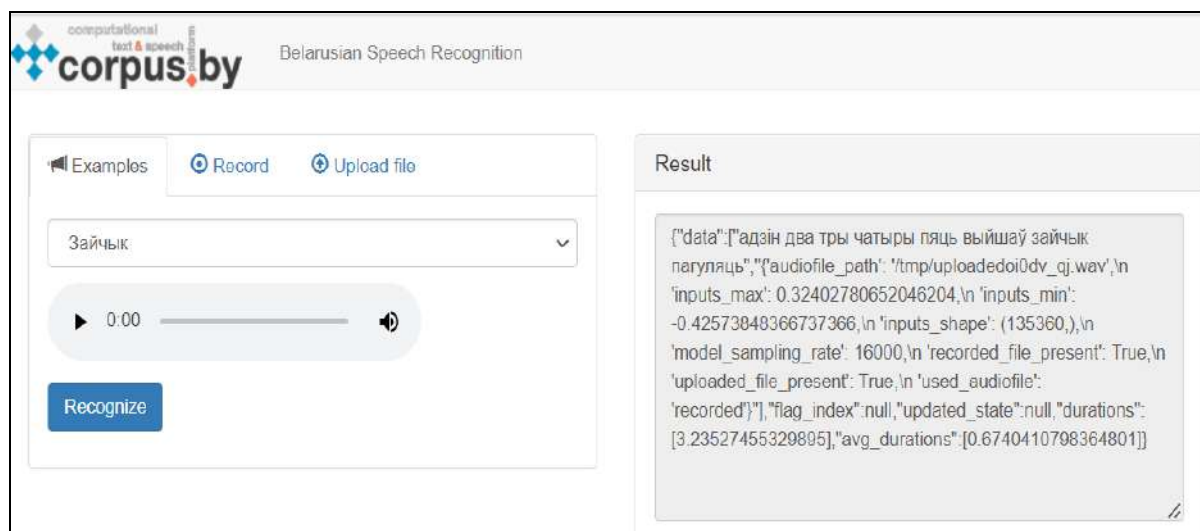
- Homographs (change to UTF-8 after downloading):** Includes a dropdown menu with options like 'вугравозал', 'бака', 'паўночна-заходні', 'былі', and 'гапіны'.
- Intonation markers (change to UTF-8 after downloading):** Includes a dropdown menu with options like 'лi+Kl', '(p4)', '(p4)', '(p4)', and 'АДЗi+H'.
- Phonemic text (change to UTF-8 after downloading):** Includes a text input field with the value 'Enter text'.
- Allophonic text (change to UTF-8 after downloading):** Includes a text input field with the value 'L'002,1043,K'002,1340,/#P4, A203,DZ'002,1042,N000,/#P4, D001,V001,A010,/#P4, T002,R022,Y020,/#P4, CH002,A222,T001,Y022,R002,Y320,/#P4'.
- Allophone characteristics (change to UTF-8 after downloading):** Includes a text input field with the value 'L'0021043(204ms;8000hz) K'002(69ms;8000hz) 1340(45ms;8000hz) #C3(53ms;8000hz) #P4(1176ms;8000hz)'.

Мал. 2. Прамежкавыя вынікі аналізу ўваходнага тэксту

У акне «Тэкст» выводзяцца даныя аб усіх словах, знойдзеных сістэмай у тэксце: вызначаныя часціны мовы і тэгі, якія з'яўляюцца скарачаным абазначэннем марфалагічных прыкмет слова. Акно «Токены з націскамі» прадастаўляе спіс слоў з прадастаўленымі карыстальнікам націскамі, а «Невядомыя токены» – спіс слоў, якія адсутнічаюць у базе даных сістэмы. Інфармацыя аб словах, якія маюць неадназначную пазіцыю націска, прадстаўлена ў палі «Амографы». Спрабуючы вызначыць пазіцыю націска ў слове, сінтэзатар маўлення правярае кожнае слова ўваходнага тэксту на наяўнасць некалькіх спосабаў іх прачытання паводле наяўнай інфармацыі ў слоўніках. Адбываецца пошук слоў з аднолькавым напісаннем і рознымі націскамі. У акне «Інтанацыйныя пазнакі» карыстальнік атрымлівае інфармацыю пра інтанацыйную разметку. Вокны «Фанемны тэкст», «Алафонны тэкст» прадстаўляюць карыстальніку спіс слоў у фанемным і алафонным выглядзе адпаведна. А ў акне «Характарыстыкі алафонаў» можна пабачыць працягласці і частоты алафонаў.

Распазнаванне маўлення і гучу. Акрамя сістэм сінтэзу маўлення, лабараторыя таксама актыўна праводзіць даследаванні ў галіне распазнавання беларускага маўлення і галасоў птушак. Распазнаванне маўлення мае вялікія навуковыя перспектывы і шырокія магчымасці прымянення ў шматлікіх сістэмах «чалавек-машина», якія

будуюцца на аснове маўленчых зносін. Распазнаванне беларускага маўлення дасць магчымасць паўнавартаснага развіцця беларускіх тэхнічных навук, у тым ліку робататэхнікі. Асноўныя вынікі прадстаўлены ў двух сэрвісах. Гэта “Тэматычнае распазнаванне маўлення” [6] і “Распазнаванне беларускага маўлення” [7]. Яны дазваляюць карыстальніку пераўтварыць маўленне ў электронны тэкст анлайн. Інтэрфейс абодвух сэрвісаў падобны (мал.3). Карыстальнік мае магчымасць праслухаць прыклады, якія маюцца ў базе даных, запісаць фанаграму для распазнавання ці загрузіць гатовы аўдыяфайл з камп’ютара ў фармаце .wav. Пасля запуску апрацоўкі аўдыяфайла сістэма выдае вынік ў выглядзе анлайн-тэкста.

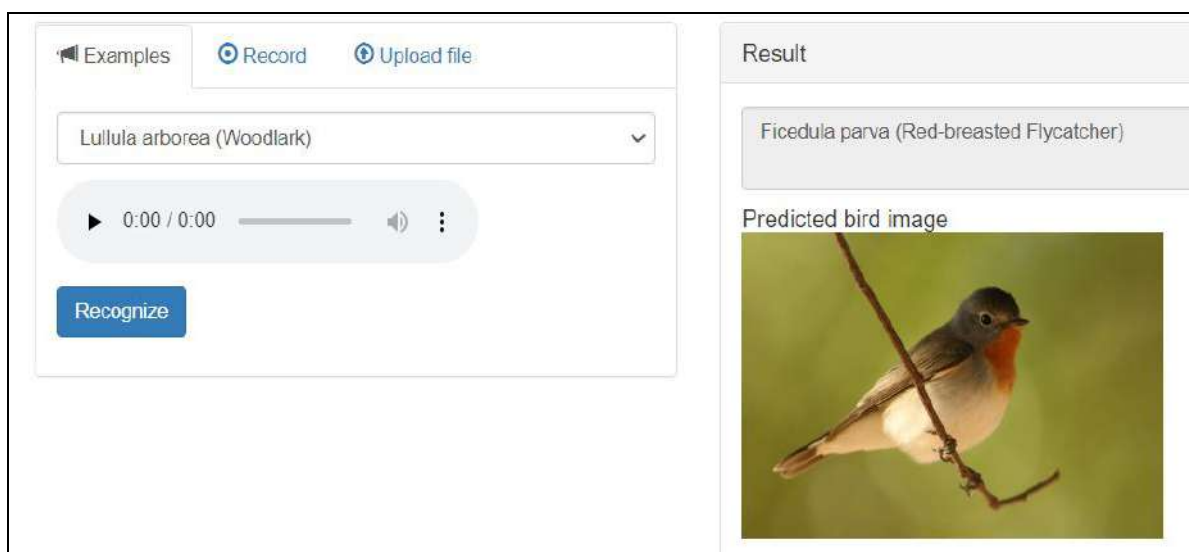


Мал. 3. Інтэрфейс сэрвіса “Распазнаванне беларускага маўлення”

Сэрвіс “Тэматычнае распазнаванне маўлення” апрацоўвае фанаграмы маўленчых слоў тэматычных даменаў (вопратка, гарады, лікі, колеры, напрамкі і інш.) памерам ня больш за 20 MB. На выхадзе сэрвіс выдае распазнаны электронны тэкст. Галоўным недахопам сістэмы з’яўляецца абмежаваная колькасць распазнавання слоў (толькі тыя словы, што ўваходзяць ў базу даных сістэмы). На гэта ўплывае малы памер і варыятыўнасць датасэта, па якім ацэньваецца прататып. Сэрвіс “Распазнаванне беларускага маўлення” заснаваны на end-to-end архітэктурцы з выкарыстаннем глыбокага навучання. Сістэма распрацавана на базе трэніроўкі і аналізу сабранага датасэту, падчас збора якога ўлічваліся наступныя пункты: высокая варыятыўнасць сабраных аўдыяфайлаў адносна дыктараў (пол, узрост, тэмп маўлення, іншыя асаблівасці вымаўлення), ўмоваў запісаў (розныя мікрафоны, наяўнасць фонавага шуму, інш.). Даденыя асаблівасці дазваляюць навучыць сістэму распазнавання маўлення працаваць ва ўмовах, набліжаных ды тых, з якімі гэтым сістэмам давядзецца працаваць у штодзённым жыцці. Агульная працягласць сабраных аўдыязапісаў на сённяшні дзень складае 987 гадзін (з іх 903 правэрана), а ў агучванні тэкстаў прыняло ўдзел 6’160 дыктараў. Гэта першы з падобных датасэтаў настолькі вялікага памеру для беларускай мовы. Сістэма распазнае адвольны тэкст з даволі высокім узроўнем якасці (Test WER = 0.124 або 12.4 %; для параўнання цяперашняе найлепшае значэнне test WER для нямецкага датасэту Common Voice роўнае 5.7).

Ідэнтыфікацыя гукаў жывёл ва ўсёй іх дзікай прыгажосці – гэта вельмі складаная задача. З-за мноства варыяцый гукавых сігналаў розных відаў птушак узнікае праблема іх распазнавання. Зварот да спецыялістаў-арнітолагаў для пошуку і абазначэння той ці іншай пароды патрабуе шмат часу і намаганняў, што прыводзіць да ручной апрацоўкі аўдыяфайлаў. Гэтым даказваецца зацікаўленасць навукоўцаў у стварэнні сістэмы аўтаматызаванага распазнавання галасоў жывёл (на прыкладзе птушак) у цэлым. У рамках

сумеснага праекту з НПЦ НАН Беларусі па біярэсурсах «Распрацоўка тэхналогіі аўтаматызаванага распазнавання галасавых сігналаў жывёл для ажыццяўлення аўтаномнага бесперапыннага маніторынгу рэдкіх відаў з пагрозамі і індыкатарных відаў і стану біяразнастайнасці ў лясных экасістэмах» супрацоўнікі лабараторыі распазнавання і сінтэзу маўлення АПП НАН Беларусі стварылі прататып сістэмы аўтаматызаванага распазнавання галасавых сігналаў жывёл для ажыццяўлення аўтаномнага бесперапыннага маніторынгу рэдкіх відаў з пагрозамі, індыкатарных відаў і стану біяразнастайнасці ў лясных экасістэмах [8]. Актуальнасць стварэння такой сістэмы абумоўлена тым, што ўсе існуючыя распрацоўкі па распазнаванні відаў жывёл не падыходзяць для птушак Беларусі, і толькі некаторыя з іх здольныя распазнаваць гукавыя сігналы відаў Еўропы, якія таксама закранаюць дадзены праект.

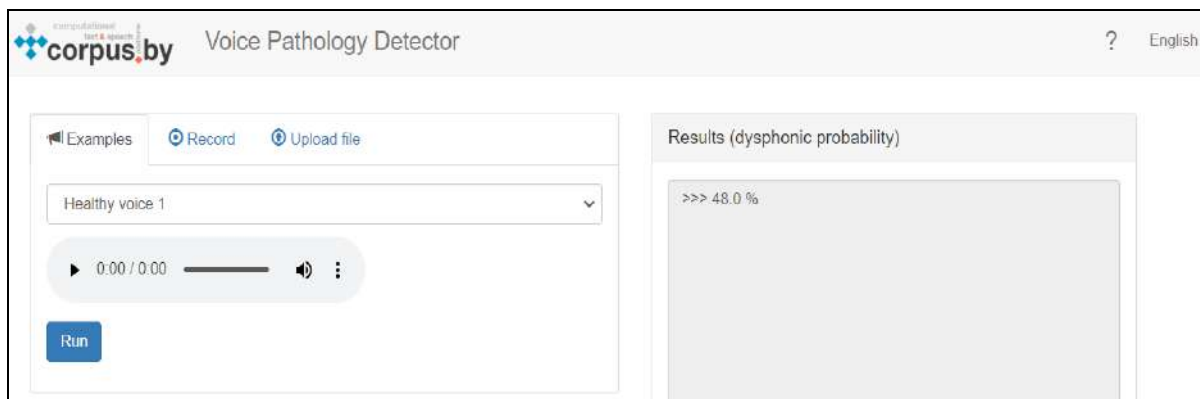


Мал. 4. Інтэрфейс сэрвіса “Распазнаванне галасоў птушак”

Інтэрфейс прыкладання складаецца з двух палей (мал. 4). Першае поле дазваляе выбраць прыклад галаса птушкі з базы даных ва ўкладцы “Прыклады”, запісаць свой асобны файл з дапамогай укладкі “Запісаць”, ці загрузіць аўдыя з камп’ютара. Акно для праслухоўвання аўдыяфайла прадстаўляе магчымасць спампаваць праслуханы аўдыяфайл. Пасля націскання кнопкі “Вызначыць” адбываецца апрацоўка файла і поле “Вынік” адлюстроўвае назву прадказанай птушкі з яе выявай. Нягледзячы на тое, што распрацоўка і выкарыстанне аўтаматызаванай сістэмы палягчае працэс распазнавання, сама сістэма мае праблемы дакладнасці распазнавання, якія плануецца выправіць у бліжэйшы час. Праграмнае забяспечанне для вызначэння віду жывёл (на прыкладзе птушак) па галасавых сігналах грунтуецца на матэматычных мадэлях, якія пры недастатковай навучанасці могуць зрабіць вылічальную памылку па вызначэнні неабходнага біялагічнага віду. Таму наступным этапам даследавання з’яўляецца дапрацоўка доследнага ўзору праграмнага забеспячэння баз даных для захавання, выдачы і апрацоўкі галасавых сігналаў жывёл з даступных і ўласных крыніц пасля яго тэсціравання. Прадстаўлены рэсурс прыдатны для шырокага выкарыстання ў навуковых і практыка-арыентаваных даследаваннях, якія патрабуюць апрацоўкі вялікіх аб’ёмаў даных на розных узроўнях.

Адзін з інструментаў па апрацоўцы маўлення, прадстаўленых на платформе, з’яўляецца сэрвіс “Вызначэнне паталогій голасу” (мал. 5) [9]. Ён накіраваны на праверку голасу чалавека на наяўнасць паталогій (захворванняў) для палягчэння дыягнаставання, лячэння і правядзення назіранняў з мэтай аптымізацыі дадзенага працэсу. На сённяшні дзень у гэтай галіне выкарыстоўваюцца праграмна-апаратныя

сродкі. Аднак, невялікі шэраг распрацовак ўяўляе сабой клінічную сістэму аналізу галасоў, здольных не толькі весці вылічэнне характарыстык галасу, але і праводзіць аналіз. Платформа Corpus.by прапаноўвае адзін з падобных сродкаў выяўлення захворванняў маўленчага апарата, якія з'яўляюцца прычынай (або адной з прычын) вакальных характарыстык і параметраў маўлення.



Мал. 5. Інтэрфейс сэрвіса “Вызначэнне паталогій голасу”

На ўваход сэрвісу падаецца аўдыязапіс, які патрабуе праверкі. Па націсканні кнопкі “Запусціць” сэрвіс загружае аўдыя на сервер (без захавання), апрацоўвае гэты запіс і вынік адлюстроўваецца ў выглядзе адзінага параметра – індэкса выяўленнасці дысфаніі (DSI – *Dysphonia Severity Index*). Гэта адсоткак верагоднасці наяўнасці дысфаніі.

Алгарытм разліку DSI рэалізаваны па наступнай формуле:

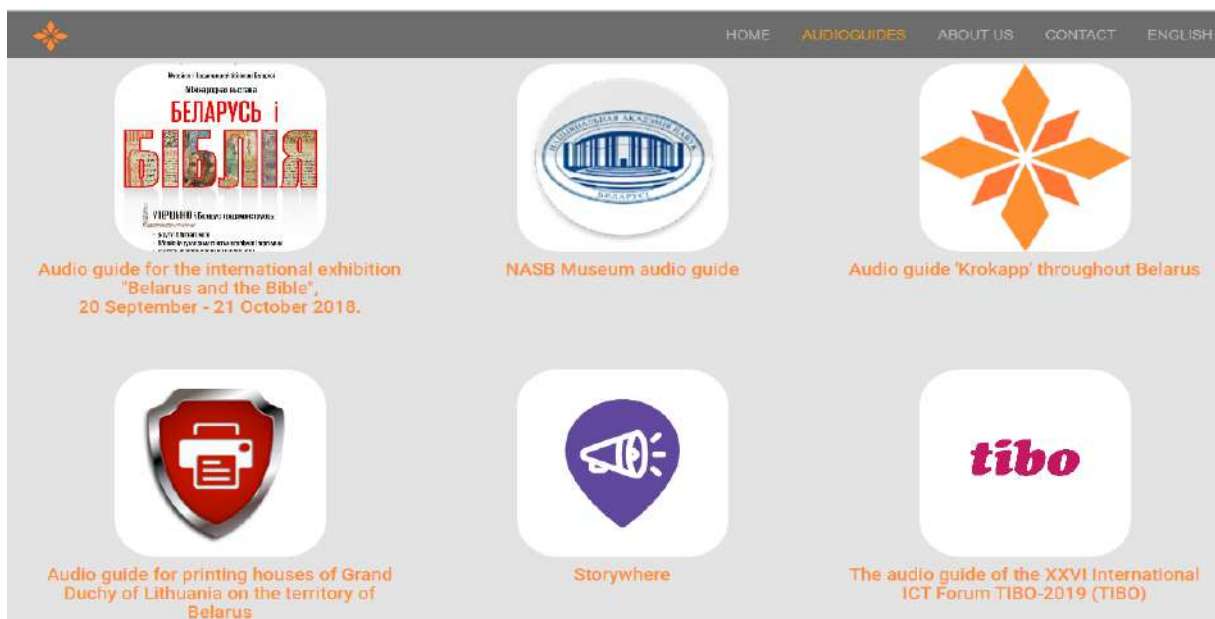
$$DSI = 0.13 * \text{ЧМФ} + 0.0053 * F0 - 0.26 * I - 1.18 * \text{Jitter} + 12.4$$

дзе, I – самая нізкая сіла голасу, F0 – самая высокая частата голасу, ЧМФ – час максімальнай фанатыі, Jitter – нестабільнасць голасу па амплітудзе.

Тое, што на ўваход сэрвісу падаецца файл з запісам гуку, а не мовы, гаворыць аб тым, што для карыстання сэрвісам не трэба мець ніякай спецыяльнай падрыхтоўкі. Уваходныя даныя алгарытму: файл з запісам гуку //a// даўжынёй у некалькі секунд. Інтэрфейс складаецца з поля з трыма опцыямі (праслухоўванне прыкладаў, якія маюцца ў сістэме; магчымасць запісу голасу ці загрузкі ўласнага файла з камп’ютара) і тэкставага поля адлюстравання вынікаў. Укладка прыкладаў прадстаўляе набор здаровых галасоў і галасоў з паталогіяй. Адпаведна ў полі вынікаў адлюстроўваецца вылічаны DSI. Укладка загрузкі файлаў дазваляе абраць файл на камп’ютары карыстальніка і загрузіць яго на сервер. Пасля загрузкі файл аўтаматычна апрацоўваецца алгарытмам і ў полі “Вынікі” з’яўляецца значэнне DSI.

Платформа аўдыягідаў Krokam. Лічбавыя платформы, заснаваныя на ўзаемадзеянні разнастайных інфармацыйных сістэм, зрабілі больш даступнымі паслугі ў электронным фармаце, у тым ліку і турызме. Распрацаваныя навігацыйныя прыкладанні для смартфонаў, мультымедыя-гіды спрыяюць распаўсюджанню і захаванню гісторыка-культурнай спадчыны нашага народа. На працягу апошніх пяці годоў супрацоўнікі лабараторыі пры падтрымцы спецыялістаў Інстытута гісторыі НАН Беларусі займаюцца распрацоўкамі інтэрактыўных аўдыягідаў па аглядзе культурна-гістарычных славутасцяў Рэспублікі Беларусь. Найбольш значныя распрацоўкі змяшчаюцца на агульнай анлайн-платформе KrokAmm [10], якая прадстаўляе такія пlyingданні, як аўдыягід “Krokapp” па ўсёй Беларусі, аўдыягід па археалагічным музеі “Бярэсце”, аўдыягід па міжнароднай выставе “Беларусь і Біблія”, аўдыягід па музею НАН Беларусі, аўдыягід “DRUK VKL” па друкарнях ВКЛ на тэрыторыі Беларусі,

аўдыягід на XXVI Міжнароднаму форуму па інфармацыйна-камунікацыйных тэхналогіях TIBO-2019 (TIBO) (мал.6). Усе праграмы асвятляюць розныя культурныя мясціны, гістарычныя падзеі, музейныя выставы і экспанаты, што дазваляе карыстальніку абраць прыкладанне згодна сваім прыярытэтам. Кожны з аўдыягідаў адлюстроўвае спіс славутасцей/мясцін/экспанатаў, дае іх короткае тэкставае і/ці агучанае апісанне і іх лакацыю на мапе. Яшчэ адной важнай асаблівасцю кожнага асобнага аўдыягіда з'яўляецца наяўнасць трох версій для розных платформаў: web-версія, Android, IOS. Для яе выбару неабходна клікнуць на спасылку на афіцыйным сайце і сістэма аўтаматычна пераадрасуе на выбраную версію для спампоўкі.



Мал. 6. Інтэрфейс анлайн-платформы KrokAmm

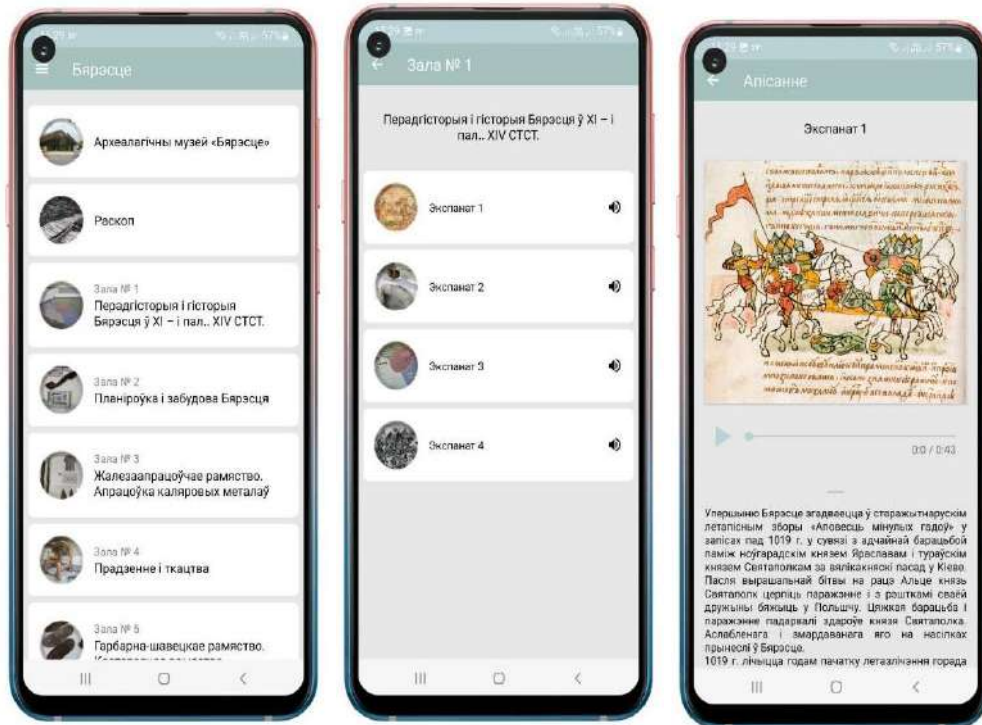
KrokAmm мае тэхнічныя, эканамічныя і сацыяльныя перавагі. Да тэхнічных адносяцца такія пункты, як зручнасць у карыстанні ўсіх аўдыягідаў; непатрэбнасць у дадатковай тэхнічнай інфраструктуры для сістэмы аўдыягідаў; сістэматызаванае адлюстраванне гарадоў/мясцін/экспанатаў, прадстаўленых у прыкладаннях; хуткае абнаўленне базы даных з дапамогай вэб-дапаможніка ў рэальным часе; лёгкасць рэалізацыі і дабаўлення новых/дадатковых славутасцяў/экспанатаў.

Да эканамічных пераваг адносяцца магчымасць хуткага перабудавання праграмы для выкарыстання ў любым іншым прыкладанні; мінімальны набор рэсурсаў на распрацоўку, як фінансавых, так і чалавечых; якасны сродак дапамогі наяўным экскурсаводам для ахопу вялікай колькасці айчынных і замежных наведвальнікаў праз выкарыстанне аўдыягіда без запрашэння дадатковых экскурсаводаў.

Сацыяльныя перавагі – гэта даступнасць любой версіі (Windows, Android, iOS); падтрымка некалькіх моў (беларуская, англійская, руская, польская, кітайская і інш. у залежнасці ад аўдыягіда), опцыя дабаўлення іншых моў; магчымасць скарыстацца аўдыягідам у зручны час без прывязкі да свабоднага экскурсавода; самастойнае планаванне маршрута асабістай экскурсіі; павышэнне якасці абслугоўвання ў турыстычнай сферы.

Важную ролю ў распрацоўцы аўдыягідаў адыгрывае інфармацыйная частка аўдыягідаў (кантэнт), якая падрыхтавана супольна з супрацоўнікамі музеяў, Інстытута гісторыі НАН Беларусі. Кантэнтная частка праекта ўключае падрыхтоўку электроннага тэксту і выяў аб'екта кантэнт-правайдэрам. Першаснай мовай падрыхтоўкі тэксту з'яўляецца беларуская, далей інфармацыя правяраецца на гістарычную праўдзівасць і

перакладаецца на замежныя мовы з захаваннем асаблівасцей беларускай транслітарацыі. Загрузка даных для мабільных праграм, такіх як выявы і аўдыя- і відэафайлы, а таксама праверка аднаўленняў, адбываюцца не толькі пры дапамозе стандартных бібліятэк Java для Android, але і іншых бібліятэк – Apache, Picasso.



Мал. 7. Android-версія аўдыягіда па археалагічным музеі “Бярэсце”

На платформе можна знайсці аўдыягід для археалагічнага музея ў горадзе Брэсце [11]. Археалагічны музей «Бярэсце» – унікальны археалагічны музей, размешчаны ў горадзе Брэсце, адзіны ў Еўропе музей сярэднявечнага ўсходнеславянскага горада. Аўдыягід для музея распрацаваны з мэтай прадстаўлення ўсіх экспанатаў у даступным фармаце з магчымасцю яго выкарыстання рэальным і віртуальным наведвальнікам падчас знаходжання ў музеі і па-за ім (мал. 7). Прыкладанне прадстаўлена ў выглядзе анлайн-платформы, якая ўключае мабільную праграму (Android, IOS версіі) і вэб-сайт, які рэалізаваны на мове праграмавання Python і базе даных MySQL.

На дадзены момант аўдыягід падтрымлівае 5 моў: беларускую, рускую, англійскую, польскую, кітайскую. У ім прадстаўлены 67 экспанатаў, размешчаныя ў 13 залах, а таксама галоўны экспанат музея – археалагічны раскоп плошчай 1118 квадратных метраў. Кожны экспанат мае невялікае апісанне, фотаздымак і агучанае апісанне на 5 мовах. Для пазіцыянавання па аб’ектах праз аўдыягід у кожнай залі музея пазначаны QR-код, каб карыстальнікі, счытаўшы яго, маглі пазнаёміцца з аб’ектамі візуальным і вербальным спосабамі. Падобным чынам функцыяніруюць усе аўдыягіды, прадстаўленыя на платформе Krokam.

Узаемадзеянне прадстаўленых праграмных прадуктаў дазваляе лабараторыі працаваць у яшчэ адным накірунку: распрацоўка галасавога чат-бота. Саманавучальныя чат-боты, якія змогуць выдаць адказ на любое пытанне карыстальніка/наведвальніка (навігацыя па музеі/залах, гадзіны працы, выбар зручнага маршрута і г. д.) і іх убудаванне ў робатаў-экскурсаводаў з’яўляецца прыярытэтнай задачай на шляху прадстаўлення новых інавацыйных ідэй у культурнай прасторы. Ініцыяцыя камунікацыі чат-бота з чалавекам можа накіравана на прыцягненне ўвагі карыстальніка да

наведвання ці прагляду асобных музеяў/экспанатаў/месцаў, што такім чынам павялічыць зацікаўленасць да культурнай сферы РБ.

Заклучэнне. Прыведзеныя праграмныя распрацоўкі лабараторыі распазнавання і сінтэзу маўлення АПП НАН Беларусі ўяўляюць сабой зручныя і мнагафункцыянальныя інструменты па апрацоўцы тэкстаў, маўлення і іншых даных на беларускай мове. Яны прадстаўляюць шырокі спект магчымасцей для карыстальнікаў. Устойлівыя Інтэрнэт-распрацоўкі атрымліваюць прымяненне ў разнастайных Інтэрнэт-праектах, а таксама рэалізуюцца пад мабільныя платформы (рэалізавана для Android, IOS).

Высакая якасны шматмоўны і шматгалосы сінтэз маўлення па тэксце грунтуецца на выкарыстанні алафонных элементаў (усяго парадку 1000 шт.) натуральнага маўлення з максімальна магчымай імітацыяй зададзеных мужчынскіх і жаночых галасоў. Для персаналізацыі камп'ютарнага кланавання натуральнага маўлення было выканана максімальна дакладнае мадэляванне акустычных, фанетычных і прасадыхных індывідуальных асаблівасцей голасу і маўлення дыктара з мінімальна магчымымі скажэннямі элементаў кампіляцыі ў працэсе іх запісу, прайгравання і прасадыхнай мадыфікацыі. Пабудаваная сістэма распазнавання маўлення для беларускай мовы заснавана на end-to-end архітэктury з выкарыстаннем глыбокага навучання. Базавыя алгарытмы распазнавання і прыняцця слоўных рашэнняў рэалізуюцца на аснове новага метаду дынамічнага супастаўлення сігналаў, мадыфікаванага для распазнавання слоў злітнага маўлення. Дадзены метада дае магчымасць ажыццявіць дынамічнае выраўноўванне часавых шкал эталоннага апісання слова і яго рэалізацыі ў бягучым маўленні пры невядомых пачатку і канцы слова, якое распазнаецца. Галоўнай вартасцю метаду з'яўляецца вызначэнне верагоднасці прысутнасці слова ў бягучым маўленчым патоку і ацэнкі яго часовага месцазнаходжання ў рэальных умовах рознага роду акустычных памах.

Наяўнасць якасных мадэлей сінтэзу і распазнавання адвольнага маўлення адкрывае для беларускай мовы перспектывы далейшага развіцця больш складаных моўных тэхналогій: галасавы ўвод тэкста, галасавыя дапаможнікі, аўтаматызаванае навучанне беларускай мове, галасавыя чат-боты, і інш. А алічбаванне сферы культуры і распрацоўка аўдыягідаў – гэта першы крок па зборы даных для далейшых вырашэнняў задач штучнага інтэлекту для гіторыка-культурнай спадчыны. Гэта магчыма на прыкладзе прагнозу наведвання канкрэтных мясцін у тым выпадку, калі карыстальнікі цікавяцца іх гісторыяй і культурай. Акрамя таго, дадаткова будзе рэалізавана опцыя збору водгукаў карыстальнікаў пра агляд мясцін гарадоў ці экспанатаў музеяў ў аўтаматычным рэжыме. Забеспячэнне сучаснымі інфармацыйна-камп'ютарнымі сродкамі прыводзіць да фарміравання інавацыйных ідэй, што ўплывае на зацікаўленасць у распрацоўцы новых айчынных прадуктаў у сферы штучнага інтэлекту.

Спіс выкарыстаных крыніц

1. Межведомственный исследовательский центр искусственного интеллекта // ОИПИ НАН Беларуси [Электронный ресурс]. – 2022. Режим доступа : <http://uiip.bas-net.by/intellekt/>. – Дата доступа : 23.07.2022.
2. Лабараторыя распазнавання і сінтэзу маўлення // [Электронны рэсурс]. – 2022. Рэжым доступу: <https://ssrlab.by/>. – Дата доступу : 18.02.2020.
3. Мэты дзейнасці // Лабараторыя распазнавання і сінтэзу маўлення АПП НАН Беларусі [Электронны рэсурс]. – 2022. Рэжым доступу : <https://ssrlab.by/mety-dziejnasci>. – Дата доступу : 02.03.2021.
4. Платформа для апрацоўкі тэкставай і гукавой інфармацыі для розных тэматычных даменаў corpus.by // [Электронны рэсурс]. – 2019. Рэжым доступу : <http://corpus.by>. – Дата доступу : 12.07.2021.

5. Сінтэзатар маўлення па тэксце [Электронны рэсурс]. – 2022. Рэжым доступу : <http://corpus.by/TextToSpeechSynthesizer/?lang=be>. – Дата доступу : 18.03.2022.
6. Тэматычнае распазнаванне маўлення // Платформа для апрацоўкі тэкставай і гукавой інфармацыі для розных тэматычных даменаў corpus.by [Электронны рэсурс]. – 2022. Рэжым доступу : <https://corpus.by/ThematicSpeechRecognizer/?lang=be>. – Дата доступу : 05.06.2022.
7. Распазнаванне беларускага маўлення // Платформа для апрацоўкі тэкставай і гукавой інфармацыі для розных тэматычных даменаў corpus.by [Электронны рэсурс]. – 2022. Рэжым доступу : <https://corpus.by/BelarusianSpeechRecognition/?lang=be>. – Дата доступу : 11.04.2022.
8. Распазнаванне галасоў птушак // Платформа для апрацоўкі тэкставай і гукавой інфармацыі для розных тэматычных даменаў corpus.by [Электронны рэсурс]. – 2022. Рэжым доступу : <https://corpus.by/BirdSoundsRecognizer/?lang=be>. – Дата доступу : 24.06.2022.
9. Вызначэнне паталогій голаса // Платформа для апрацоўкі тэкставай і гукавой інфармацыі для розных тэматычных даменаў corpus.by [Электронны рэсурс]. – 2022. Рэжым доступу : <https://corpus.by/VoicePathologyDetector/?lang=be>. – Дата доступу : 29.05.2022.
10. KROKAM па тутэйшым краі і ваколіцах з вашым асабістым аўдыягідам // [Электронны рэсурс]. – 2021. Рэжым доступу : <https://krokam.com/#>. – Дата доступу : 01.03.2020.
11. Аўдыягід па археалагічным музеі "Бярэсце" // [Электронны рэсурс]. – 2020. Рэжым доступу : <https://krokam.com/biarescie>. – Дата доступу : 10.03.2022.

МОДЕЛИ, МЕТОДЫ И ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ ЗАМЕНЫ ТРАДИЦИОННОГО ПАРКА АВТОБУСОВ ЭЛЕКТРОБУСАМИ

Н. Н. Гущинский, М. Я. Ковалев, Б. М. Розин[✉]

Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси, Минск

rozin@newman.bas-net.by

Введение. В докладе обсуждаются результаты, полученные при выполнении одноименного проекта. Основная цель проекта состоит в разработке совокупности математических и программных средств для решения задач оптимизации, возникающих при планировании перехода от парка дизельных и гибридных автобусов к парку электробусов. В рамках проекта решены следующие основные задачи:

- разработка концептуальных моделей оптимизации сети зарядных станций и расписаний движения электротранспорта;
- разработка математических моделей оптимизации сети зарядных станций и расписаний движения электротранспорта;
- разработка методов оптимизации сети зарядных станций и расписаний движения электротранспорта;
- разработка программного обеспечения, реализующего предложенные методы оптимизации.

Далее приводится краткое описание результатов, полученных при решении указанных задач.

Концептуальные модели оптимизации сети зарядных станций и расписаний движения электротранспорта. Исследована оптимизационная задача, возникающая при планировании процесса замены парка традиционного общественного транспорта электробусами для заданного множества маршрутов. Предполагается, что электробус оборудован устройством хранения электрической энергии (батареей) и может сочетать в себе функции автобуса, троллейбуса или трамвая. В работе рассматривается только технология зарядки, при которой батареи электробусов заряжаются на стационарных станциях зарядки. Замена батарей не предусматривается также, как и зарядка во время движения.

Парк электробусов характеризуется типами электробусов и количеством электробусов каждого типа. С каждым типом электробуса связаны следующие характеристики такого же типа: станции зарядки в депо, на конечных и промежуточных остановках маршрута, потеря уровня состояния заряда (SOC - State Of Charge) при одних и тех же условиях движения между любыми двумя заданными остановками заданного маршрута, рекомендуемый уровень SOC при отправлении от подходящей станции зарядки, время зарядки до рекомендуемого уровня SOC для подходящей станции зарядки, а также вместимость электробуса.

Циклом маршрута будем называть последовательность остановок (промежуточных и конечных) маршрута и последовательность событий, имеющих место между отправлением электробуса от какой-либо остановки и прибытием его на ту же остановку. Интенсивностью пассажиропотока цикла маршрута является историческая или запланированная общая вместимость пассажирских транспортных средств, отправляющихся с промежуточной или конечной остановки этого цикла в единицу времени. Блоком циклов маршрута будем называть последовательность следующих друг за другом циклов этого маршрута с одной и той же интенсивностью пассажиропотока и одной и той же величиной потерь уровня SOC одного и того же электробуса на одном и том же

участке маршрута. Для каждого маршрута будем рассматривать пиковый блок циклов, для которого предполагается, что одновременно достигаются наивысшая интенсивность пассажиропотока, самое длительное время движения по циклу любого транспортного средства, а также максимальные количество потребления энергии и потерь уровня SOC.

Задача оптимизации заключается в определении:

- парка электробусов,
- частоты отправления каждого типа электробуса (количество электробусов данного типа, отправляющихся от промежуточной или конечной остановки маршрута в единицу времени) в пиковом блоке циклов для каждого маршрута,
- мест установки станций зарядки и трансформаторов, а также и связей между ними таким образом, чтобы уровень заряда батареи был не меньше минимального порога для любого электробуса, выполняющего движение на любом маршруте в пиковом блоке циклов, и не был превышен запас мощности любого трансформатора, соединенного со станцией зарядки.

В качестве критериев рассматриваются:

- максимизация общей значимости (положительного экологического или социально-экологического эффекта, выраженного количественно),
- минимизация общих капиталовложений,
- минимизация общих эксплуатационных расходов (включая стоимость потребляемой энергии) и
- минимизация общей мощности станций зарядки.

Предполагается, что решение этой четырехкритериальной задачи будет повторяться для нескольких периодов планирования. Решения, принятые в предыдущий период, включаются во входные данные для будущего периода. Такой подход последовательной оптимизации основан на предположении, что оптимизация для ближайшего периода времени более эффективна, чем оптимизация для последующих периодов, когда не все входные параметры достаточно точно определены.

Математические модели оптимизации сети зарядных станций и расписаний движения электротранспорта. Сформулированы три группы моделей для принятия решений при замене традиционных видов городского общественного транспорта парком электробусов. Первая комплексная модель предназначена для определения парка электробусов, назначения зарядных станций местам их возможного размещения, назначения зарядных станций трансформаторам и маршрутам таким образом, чтобы общий социально-экологический эффект был максимален. При этом получаемой электробусами на зарядных станциях электроэнергии должно быть достаточно для их движения по маршрутам, выдержан средний интервал движения, выходная мощность каждого трансформатора не была превышена, общие капитальные и операционные затраты не превышали заданных верхних границ.

Вторая из рассмотренных групп моделей предназначена для построения расписания с равномерным распределением отправления автобусов (электробусов и обычных автобусов) каждого типа для всех типов автобусов одного и того же маршрута. Расписания, удовлетворяющие такому критерию, называются сбалансированными. Предполагается, что автобусы разных типов имеют разную пассажировместимость. Поэтому сбалансированное расписание обеспечивает равномерное распределение доступных мест пассажиров во времени.

Третья группа моделей предназначена для поддержки процесса принятия решений при выборе парка электробусов, обслуживающих множество городских маршрутов, а также зарядной инфраструктуры единственного депо, в которых эти электробусы восстанавливают заряд своих аккумуляторных батарей. Рассматривается тип электробусов, оборудованных батареями большой емкости (сотни кВт-ч), позволяющих им без

подзарядки выполнять заданное для них дневное расписание. Депо оборудуется станциями медленной зарядки (2-8 часов для полной зарядки разряженной батареи электробуса). Тип и выходная мощность идентичных станций зарядки в депо предполагаются заданными, так же как типы электробусов и дневные расписания их движения по своим маршрутам (или последовательностям маршрутов). Учитывается также изменяющаяся во времени подаваемая в депо от городской электросети мощность, определяющая предельное число станций зарядки для каждого временного интервала в течение суток, которые могут одновременно использоваться для зарядки электробусов. Цель моделирования заключается в определении минимального числа устанавливаемых в депо станций зарядки и оптимального распределения времени зарядки между электробусами в течение суток, позволяющих восстановить исходные уровни состояния заряда SOC (SOC - State Of Charge) всех электробусов парка к началу следующих суток.

Методы оптимизации сети зарядных станций и расписаний движения электротранспорта. Разработаны методы решения трех оптимизационных задач, возникающих при принятии решений о замене традиционных видов городского общественного транспорта парком электробусов.

Первая задача предназначена для определения парка электробусов, назначения зарядных станций местам их возможного размещения, назначения зарядных станций трансформаторам и маршрутам таким образом, чтобы общий социально-экологический эффект был максимален. При этом получаемой электробусами на зарядных станциях электроэнергии должно быть достаточно для их движения по маршрутам, выдержан средний интервал движения, выходная мощность каждого трансформатора не была превышена, общие капитальные и операционные затраты не превышали заданных верхних границ. Установлено, что эта задача является NP-трудной в сильном смысле. Для ее решения предложен рандомизированный эвристический алгоритм.

Вторая задача предназначена для построения расписания с равномерным распределением отправления автобусов (электробусов и обычных автобусов) одного и того же типа для всех типов автобусов одного и того же маршрута. Расписания, удовлетворяющие такому критерию, называются сбалансированными. Предполагается, что автобусы разных типов имеют разную пассажироместимость. Поэтому сбалансированное расписание обеспечивает равномерное распределение доступных мест пассажиров во времени. В качестве метода решения задачи предложен алгоритм временной сложности $O(V \log V)$, где V – количество (средних) интервалов движения в рассматриваемом периоде времени для заданного маршрута.

Третья задача предназначена для поддержки процесса принятия решений при выборе конфигураций аккумуляторных батарей для электробусов парка, обслуживающего множество городских маршрутов, а также зарядной инфраструктуры единственного депо. Рассматривается тип электробусов, оборудованных батареями большой емкости (сотни кВт-ч). Задача заключается в выборе максимальной мощности электроэнергии, подаваемой в депо городской энергосетью, типа и количества идентичных станций зарядки этого типа для депо, конфигураций батарей для электробусов парка и длительностей зарядки каждого из них в периоды времени суток, когда они находятся в депо. В качестве целевой функции используется общая дневная стоимость зарядного оборудования депо, батарей электробусов и потребляемой электроэнергии. Решение задачи должно удовлетворять условиям соблюдения расписания выхода электробусов на маршруты, восстановления начального заряда батарей всех электробусов к началу следующих суток, обеспечения динамической верхней границы доступной мощности при заданных функциях расхода заряда каждой батареей электробуса во время его поездок и восстановления заряда на станциях зарядки. Установлено, что задача является NP-трудной в сильном смысле. Для ее решения предложена четырехуровневая декомпозиционная схема, сводящая решение этой задачи к решению последовательности бо-

лее простых подзадач. В подзадаче нижнего уровня при фиксированных подаваемой в депо максимальной мощности, типе и числе зарядных станций в депо, а также конфигураций батарей электробусов оптимизируются длительности зарядки в депо электробусов парка в течение суток. В качестве целевой функции этой подзадачи используется суммарная дневная стоимость всех батарей и потребленной электроэнергии. Задача сведена к задаче смешанного целочисленного линейного программирования. На третьем уровне при фиксированных подаваемой в депо мощности, конфигурациях батарей электробусов и типе зарядных станций решается подзадача дискретного программирования минимизации суммарной дневной стоимости зарядных станций фиксированного типа, батарей и потребленной электроэнергии. В качестве целевой функции используется суммарная дневная стоимость зарядных станций, батарей и потребленной электроэнергии. Задача решается методом направленного перебора на дискретном отрезке. На втором уровне при заданной подаваемой в депо мощности решается более общая подзадача выбора типа зарядных станций и конфигураций батарей электробусов из конечных множеств вариантов. В качестве целевой функции используется суммарная дневная стоимость зарядных станций, батарей и потребленной электроэнергии. На верхнем уровне решается координирующая подзадача выбора величины подаваемой городской электросетью максимальной мощности, минимизирующей общую дневную стоимость зарядной инфраструктуры депо, батарей электробусов и потребленной электроэнергии. Эта подзадача также решается направленным перебором дискретных значений из заданного отрезка.

Программа решения задачи построения расписания с равномерным распределением отправления автобусов (электробусов и обычных автобусов) одного и того же типа для всех типов автобусов одного и того же маршрута. Программа алгоритма временной сложности $O(V \log V)$ является простой. Она реализована в среде C++ для Windows.

Программа решения задачи оптимизации сети зарядных станций, их связи с трансформаторами и определения типов и количества электробусов. Программные средства, реализующие предложенный рандомизированный эвристический алгоритм, разработаны в среде C++ для Windows. Они могут использоваться как исполняемый файл mobopt.exe или как DLL-файл moboptdll.dll. Эти файлы могут использоваться на ПК стандартной конфигурации. Параметры командной строки для mobopt.exe следующие: полное имя каталога с входными данными; полное имя каталога с файлом конфигурации probl.ini. Например, d:/gn/soft/bat_dll/mobopt.exe, d:/gn/soft/mobility/mobopt/Minsk, d:/gn/soft/mobility/mobopt, где d:/gn/soft/bat_dll – каталог с файлом mobopt.exe, d:/gn/soft/mobility/mobopt/Minsk – каталог с входными данными, и d:/gn/soft/mobility/mobopt – каталог с файлом конфигурации probl.ini.

Файл moboptdll.dll содержит функцию `MOBOPT`, прототипом которой является `int MOBOPT(char *dir, char *dir_ini)`, где `dir` – полное имя каталога с входными данными и `dir_ini` – полное имя каталога с файлом конфигурации `probl.ini`. Код возврата функции `MOBOPT` равен 0, если оптимизация прошла успешно. В этом случае вся выходная информация помещается в файл `solution.out` в текстовом формате и в файл `solution.json` в формате JSON в каталоге `dir`. Если код возврата не равен 0, то соответствующая информация об ошибке помещается в файл `errors.out` в каталоге `dir`. Файл `probl.ini` используется для настройки параметров. Для входных и выходных файлов реализован формат JSON и текстовый формат. Если входной параметр `json = 2`, то файл `problem.json` преобразуется в следующие файлы: `probl.json`, `stations.json`, `buses.json`, `cbuses.json`, `nodes_st.json`, `graph.json`, `transf.json`, `routes.json`, `nodes_nm.json`, `nodes_ch_time.json`, `croutes.json`, `tdepots.json`, `buses1.json` и `buses2.json`. Затем, каждый из этих файлов преобразуется в соответствующий текстовый файл. В заключение, данные из текстовых файлов импортируются и анализируются на наличие ошибок. Если есть

ошибки, то информация о них помещается в файл errors.out в каталоге, указанном параметром dir. Все полученные решения помещаются в единый файл solution.out. Выход для каждого решения включает в себя: значения целевых функций; выбранные маршруты для замены обычных транспортных средств на электробусы; какие зарядные станции должны быть открыты и трансформаторы должны быть построены; требуемая мощность для каждого трансформатора.

Для каждого выбранного маршрута выходные данные включают:

- выбранные типы электробусов;
- количества новых электробусов каждого типа;
- общая пассажироместимость новых электробусов;
- капитальные затраты на новые электробусы;
- стоимость эксплуатации и затрачиваемой энергии новыми электробусами;
- типы обычных транспортных средств, которые остались в эксплуатации;
- количества оставшихся обычных транспортных средств каждого типа;
- средняя длительность интервала движения для всех транспортных средств, обслуживающих маршрут;
- родительские узлы, на которых должны быть открыты новые зарядные станции;
- рекомендуемый порядок отправления всех транспортных средств.

Программа решения задачи оптимизации зарядной инфраструктуры депо для парка электробусов с батареями медленной зарядки, обслуживающего множество городских маршрутов. Программные средства разработаны в среде C++ для Windows. Они могут использоваться как исполняемый файл charge.exe или как DLL-файл chargedll.dll. Эти файлы могут использоваться на ПК стандартной конфигурации. Параметры командной строки для charge.exe следующие: полное имя каталога с входными данными; полное имя каталога с файлом конфигурации charge.ini. Например, d:/gn/soft/bat_dll/charge.exe, d:/gn/soft/mobility/charge/Minsk, d:/gn/soft/mobility/charge, где d:/gn/soft/bat_dll – каталог с файлом charge.exe, d:/gn/soft/mobility/charge/Minsk – каталог с входными данными, и d:/gn/soft/mobility/charge – каталог с файлом конфигурации charge.ini.

Файл chargedll.dll содержит функцию CHARGE, прототипом которой является int CHARGE(char *dir, char * dir_ini), где dir – полное имя каталога с входными данными и dir_ini – полное имя каталога с файлом конфигурации charge.ini. Код возврата функции CHARGE равен 0, если оптимизация прошла успешно. В этом случае вся выходная информация помещается в файл solution.out в текстовом формате и в файл solution.json в формате JSON в каталоге dir. Если код возврата не равен 0, то соответствующая информация об ошибке помещается в файл errors.out в каталоге dir.

Файл charge.ini используется для настройки параметров. Для входных и выходных файлов реализован формат JSON и текстовый формат. Если входной параметр json = 2, то файл charge.json преобразуется в следующие файлы: stations.json, batteries.json, fbatteries.json, fcbatteries.json, buses.json, routes.json, trips.json, fleet.json, febuses.json, fpower.json. Затем, каждый из этих файлов преобразуется в соответствующий текстовый файл. В заключение, данные из текстовых файлов импортируются и анализируются на наличие ошибок. Если есть ошибки, то информация о них помещается в файл errors.out в каталоге, указанном параметром dir. Полученное решение включает:

- максимальную мощность, подаваемую в депо;
- тип выбранной зарядной станции;
- количество зарядных станций;
- вариант батареи для каждого электробуса;
- оптимальные суммарные дневные затраты;
- длительности зарядки каждого электробуса в каждый интервал времени;

- суммарные длительности зарядки для каждого электробуса между его поездками;
- суммарные дневные длительности зарядки для каждого электробуса;
- уровни заряда батареи каждого электробуса в момент его отправления из депо в очередную поездку;
- уровни заряда батареи каждого электробуса в момент его прибытия в депо из очередной поездки;
- неиспользованные ресурсы времени зарядки в депо для каждого интервала;
- общий неиспользованный дневной ресурс времени зарядки;
- долю использованного ежедневного ресурса времени зарядки.

Заключение. В докладе приводится краткое описание разработанных концепций оптимизации сети зарядных станций и расписаний движения электробусов, сформулированных на их основе математических моделей трех оптимизационных задач, а также методов решения этих оптимизационных задач и соответствующего программного обеспечения. Развернутое описание перечисленных результатов приведено в [1-2] и отчетной документации проекта PLATON (<https://www.ifak.eu/en/projects/platon>). Результаты использованы при расчете инфраструктуры системы электробусов для набора реальных маршрутов Минска.

Список использованных источников

1. Ковалев, М. Я. Математическая модель и алгоритм случайного поиска для задачи оптимального планирования замены традиционного общественного транспорта электрическим / М. Я. Ковалев, Б. М. Розин, Н. Н. Гущинский // Автоматика и телемеханика. – 2020. – № 5. – С. 41-59.
2. Fleet and charging infrastructure decisions for fast-charging city electric bus service / N. N. Guschinsky [et al.] // Computers and Operations Research. – 2021. – Vol. 135. – P. 105449.

НЕЙРОСЕТЕВОЙ ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ДИАГНОСТИКЕ ЗАБОЛЕВАНИЙ ЛЕГКИХ НА ОСНОВЕ РЕНТГЕНОВСКИХ И ТОМОГРАФИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Э. В. Снежко^{1✉}, В. А. Ковалев¹, А. А. Косарева², Д. А. Павленко¹

¹Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси, Минск
eduard.snezhko@gmail.com;

²Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск

Введение. Массовые обследования населения (скрининговые обследования) являются эффективным способом раннего выявления заболеваний легких и других аномалий развития органов грудной клетки. В рамках скрининга специалисты-радиологи ежедневно анализируют большое количество медицинских изображений. Такие обследования являются весьма времязатратными и потенциально вызывающими ошибки диагностики. В ряде исследований было показано, что радиологи зачастую не могут обнаружить все видимые узловые образования на трехмерных изображениях компьютерной томографии. Аналогичная ситуация возникает и при анализе двухмерных рентгенографических изображений. Например, в США пропуск специалистами-радиологами раковых образований находится на втором месте среди наиболее распространенных причин судебных процессов против радиологов. На ранней потенциально излечимой стадии рак легкого практически бессимптомен и редко диагностируется, в то же время эта стадия имеет большой потенциал излечения. Эффективность лечения рака легкого можно улучшить посредством автоматизации и усовершенствования ранней диагностики, основанной на интеграции данных, собранных на различных стадиях обследования пациентов, особенно с использованием неинвазивных технологий, таких как радиологические исследования. Применение современных методов компьютеризированной диагностики на основе методов глубокого обучения позволяет достичь более точной интерпретации медицинских данных и, соответственно, повысить качество диагностики, то есть сократить время обработки изображений, повысить точность и повторяемость результатов анализа. Математические алгоритмы обработки изображений в таких ситуациях могут улучшить заметность очагов в легких и дать «второе мнение», полезное при принятии решения о направлении на дополнительное обследование наиболее подозрительных случаев.

Назначение нейросетевого программного комплекса. Нейросетевой программный комплекс для поддержки принятия решений при диагностике заболеваний легких на основе рентгеновских и томографических изображений (далее по тексту – LungExpert) предназначен для автоматизации процессов диагностики онкологических и инфекционных заболеваний легких. LungExpert выполняет компьютерную диагностику компьютерно-томографических (КТ) и рентгеновских изображений грудной клетки человека. Результаты работы компьютерной системы могут быть использованы в качестве «второго мнения» при предварительной постановке диагноза и принятии решения о направлении на дальнейшее обследование в профильное медицинское учреждение.

Программное обеспечение использует современные методы глубокого обучения сверточных нейронных сетей и технологий высокопроизводительных вычислений для поиска и оценки размеров злокачественных новообразований легких на радиологических изображениях. С помощью разработанных методов искусственного интеллекта решается задача сегментации легких, выделения новообразований, воспалений и количественная оценка поражений на трехмерных КТ и двумерных рентгеновских изображениях грудной клетки.

Основные задачи, решаемые LungExpert:

- автоматическое выделение воспалительных и опухолевых инфильтратов, фиброза, ателектаза, каверн, плеврита и пневмоторакса на КТ изображениях;
- построение тепловой карты областей легкого на рентгеновских изображениях, предположительно ассоциированных с патологическими процессами;
- сегментация трехмерного объема и двумерной площади легких на КТ и рентгеновских изображениях;
- количественный анализ сегментированных областей интереса в легких на КТ и рентгеновских изображениях;
- трехмерная визуализация легких по КТ изображениям с подсветкой областей интереса, предположительно ассоциированных с патологическими процессами;
- поддержка различных форматов ввода радиологических изображений.

С помощью LungExpert можно:

- улучшить заметность очагов заболевания в легких;
- дать «второе мнение» по отношению к мнению врача-радиолога;
- сократить время анализа каждого радиологического исследования;
- минимизировать пропуски раковых и других патологических образований на изображениях в процессе массового обследования (скрининга) специалистами-радиологами;
- обеспечить стабильность и единообразие получаемых результатов вне зависимости от нагрузки и опыта специалиста-радиолога.

LungExpert разработан в виде клиент-серверного веб-приложения, в котором клиент взаимодействует с сервером через информационно-коммуникационную сеть Интернет при помощи любого современного веб-обозревателя (браузера). Веб-обозреватели, которые поддерживаются LungExpert: Mozilla Firefox, Google Chrome и Opera. Одним из преимуществ такого подхода является тот факт, что от пользователя не требуется установка, настройка и обновление программного обеспечения.

Домашняя страница LungExpert находится по адресу <https://lungs.org.by> (рис. 1).

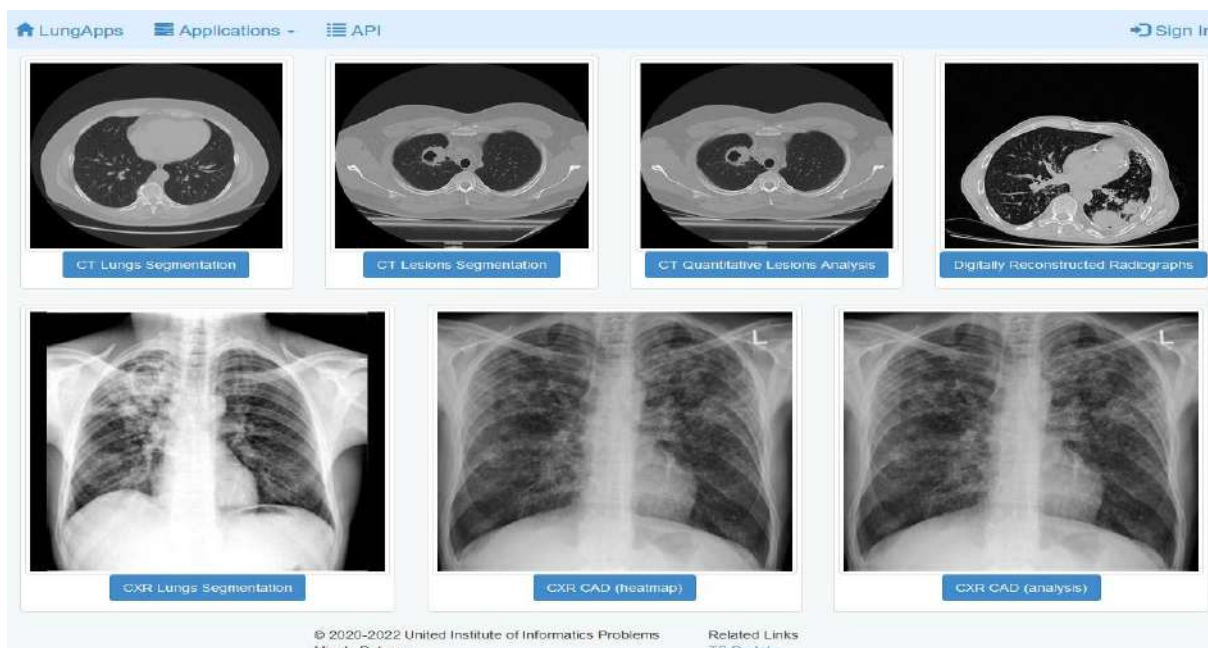


Рис. 1. Домашняя страница LungExpert

Порядок работы с LungExpert. Перед началом работы с LungExpert пользователю необходимо зарегистрироваться и пройти идентификацию посредством существующей учетной записи одного из следующих поставщиков услуг аутентификации:

Google, GitHub, Microsoft или Orcid. В верхней левой части окна (верхний колонтитул) приложения находится главное меню с тремя кнопками (рис. 2):

- «LungApps» – переход на главную страницу приложения;
- «Applications» – переход к одному из семи приложений;
- «API» – переход на страницу с описанием программного интерфейса приложения (Application Programming Interface, API), с помощью которого можно автоматизировать процесс загрузки и тематической обработки изображений с рабочего места пользователя в рамках модели взаимодействия машина-машина.



Рис. 2. Главное меню LungExpert

На главной странице у пользователя есть выбор из семи приложений для загрузки и обработки КТ либо рентгеновских изображений. В первом ряду имеются элементы интерфейса для доступа к четырём приложениям обработки и анализа КТ изображений, а в нижнем – к приложениям для анализа рентгеновских изображений грудной клетки:

- «CT Lungs Segmentation» – выполняет сегментацию трехмерного объема легких на КТ изображениях;
- «CT Lesions Segmentation» – выполняет сегментацию областей с новообразованиями (lesions) на КТ изображениях в легких;
- «CT Quantitative Lesions Analysis» – выполняет количественный анализ сегментированных областей в легких на КТ изображениях;
- «Digitally Reconstructed Radiographs» – вычисляет цифровую реконструкцию рентгенограммы из КТ изображений, то есть создает двухмерную модель рентгенографического изображения из трехмерного КТ изображения;
- «CXR Lungs Segmentation» – выполняет сегментацию двухмерной площади легких на рентгеновских изображениях;
- «CXR CAD (heatmap)» – вычисляет тепловую карту областей легкого на рентгеновских изображениях, предположительно ассоциированных с патологическими процессами;
- «CXR CAD (analysis)» – выполняет количественный анализ обнаруженных образований в легких на рентгеновских изображениях.

После нажатия на один из семи элементов интерфейса на главной странице пользователь переходит в интерфейс соответствующего приложения (рис. 3), где может:

- загрузить изображение (синяя кнопка «Upload CT Series»);
- очистить результаты обработки всех изображений на рабочей панели (оранжевая кнопка «Clear all results»);
- удалить все загруженные изображения из рабочей панели и с сервера (красная кнопка «Remove all cases»).

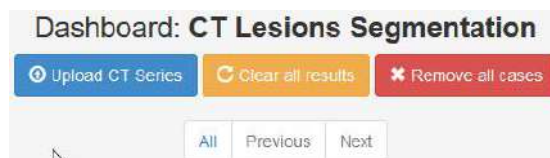


Рис. 3. Рабочая панель для загрузки, очистки и удаления изображений для приложения «CT Lesions Segmentation»

Поддерживается обработка медицинских форматов файлов NIfTI, DICOM и NIfTI файлов, скомпонованных в виде ISO-образа. Также для рентгеновских изображений поддерживается обработка общепринятых форматов изображений JPG, PNG, TIFF. Возмож-

но передать ссылку (URL) на изображение в информационно-коммуникационной сети Интернет, и приложение LungExpert само его скачает и обработает.

После загрузки и тематической обработки изображения на рабочей панели появится изображение, под которой будут четыре кнопки для КТ изображений и три кнопки для рентгеновских изображений (рис. 4):

- зеленая кнопка «3D» только для КТ изображений открывает дополнительное окно для предварительного просмотра объемной 3D модели легких;
- с помощью синей кнопки «Get Results» можно скачать заархивированные в формате ZIP результаты обработки на компьютер оператора;
- желтая кнопка «Clear Results» предназначена для очистки результатов обработки конкретного случая;
- красная кнопка «Remove Case» удаляет соответствующее изображение из рабочей панели и с сервера.

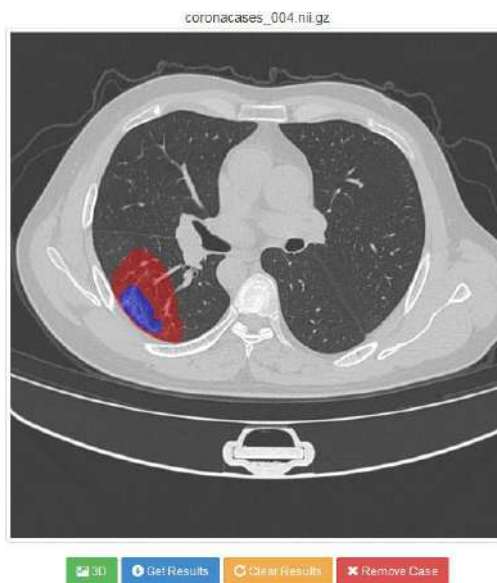


Рис. 4. Пример загруженного и обработанного КТ изображения на рабочей панели приложения «CT Lesions Segmentation»

При нажатии на загруженное и обработанное изображение открывается дополнительное окно «Anatomical planes preview» (предварительный просмотр анатомических плоскостей) для просмотра изображения в трех проекциях (рис. 5) либо открывается окно веб-обозревателя с текстовым файлом, если это количественный анализ изображения в приложении «CT Quantitative Lesions Analysis».

В приложении «CT Lesions Segmentation» (см. рис. 5) различные цвета подсветки КТ грудной клетки обозначают следующее:

- красный «Focus + Infiltrate» – воспалительный и опухолевый инфильтрат, скопление в тканях организма клеточных элементов с примесью крови и лимфы;
- синий «Fibrosis» – фиброз, разрастание соединительной ткани с появлением рубцовых изменений в различных органах, возникающее, как правило, в результате хронического воспаления;
- аквамариновый «Atelectasis» – ателектаз, спадение ткани легкого;
- зеленый «Caverns» – каверны, полости, которые возникают в органах тела при разрушении и омертвении тканей и последующем разжижении омертвевших масс;
- желтый «Pleuritis» – плеврит, воспаление плевральных листков, которые окружают каждое легкое;
- пурпурный «Pneumothorax» – пневмоторакс, скопление воздуха или газов в плевральной полости между легкими и грудной стенкой.

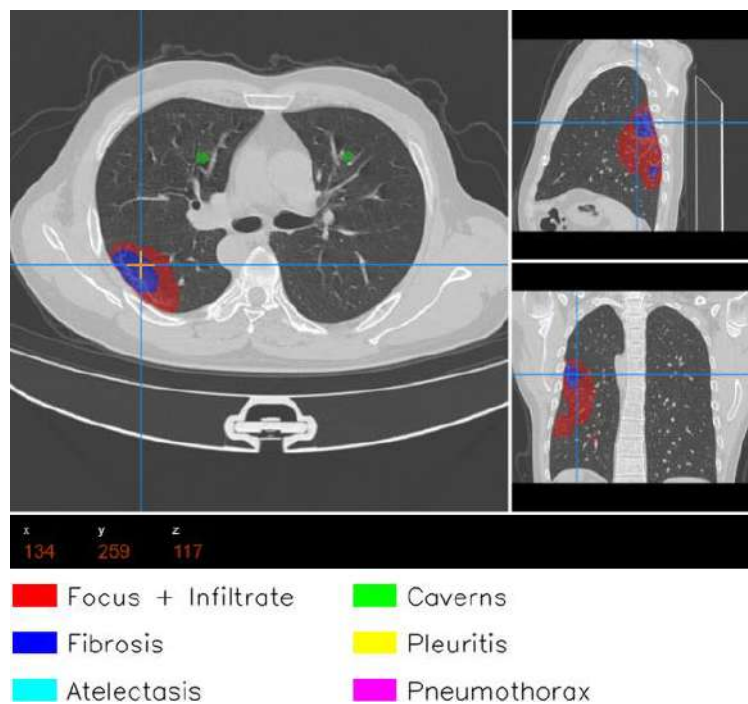


Рис. 5. Предварительный просмотр анатомических плоскостей на КТ изображении для приложения «CT Lesions Segmentation»

Для двумерного рентгеновского снимка предварительный просмотр анатомических плоскостей состоит только из одной проекции (рис. 6).

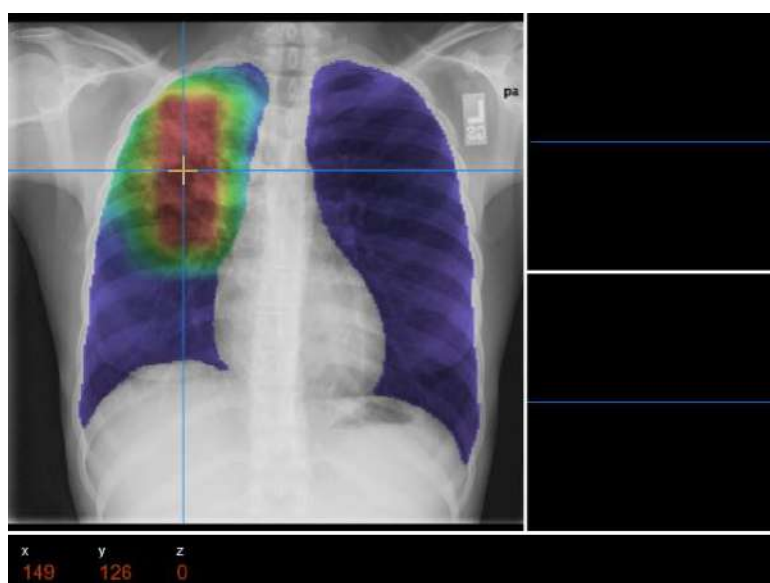


Рис. 6. Тепловая карта областей легкого на рентгеновских изображениях грудной клетки, предположительно ассоциированных с патологическими процессами, для приложения «CXR CAD (heatmap)»

Приложение «CXR CAD (heatmap)» строит тепловую карту (см. рис. 6) областей интереса в легких на рентгеновском снимке в спектре от красного (самые опасные участки) до фиолетового (безопасные участки).

Нажатие на элемент интерфейса с предварительным просмотром обработанного изображения позволяет более детально ознакомиться с результатом обработки по данному случаю:

- «CT Lungs Segmentation» – выполняется визуализация отсегментированного объема легких на КТ изображении в трёх проекциях;
- «CT Lesions Segmentation» – выполняется визуализация отсегментированных новообразований (lesions) в легких в трёх проекциях с использованием различных цветов (см. рис. 5);
- «CT Quantitative Lesions Analysis» – отображается отчёт с количественным анализом новообразований в легких на КТ изображении в виде текстового файла в JSON формате;
- «Digitally Reconstructed Radiographs» – отображается двухмерная реконструкция двухмерного рентгеновского изображения, сгенерированная из трехмерного КТ изображения;
- «CXR Lungs Segmentation» – выполняется визуализация отсегментированной области легкого поверх исходного двухмерного рентгенографического изображения в виде зеленого полупрозрачного слоя;
- «CXR CAD (heatmap)» – отображается тепловая карта (см. рис. 6) областей легкого на рентгеновских изображениях, предположительно ассоциированных с патологическими процессами;
- «CXR CAD (analysis)» – отображает вероятности наличия различных заболеваний на приведённом двухмерном рентгенографическом изображении (рис. 7).

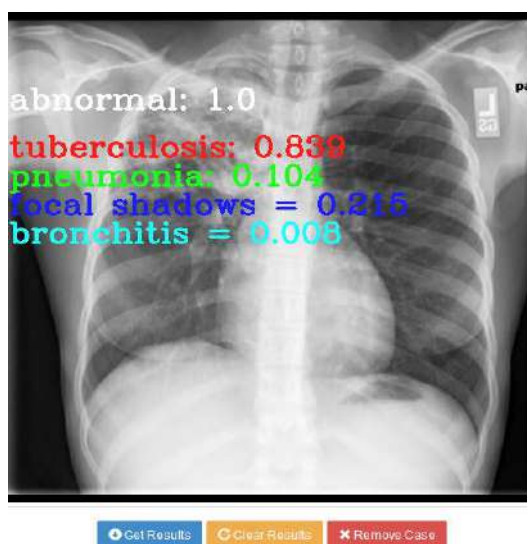


Рис. 7. Вероятности различных заболеваний, как результат анализа рентгенографического изображения грудной клетки с помощью приложения «CXR CAD (analysis)»

LungExpert выполняют предварительную проверку входных данных. Если пользователь загрузил изображение другой модальности (не КТ и не рентгенографию грудной клетки), а, например, УЗИ, ПЭТ, МРТ, бинарную маску либо КТ / рентген другого органа, например, конечности, брюшной полости, головы или всего тела целиком, то приложение выдаст сообщение об ошибке (рис. 8), что входные данные не корректны.

Под изображением, которое не может быть обработано LungExpert, находятся две кнопки:

- синяя «Error text», которая открывает дополнительное окно с описанием причины ошибки;
- красная «Remove Case», с помощью которой можно удалить изображение из рабочей панели и сервера.



Рис. 8. Сообщение о том, что изображение не может быть обработано

Методы искусственного интеллекта. В основе работы программы LungExpert лежат глубокие сверточные нейронные сети. Для обучения искусственных нейронных сетей требуется большое количество размеченных данных. Для разметки данных были привлечены специалисты-рентгенологи, которые просматривали КТ изображения и размечали области интереса с пораженными участками различных типов. Кроме этого, создан набор данных КТ изображений, содержащий размеченные в полуавтоматическом режиме области легких. Оба набора размеченных изображений (ручной и полуавтоматический) включают в себя достаточное для устойчивого обучения алгоритмов количество изображений. Полученные наборы размеченных изображений усилены данными из открытых источников.

Заключение. Программный комплекс LungExpert используется в компьютеризированной диагностике заболеваний легких. Устойчивые алгоритмы сегментации легких на КТ и рентгеновских изображениях обеспечивают высокое качество работы программного обеспечения. Повышение точности сегментации достигнуто за счет нескольких факторов, включая модификации архитектур нейронных сетей, использования размеченных изображений из различных наборов данных, в том числе и ручная разметка специалистами-рентгенологами, а также использование аугментации данных и специфических метрик в процессе оптимизации. Способ реализации программного комплекса LungExpert в виде веб-сервиса значительно упрощает работу с ним. От конечного пользователя не требуется установка, настройка и обновление программного обеспечения. В данный момент сервис бесплатный и открыт для всех желающих по адресу <https://lungs.org.by>.

Список использованных источников

1. The TB Portals: an Open-Access, Web-Based Platform for Global Drug-Resistant-Tuberculosis Data Sharing and Analysis / A. Rosenthal [et al.] // Journal of Clinical Microbiology. – 2017. – Vol. 55. – No. 11 – P. 3267–3282. DOI: 10.1128/JCM.01013-17.
2. Biomedical Image Recognition in Pulmonology and Oncology with the Use of Deep Learning / V. A. Kovalev, V. A. Liauchuk, D. M. Voynov, A. V. Tuzikov // Pattern Recognition and Image Analysis. – 2021. – Vol. 31. – P. 144–162. DOI: 10.1134/S1054661821010120.
3. A comparative study of three Deep Learning-Based methods for segmentation of lung lesions associated with COVID-19 in 3D CT images / V. A. Kovalev, V. A. Liauchuk,

S. V. Trukhan, E. V. Snezhko // Big Data and Advanced Analytics, the 7th Intern. Conf., Minsk, 20-21 May, 2021, BSUIR University. – 2021. – P. 13–19.

4. Rapid Artificial Intelligence Solutions in a Pandemic - The COVID-19-20 Lung CT Lesion Segmentation Challenge / Holger Roth, Ziyue Xu, Carlos Tor Diez [et al.] // PRE-PRINT (Version 1) available at Research Square. – 2021. DOI: 10.21203/rs.3.rs-571332/v1.

ПРЕДОПЕРАЦИОННОЕ КОМПЬЮТЕРНОЕ 3D-МОДЕЛИРОВАНИЕ В ПЛАНИРОВАНИИ ОРГАНОСОХРАНЯЮЩЕЙ РЕКОНСТРУКТИВНОЙ ОПЕРАЦИИ ПО ПОВОДУ ОПУХОЛИ ЛЕГКОГО ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЛОКАЛИЗАЦИИ

С. А. Еськов[✉], С. А. Красный, В. Т. Малькевич

Республиканский научно-практический центр онкологии и медицинской
радиологии им. Н. Н. Александрова, Минск, Беларусь
445e@mail.ru

Введение. Радикальная операция является методом выбора лечения пациентов с локализованным карциноидом и немелкоклеточным раком легкого (НМРЛ). Стандартом объема операции при центральном раке легкого является удаление легкого – пневмонэктомия [1]. Данный объем операции сопровождается высоким риском послеоперационных осложнений и летального исхода. Летальность достигает 9,2 % [2]. После удаления органа часто снижается качество жизни пациентов из-за развивающегося дыхательной недостаточности. Пациенты становятся инвалидами II или III группы, теряют трудоспособность или вынуждены сменить род деятельности. Альтернативой пневмонэктомии, лишенной перечисленных недостатков, является выполнение сложной органосохраняющей операции с реконструкцией бронхов и сосудов легкого. Выбор варианта операции зависит от ряда индивидуальных факторов, среди которых гистологическая принадлежность опухоли, ее размеры, локализация, варианты ветвления бронхов и сосудов и их вовлеченность в опухолевый процесс. На практике решение о применимости органосохраняющего подхода принимается во время операции. Оно является субъективным и зависит от уровня технического оснащения, подготовки, опыта и предпочтений операционной бригады. В Республике Беларусь ежегодно пневмонэктомия по поводу рака легкого выполняется у 200-250 пациентов. Снижение числа необоснованных пневмонэктомий является актуальной социально-экономической задачей. Чрезвычайно важной представляется разработка метода дооперационной оценки выполнимости органосохраняющей операции. Одним из вариантов решения проблемы объективизации выбора объема операции является применение предоперационного компьютерного 3D-моделирования вовлеченных структур и опухоли с построением виртуального плана операции [3]. Использование искусственного интеллекта в построении 3D-модели способно повысить производительность данного процесса.

Цель работы. Оценить роль компьютерного 3D-моделирования в планировании и оценке выполнимости органосохраняющего оперативного вмешательства с реконструкцией бронхов и сосудов легкого при карциноиде и немелкоклеточном раке легкого (НМРЛ) центральной локализации.

Материалы и методы. С января 2021 по август 2022 г. в исследование включен 31 пациент с диагнозом опухоли легкого центральной локализации с показаниями к выполнению пневмонэктомии. Возраст пациентов от 25 до 73 лет. Диагноз карциноида бронха установлен у 5 пациентов, НМРЛ – у 26. Согласно оригинальному алгоритму на основе компьютерной томографии органов грудной полости выполнено предоперационное компьютерное 3D-моделирование заинтересованных внутригрудных структур и опухоли с помощью пакета анализа медицинских изображений 3D Slicer [4]. При использовании пакета 3D Slicer сегментация изображений и построение 3D-моделей осуществлялось с применением надстроек, основанных на алгоритмах искусственного интеллекта. Контроль качества сегментации и построения модели осуществлялся оперирующим хирургом. Им же осуществлялось определение расположения линии пересече-

ния бронхов и сосудов с учетом индивидуальных анатомических особенностей, взаимного расположения опухоли, бронхов и сосудов и возможности последующей реконструкции. Операция считалась выполнимой при возможности отсечения бронхов и сосудов на расстоянии от опухоли вдоль оси структуры не менее 10 мм при карциноиде и 15 мм при НМРЛ. На основании расчетов оценивалась выполнимость и производился выбор оптимального варианта органосохраняющего вмешательства. В 25 случаях органосохраняющее вмешательство признано выполнимым, в 6 единственном возможным объемом оперативного вмешательства признана пневмонэктомия. Во время операции осуществлялось срочное гистологическое исследование лимфоузлов корня сохраняемой доли легкого и краев отсечения резецируемых структур. Интраоперационными критериями выполнимости органосохраняющей операции были отсутствие опухолевого роста в краях отсечения и в лимфоузлах корня сохраняемой доли легкого.

Пример отчета, получаемого в результате 3D-моделирования в пакете 3D Slicer, показан на рис. 1.



Рис. 1. Пример отчета, получаемого по результатам анализа 3D-модели

Результаты. Органосохраняющая операция выполнена согласно плану в 24 из 25 случаев (96,2 %). Лишь в 1 случае (3,8 %) прогноз ее выполнимости оказался ошибочным по причине выявления во время операции метастаза в лимфоузле корня сохраняемой доли легкого, выполнена пневмонэктомия. Чувствительность описанного метода дооперационной оценки выполнимости органосохраняющей операции при раке легкого карциноиде центральной локализации составила 100 %, специфичность – 85,7 %, общая точность – 96,8 %. Операция в объеме верхней лоб- или билобэктомии с циркулярной резекцией (ЦР) бронхов выполнена в 15 случаях, из них у 4 с резекцией легочной артерии. У 6 пациентов выполнена лоб- или билобэктомия с сегментэктимией S6 с ЦР бронхов, из них у 3 – легочной артерии. У 3 операция выполнена в объеме правосторонней верхней билобэктомии с клиновидной (1) или ЦР (2) бифуркации трахеи, ЦР легочной артерии, у 2 с сегментэктимией S6. У этих 3 пациентов бронх имплантирован в медиальную стенку левого главного бронха. Все операции носили радикальный характер (R0). У двоих пациентов операции на легком предшествовал этап кардиохирургической коррекции патологии сердца и его сосудов. В группе пациентов после органосохраняющей операции осложнения отмечены у 7 пациентов (29,2 %): нестабильный аэрозтаз – 3, нарушение сердечного ритма – 2, тромбоэмболия легочной артерии – 1, стеноз межбронхиального анастомоза – 1, нагноение послеоперационной раны – 1. Послеоперационная 30-дневная летальность составила 4,2 % (n=1). Продолжительность наблюдения после операции составила от 1 до 20 месяцев, медиана времени наблюдения – 6,3 месяца. Один пациент (аденокарцинома, GIII, pT4N2M0) умер спустя 8,5 месяцев от прогрессирования опухолевого процесса с поражением головного мозга.

Обсуждение. Проведенное исследование показало высокую эффективность использования виртуальных 3D-моделей в дооперационной оценке выполнимости радикальной органосохраняющей операции. Применение метода в масштабах Республики Беларусь способно повысить долю пациентов, получающих радикальное хирургическое лечение в органосберегающем объеме, что имеет большую социально-экономическую значимость, поскольку позволит сохранить трудоспособность и избежать инвалидизации пациентов. Применение искусственного интеллекта с целью автоматизации процесса построения и анализа 3D-моделей способствует повышению производительности обработки данных.

Вывод. Предоперационное 3D-моделирование позволяет с учетом анатомических особенностей пациента и расположения опухоли легкого с высокой точностью оценить выполнимость органосохраняющей операции, обеспечивая радикализм операции и минимальную частоту осложнений.

Список использованных источников

1. For non-small cell lung cancer with T3 (central) disease, sleeve lobectomy or pneumonectomy? / Q. Ma [et al.] // Journal of thoracic disease. – 2016. – Vol. 8, № 6. P. 1227–33.
2. Risk of pneumonectomy after induction therapy for locally advanced non-small cell lung cancer / T.A. d'Amato [et al.] // The Annals of Thoracic Surgery. – 2009. – Vol. 88, № 4. – P. 1079–1085.
3. Extended sleeve lobectomy is an alternative for centrally located lung cancer with superior short- and long-term outcomes / X. Wang [et al.] // Clin Lung Cancer. – 2021. – Vol. 22. – № 4. – P. 1988–97.
4. 3D Slicer as an Image Computing Platform for the Quantitative Imaging Network / A. Fedorov [et al.] // Magnetic Resonance Imaging. – 2012. – Vol. 30, № 9. – P. 1323–41.

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ СРЕДИ НАС: НЕОБХОДИМОСТЬ ПРАВОВОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

М. С. Абламейко

Белорусский государственный университет Минск
m.ablameyko@mail.ru

Введение. Становление и последующее развитие информационного общества изменило многие аспекты жизнедеятельности в целом. Внедрение информационно-коммуникационных технологий привело к изменениям всех сфер жизни. С момента появления первого компьютера до полной роботизации производств прошло не так и уж и много времени. И в настоящее время вопрос стоит не только в том, каким образом заменить рутинную работу человека роботом, т.е. просто заложить алгоритмы определенных действий, но и наделить робота интеллектом. Все это привело к возникновению понятия искусственного интеллекта.

Можно сказать, что искусственный интеллект представляет собой информационную систему, разработанную для того, чтобы наделить компьютер имитирующими человека способностями: слухом, зрением, способностью к обучению [1].

Использование ИИ в различных сферах жизнедеятельности положительно влияет на развитие общества, так как упрощаются многие производственные процессы. Роботизация и применение систем ИИ в промышленности позволила оптимизировать многие процессы, сократить сроки выполнения работ, исключить необходимость присутствия человека на вредных производствах, сократить уровень травматизма.

Широко дискутируется вопрос замены человека на робота в профессии. Смогут ли ИИ заменить врача, судью, прокурора или адвоката? Во многих сферах деятельности роботы и системы ИИ начинают понемногу заменять человека. Однако, очевидна необходимость правового и этического регулирования данной сферы, минимизации вреда, который может наноситься роботами и увеличения пользы, приносимой ими.

Также правовое регулирование в рассматриваемой сфере отстает от потребностей сегодняшнего дня. С одной стороны, это объяснимо тем, что оно возможно после внедрения тех или иных технологий – продукта правового регулирования, и только затем принимается акт, регулирующий его функционирование. С другой стороны, технологии развиваются настолько быстрыми темпами, что сделать это вовремя с учетом длительности процедуры принятия актов законодательства практически невозможно, поэтому в большинстве стран оно отсутствует [2].

Правовое регулирование ИИ. Искусственный интеллект уже интенсивно порождает новые существенные вызовы (и очевидно, что их будет все больше и больше), сопряженные с крайне сложно просчитываемыми рисками, создает беспрецедентно много неопределенностей. И правовое регулирование в этой сфере не просто не поспевает, но уже на сегодняшний день безнадежно отстало от технологического развития.

Вместе с тем, следует отметить, что право никогда не сможет идти впереди развития технологий. Т.е. сначала необходимо создать технологию, и только потом задаваться вопросом как ввести ее в правовое поле. Ведь для того чтобы использовать правовые механизмы необходимо точно понимать на что они направлены.

Таким образом, при разработке законодательных актов в данной сфере необходимо учитывать множество факторов. В ближайшем будущем роботы не смогут полностью заменить человека. При осуществлении совместной деятельности необходимо устанавливать правовые рамки роботов и людей точно определяющие нормы поведения тех и других в различных ситуациях.

Общемировой сегодня является проблема практически полного отсутствия нормативного правового регулирования и нормативного технического регулирования основ, условий и особенностей разработки, запуска в работу, функционирования и деятельности, интеграции в другие системы и контроля применения технологий искусственного интеллекта. Лишь отдельные государства начинают разрабатывать соответствующие правовые акты, но рассматриваемая проблема связана с рамками национального законодательства. Поэтому и стандартизация в этой сфере должна быть осуществлена, прежде всего, на глобальном уровне [3].

Мировое сообщество в целом и отдельные страны, в частности, все больше внимания уделяют вопросу разграничения прав людей и роботов.

Первые шаги в этом направлении делаются в Европе. В феврале 2016 г. Европарламент принял резолюцию «Нормы гражданского права в робототехнике», в которой парламентарии обратили внимание на важность развития законодательной базы, а также отметили необходимость введения единой системы классификации роботов и общеевропейской системы их регистрации [4]. В 2018 году создана Платформа European AI Alliance – Европейский альянс по искусственному интеллекту. Экспертная группа Платформы разработала «Руководство по этике для достоверного искусственного интеллекта», где перечислены семь ключевых требований, которым должны соответствовать системы ИИ: надзор со стороны человека; техническая надежность и безопасность; конфиденциальность и управление данными; прозрачность; справедливость; общественное и экологическое благополучие; подотчетность. [5]. Многие страны приняли законы, регулирующие отдельные вопросы использования роботов, к примеру роботов-курьеров (Эстония, 2017 г.), дронов, транспорта с автономным управлением (Германия). В марте 2013 г. приняты Инициативы Франции в сфере робототехники.

В Российской Федерации юридическое понятие «искусственный интеллект» впервые было сформулировано на подзаконном уровне Указом Президента РФ от 10 октября 2019 г. № 490 «О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации», впоследствии переключившись в Федеральный закон от 24 апреля 2020 г. № 123-ФЗ «О проведении эксперимента по установлению специального регулирования в целях создания необходимых условий для разработки и внедрения технологий искусственного интеллекта в субъекте Российской Федерации - городе федерального значения Москве и внесении изменений в статьи 6 и 10 Федерального закона «О персональных данных» [6].

В Республике Беларусь в 2017 году был издан декрет Президента Республики Беларусь №8 от 21.12.2017 г. «О развитии цифровой экономики». В нем предприняты первые попытки в отношении регулирования рассматриваемой сферы. Так, согласно п. 5, запланировано проведение в рамках Парка высоких технологий правового эксперимента для апробации новых правовых институтов на предмет возможности их имплементации в гражданское законодательство страны.

Быстрое развитие ИИ позволяет сделать вывод об отсутствии единообразных подходов к оценке рисков, связанных с использованием ИИ.

Парадоксы правового регулирования систем ИИ. Проблемой, возникающей при использовании ИИ, является вопрос о том, кто является правообладателем системы ИИ. В большинстве стран деятельность системы ИИ или робота приравнивается к деятельности создавшего его разработчика. С юридической точки зрения, правообладателем ИИ может быть признан человек, управляющий роботом, использующий его для создания того или иного действия или объекта.

Проблема в том, что ИИ обычно обучается на больших массивах данных. В ходе обучения происходит подстройка параметров алгоритма под обучающую выборку (т.е. под большой массив данных), и эти подобранные параметры и есть результат процесса обучения (ключевой компонент для успешной эксплуатации ИИ). Поэтому возникает

вопрос, является ли созданный алгоритм ИИ производным произведением от базы данных, на которой он обучался. Ответ на данный вопрос не является очевидным. Если алгоритм ИИ считать производным произведением от базы данных, разработчику важно получать лицензию на базу данных, допускающую создание производных произведений.

Широко обсуждаются как в доктрине, так и на уровне правительственных органов вопросы, кто является ответственным за причинение вреда жизни или здоровью при эксплуатации ИИ, в частности можно ли возложить ответственность на разработчика программы ИИ или производителя товара, работающего на основании ИИ?

Во многих исследованиях, посвященных правовому регулированию в области ИИ, в качестве возможных правообладателей выделяют: разработчика программного обеспечения на основе ИИ; пользователя программы; владельца оборудования, применяемого для функционирования программы; программное обеспечение. Поскольку последнее пока не признано субъектом права ни в одной стране мира, программу можно рассматривать лишь как «фактического автора» созданного объекта интеллектуальной собственности, тогда как с правовой точки зрения автором является человек.

Еще одним вариантом может быть: считать результаты, созданные программой самостоятельно, без вмешательства человека, неохраноспособными.

То есть очевидна необходимость подготовки специального закона, четко разграничивающего права робота и человека, регулирующего правоотношения и определяющего ответственность каждого из них в каждом конкретном случае. До принятия такого закона остается правовая неопределенность в части возникновения, использования и распоряжения исключительными правами на результат интеллектуальной деятельности, созданный с помощью технологий ИИ.

Вопрос о правовом сопровождении создания систем ИИ широко дискутируется в юридическом сообществе. Высказывается мнение о том, что совершенствование законодательства должно осуществляться по трем направлениям: стимулирование процесса разработки инновационных технологий искусственного интеллекта; правовая охрана ИИ и создаваемых с их помощью продуктов как объектов интеллектуальной собственности; ответственность за решения и действия, предпринимаемые с использованием систем искусственного интеллекта [7, 8].

Следует признать, что в данный момент потребность в формировании самостоятельной отрасли законодательства о робототехнике и искусственном интеллекте может показаться неочевидной. Кроме того, не имеет однозначного ответа и вопрос о месте норм, посвященных правовому регулированию робототехники, в системе действующего нормотворчества. Нерешенность этого вопроса может сказаться на дальнейшей юридической регламентации других отраслей, вызвав существенные противоречия. Они могут начаться с базовых расхождений (определения таких понятий как «робот», «искусственный интеллект») и закончиться разными подходами к решению вопроса ответственности таких систем.

При разработке законодательства необходимо учитывать этические нормы искусственного интеллекта, т.е. необходимо строить этический ИИ. Этический ИИ – это ИИ, который действует и ведет себя этично. Необходимо признать и понять потенциальные этические и моральные проблемы, которые могут быть вызваны при внедрении и использовании систем искусственного интеллекта. Необходимо изначально создавать ИИ, демонстрирующий этичное поведение.

В 2019 году ЕС опубликовал первые руководящие принципы по этическому развитию искусственного интеллекта, в которых предупреждается, что алгоритмы не должны дискриминировать по признаку возраста, расы или пола [9]. Индустрия ИИ должна соответствовать существующим правилам конфиденциальности, защиты прав потребителей и экологическим стандартам. В частности, отмечается, что компании, ис-

пользующие ИИ в Европе, должны информировать людей каждый раз, когда они взаимодействуют с ИИ.

ЮНЕСКО разработала рекомендации об этических аспектах искусственного интеллекта [10]. Отмечается, что необходимо разработать международные и национальные стратегии и нормативные базы с целью обеспечения использования ИИ на благо всего человечества.

В ответ на это, многие компании, работающие в сфере ИИ стали разрабатывать свои принципы, нормы работы с системами ИИ. Показательным является пример Сбербанка России, который разработал следующие принципы этики искусственного интеллекта [11]: контролируемость и управляемость систем ИИ; прозрачность и предсказуемость функционирования; стабильность и надежность систем ИИ; ответственное применение ИИ; непредвзятый ИИ.

Также является очень важным обучать людей, которые будут широко использовать системы ИИ. Они должны понимать, как ИИ может влиять на их жизнь людей и использовать ИИ-системы для увеличения его преимуществ при одновременном смягчении их потенциального вреда. Отчасти это может произойти за счет более полного и систематического включения этики ИИ в учебные программы вузов, колледжей и различных курсов. Этические вопросы развития ИИ должны занимать центральное место в образовательных усилиях по построению систем ИИ.

В Российской Федерации в рамках Национальной программы «Цифровая экономика» в настоящее время выполняется ФП «Нормативное регулирование цифровой среды», который направлен на разработку и реализацию законодательных инициатив, направленных на снятие первоочередных барьеров, созданию возможности для появления новой, более эффективной системы управления изменениями, выработке подходов к решению ряда теоретических и практических вопросов, возникающих в связи с трансформацией общественных отношений, в том числе в связи применением технологии ИИ [12]. В рамках мероприятий данного ФП предусматривается формирование регулирования в сфере робототехники и применения технологий ИИ. В частности, предполагается разработка концепции регулирования технологий ИИ и робототехники, а также закона о содействии ИИ и робототехнике.

Предложения по развитию правового регулирования ИИ. Для обеспечения правового регулирования вопросов, связанных с ИИ, необходима всесторонняя междисциплинарная дискуссия. В ней наряду с юристами должны участвовать разработчики ИТ-систем, роботов и систем искусственного интеллекта, чиновники заинтересованных ведомств, технические работники, философы, социологи и экономисты.

Для построения будущей стратегии развития предметного законодательства необходимо четко определить приоритеты, возможности и потенциал в области робототехники и ИИ, подготовить программу развития ИИ в стране, включающую блок вопросов, посвященных праву и законодательству.

Каждому ведомству необходимо разработать "дорожные карты" по внедрению ИИ в деятельность своих ведомств и отраслей.

В части использования ИИ органами государственной власти необходимо разработать и принять Типовые правила использования технологий ИИ в органах государственной власти, а также в подведомственных им организациях.

В правилах следует закрепить этические принципы использования технологий ИИ, например можно взять за основу принципы, изложенные в Европейской этической хартии об использовании искусственного интеллекта в судебных системах и окружающих их реалиях (принята на 31-м пленарном заседании Европейской комиссии по эффективности правосудия, Страсбург, 03–04.12.2018), в том числе принципы соблюдения основных прав, недискриминации, качества и безопасности, прозрачности, беспристрастности и достоверности, принцип контроля пользователем.

Структурно Типовые правила использования технологий ИИ в органах государственной власти, а также в подведомственных им организациях могут включать следующие компоненты: цели и задачи использования ИИ; основные направления использования ИИ; полномочия в сфере использования ИИ, порядок планирования и организации работы в сфере использования ИИ, в том числе формирование планов и показателей деятельности, координационных и совещательных органов, рабочих групп и др.; основные правила использования технологий ИИ в органах государственной власти, а также в подведомственных им организациях; контроль за использованием технологий ИИ; этические принципы использования технологий ИИ [13].

Мы считаем, что в каждой отрасли необходимо разработать свои стандарты (ГОСТы) по тестированию и применению систем искусственного интеллекта. Документ должен регламентировать требования к испытаниям и применению систем ИИ. Специалисты должны получить точную оценку, соответствует ли продукт заявленным характеристикам точности, эффективности, а главное — не несет ли он риски для здоровья человеку.

Для этого необходимо проводить испытания ИИ-систем и оценивать их результаты. Оценка испытаний ИИ-систем может включать в себя три этапа. На первом этапе аналитическая валидация подтверждает способность систем точно, воспроизводимо и надежно обрабатывать данные. Затем проверяется соответствие выходных данных таких систем заявленному функциональному назначению. На третьем этапе подтверждается эффективность системы, а именно способность выдавать значимые результаты.

В дальнейшем, необходимо принятие основ законодательства в этой сфере, например, в формате специального закона «О развитии ИИ (или робототехники)». После этого потребуются «пакетные» изменения в конкретных отраслях, где внедряются или ожидается внедрение роботов. По существу, они коснутся ключевых кодексов — Гражданского и Уголовного, законов об охране здоровья граждан, защите информации, безопасности дорожного движения и др. Потребуется также корректировка ведомственных подзаконных актов: административных, технических регламентов, постановлений и т.д. Учитывая сложность проблемы внедрения систем ИИ в жизнь, на первой стадии развития законодательства в сфере искусственного интеллекта целесообразно разработать закон, касающийся робототехники, а на второй — внедрения систем ИИ. При разработке законов необходимо учитывать этические нормы систем искусственного интеллекта.

Заключение. Анализ перспектив развития законодательства в сфере регулирования использования ИИ свидетельствует о комплексном характере предстоящих изменений в законодательстве. Все они позволят решить проблемы, обусловленные фактическим внедрением в жизнь ряда технологий ИИ. Важную роль в этом процессе будет играть и международная практика регулирования данных отношений, а также законодательство ведущих региональных организаций и платформенного права. При этом на международном уровне в решении проблем регулирования использования ИИ приоритетным станет использование механизмов «мягкого права».

Завершая, мы еще раз подчеркнем важность развития правового регулирования систем ИИ и особенно в условиях быстрого развития и внедрения систем общего ИИ, которые очень скоро сами смогут принимать очень важные решения, касающиеся жизни и деятельности каждого человека и общества в целом.

Для реализации всех этих замыслов необходимо формирование междисциплинарного подхода к изучению философских, экономических, правовых, политических и социальных аспектов применения ИИ.

Список использованных источников

1. Рассел С., Норвиг П. Искусственный интеллект: современный подход. 2-е издание, изд-во «Вильямс». 2016. - 1408 с.

2. Абламейко М. С., Абламейко С. В. Правовое регулирование взаимодействия систем искусственного интеллекта и человека // Научно-практический журнал «Наука и инновации». – 2020. № 1 (203). – С. 40-44.
3. Понкин И. В., Редькина А. И. Искусственный интеллект с точки зрения права // Вестник РУДН. Серия: Юридические науки. – 2018. Т. 22. № 1. С. 91–109.
4. Резолюция Европарламента от 16 февраля 2017 года 2015/2013(INL) P8_TA-PROV(2017)0051. – 2017. – https://robopravo.ru/riezoliutsiia_ies (Дата обращения: 6.07.2021).
5. The European AI Alliance. – 2021. – <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/european-ai-alliance>. (Дата обращения : 16.07.2022).
6. Искусственный интеллект и право: есть контакт? – 2020. – <https://www.garant.ru/news/1401154/> (Дата обращения : 16.07.2022).
7. Незнамов А. В., Наумов В. Б. Вопросы развития законодательства о робототехнике в России и в мире // Юридические исследования. – 2017. № 8. С. 14 - 25. DOI: 10.25136/2409-7136.2017.8.23292.
8. Толочко О. Н. Тенденции правового регулирования объектов и технологий, связанных с искусственным интеллектом // Юстиция Беларуси. № 3. – 2019. С. 35–39 – URL: <https://justbel.info/archive/Number/345>. (Дата обращения: 16.07.2022).
9. EU publishes guidelines on ethical artificial intelligence. <https://www.ft.com/content/32032c8a-5a0b-11e9-9dde-7aedca0a081a>. (Дата обращения : 16.07.2022).
10. UNESCO - 2020. Разработка рекомендации об этических аспектах искусственного интеллекта. <https://ru.unesco.org/artificial-intelligence/ethics>.
11. Принципы этики искусственного интеллекта Сбера. <https://www.sberbank.com/ru/sustainability/principles-of-artificial-intelligence-ethics>
12. https://zakon.ru/blog/2020/6/10/otdelnye_aspekty_gosudarstvennoj_politiki_v_sfer_e_razvitiya_tehnologii_iskusstvennogo_intellekta
13. Егорова М. А., Минбалеев А. В., Кожевина О. В., Ален Дюфло. Основные направления правового регулирования использования искусственного интеллекта в условиях пандемии, Вестник Санкт-петербургского университета, Право, т. 12. вып. 2, 2021, с. 250-262.

ПРОДУКЦИОННО-ФРЕЙМОВАЯ МОДЕЛЬ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЗНАНИЙ В ЛОГИЧЕСКОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЦИФРОВЫХ СХЕМ

П. Н. Бибил[✉], В. И. Романов

Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси, Минск
bibilo@newman.bas-net.by

Введение. Методы искусственного интеллекта (ИИ) активно проникают в различные отрасли науки и практики человеческих взаимоотношений, в том числе в системы автоматизации проектирования технических систем. Например, методы ИИ и соответствующие системы автоматизированного проектирования (САПР) машиностроительных конструкций и технологических процессов давно развиваются в МГТУ им. Баумана (г. Москва) [1], в отличие от недостаточного развития в России интеллектуальных систем для проектирования микроэлектронных изделий. Проектирование современных цифровых систем на элементной микроэлектронной базе сверхбольших интегральных схем (СБИС) и систем-на-кристалле представляет собой сложнейшую научно-техническую проблему в связи с постоянно уменьшающимися проектными технологическими нормами возрастанием числа транзисторов на кристаллах. В настоящее время в Российской Федерации признано, что одной из важнейших государственных научно-технических проблем является создание производств и систем автоматизированного проектирования (САПР) микроэлектронных изделий на отечественной элементной базе заказных и полузаказных СБИС, хотя проблематика важности создания отечественных САПР микроэлектронных изделий поднималась в научно-технической литературе уже давно [2].

Краткий обзор применения методов ИИ в проектировании цифровых СБИС. Применение методов ИИ в САПР микроэлектроники можно представить на примере ф. Mentor Graphics, в которой развиваются инструменты проектирования, основанные на методах и алгоритмах ИИ - алгоритмах машинного обучения. Созданы пять инструментов, которые используют дополнительные возможности машинного обучения, и большинство из них ориентировано на сферы физического проектирования, верификации и производства: машинное обучение для описания библиотек и моделирования, коррекции оптических искажений в фотолитографии, моделирования литографии и моделирования химико-механической полировки. Признается (Joseph Sawicki, вице-президент подразделения САПР ИС в Mentor, Siemens Business), что большое внимание в ближайшем будущем будет уделяться проблемам алгоритмического и логического проектирования, в том числе системе Catapult HLS (High Level Synthesis – высокоуровневый синтез) со стороны компаний, разрабатывающих ускорители на основе методов ИИ. Это обуславливается тем, что проектирование СБИС включает в себя многочисленные этапы, позволяющие преобразовать исходные алгоритмические спецификации на языках проектирования в топологические описания, по которым изготавливаются кристаллы, а центральным этапом является логическое проектирование, результатом работы которого являются логические схемы в технологических базисах. Синтез логических схем включает этап оптимизации, который и определяет основные характеристики логической схемы: площадь (число транзисторов), быстродействие, энергопотребление. Основным подходом к автоматизации синтеза и к системной организации САПР цифровых заказных СБИС является подход, основанный на модульном принципе реализации и выполнения проектных процедур. Взаимодействие модулей осуществляется на языке Tcl (Tool Command Language), представляющем собой язык управления приложениями. Примерами организации САПР на таких принципах являются система

моделирования ModelSim и система синтеза логических схем LeonardoSpectrum [3] (ф. Mentor Graphics), а также система Vivado [4] проектирования микросхем FPGA компании Xilinx, в которых можно применять скрипты, написанные на языке Tcl [5], для управления процессами проектирования.

Система FLC-2 логической оптимизации функционально-структурных описаний цифровых устройств. Первая версия FLC системы FLC-2 логической оптимизации функционально-структурных описаний цифровых устройств была описана в монографии [6]. В качестве исходных данных для этой системы выступают функциональные либо иерархические функционально-структурные описания проектируемых логических схем на языке SF [6]. Результатом является оптимизированное описание, на основе которого можно получить логическую схему меньшей сложности и большего быстродействия. Схема на языке SF определяется последовательностью функционально-структурных описаний подсхем (блоков), из которых состоит схема. Иерархия описания схемы представляется в виде дерева, вершине дерева соответствует отдельный блок. Любой не листовой блок, соответствующий узлу дерева иерархии, выражается заданием связей входящих в него подсхем. Функциональные описания листовых блоков дерева иерархии описания представляют собой либо логические уравнения - скобочные выражения в булевом базисе И, ИЛИ, НЕ (LOG-формат), либо матричные формы представления систем булевых функций в виде ДНФ (SDF-формат). Если головной блок описан на функциональном уровне, то в этом случае весь проект представляет собой один листовой блок. Возможности использования матричных форм и иерархических описаний являются важными отличительными особенностями языка SF от RTL-описаний, получаемых командой *unmap* в известном синтезаторе LeonardoSpectrum [3] и используемых при перепроектировании логических схем в этом либо других промышленных синтезаторах.

В рамках системы FLC реализована интеллектуальная поддержка проектирования, основанная на применении продукционно-фреймовой модели представления знаний [6] соответствующих методах логического вывода. Фреймовая модель позволяет выделить «рамки» описания проектных ситуаций, продукционная модель дает возможность описать проектные действия в экспертном режиме работы системы автоматизированного проектирования. Проблемная область связана с объектами проектирования, языками их описания на различных уровнях и методами проектирования - методами детализации, экстракции, оптимизации, верификации объектов проектирования. Логические выводы используют атрибуты, характеризующие проект и программные модули, экспертными знаниями являются сведения о цепочках проектных процедур и операций, т.е. сведения о маршрутах проектирования. Из продукций, основанных на логических правилах вида «если $\rightarrow$ то», могут быть составлены иерархически организованные стратегии, для которых формализованы и программно реализованы соответствующие методы их исполнения.

Полезные качества, обеспечиваемые применением данной модели, оказались весьма продуктивными и это привело к сохранению общей архитектуры в некоторых других системах автоматизированного проектирования, например, в [7]. Вместе с тем, к настоящему времени появились новые методы логической оптимизации, существенно расширились возможности использования инструментария разработки, стиля применяемого человеко-машинного интерфейса, базового функционального обеспечения. Это привело к тому, что базовый вариант программного обеспечения системы FLC подвергся существенной модернизации, действующий вариант которой получил название FLC-2 [8].

Основное внимание в FLC-2 уделено программам оптимизации комбинационной логики, описываемой после выполнения этапа высокоуровневого синтеза различными формами представления систем полностью определенных логических функций. Пере-

ход к внутренним представлениям на языке SF от исходных VHDL-описаний комбинационной логики требует разработки соответствующих программ-конверторов [9]. Для разработки комбинированных алгоритмов оптимизации возникают задачи разбиения исходных описаний на блоки (подсхемы) и обработки иерархических описаний. Иерархия задает структурные описания, а листовыми блоками в иерархических описаниях являются функциональные описания. Программная реализация комбинированных алгоритмов обработки листовых описаний и изменения иерархии описаний потребовало выбора дополнительных атрибутов, фреймов и продукций, т.е. пополнения соответствующей базы знаний и создания новой архитектуры системы для запуска программных приложений. Для проведения экспериментов по определению эффективности комбинированных алгоритмов и программ выполнена разработка программ создания стратегий и соответствующих скриптов, обрабатывающих наборы примеров схем.

Новизна FLC-2 заключается в создании нового языка управления приложениями, выполняющими проектные процедуры. При этом предполагается иерархическая организация проекта. Реализованный язык, основанный на продукционно-фреймовой модели представления знаний в области логического проектирования, поддерживает обход проекта и выполнение проектных процедур для различных уровней иерархии проекта. В существующих языках, таких как Tcl, всегда требуется конкретное указание узла проекта и проектного действия. Таким образом, новый язык позволит более компактно описывать единообразные действия для проекта в целом. При этом необходимо решить ряд проблем, связанных с представлением проектных модулей и управлением модулями. Язык атрибутов и иерархически описываемых продукций, а также логический вывод являются основными решаемыми проблемами. Часть атрибутов описания проекта и системы оптимизации вычисляется самими программными модулями, а часть - системой оболочкой или механизмами реализации продукций. Собственно, этот механизм и является ключевым элементом искусственного интеллекта, который полностью отсутствует в Tcl. Программные модули реализации проектных процедур унифицированы по способу вызова и возврата, что позволяет их автоматический вызов, не требующий вмешательства пользователя или эксперта. При использовании Tcl вызовы каждого модуля должны быть строго определены в создаваемом сценарии проектирования, слоты, фреймы (средства группирования атрибутов), обеспечивающие их особую обработку и вычисления отсутствуют в Tcl. Стратегии в реализуемой модели представления знаний в целом соответствуют сценариям на Tcl, но содержимое сценариев есть жесткая совокупность однозначно интерпретируемых команд. Их вариативность определяется на уровне условных операторов языка Tcl и никак не связана с содержанием проекта. В существующих САПР реализуется два подхода: перечислить компоненты проекта или обрабатывать все объекты в заранее указанном директории, так как нет средств, ориентированных на изменение состава проекта. Оба существующих подхода недостаточно динамичны и не ориентированы на постоянное изменение иерархии проекта.

Изменение иерархии описания проекта позволило создать комбинированные алгоритмы логической оптимизации, используя различные процедуры логической оптимизации систем логических функций: минимизацию в классе дизъюнктивных нормальных форм (ДНФ), минимизацию многоуровневых представлений на основе разложений Шеннона, полиномов Жегалкина, алгебраических факторизованных форм, булевых сетей и др.). Подробное перечисление программ оптимизации дано в [8]. Такой подход представляет собой современный уровень в области логической оптимизации представлений систем логических функций, которые реализуются в функциональных блоках цифровых СБИС и систем-на-кристалле.

В FLC-2 реализован продукционно-фреймовый подход к обработке знаний, опирающийся на определении и использовании специализированной базы знаний. Главным отличием от системы FLC в этом направлении является переход от

«доморощенного» формата описания базы к ее представлению в общепринятом формате JSON. Фактически в программе используется библиотека RapidJSON [10], при помощи которой обеспечивается сериализация хранимой базы знаний.

Как и ранее, верхний уровень в описании базы знаний представлен набором:

```
{
  "attributes": { ... },
  "strategies": { ...
    "productions": ... },
  "frames": { ...
    "slots": ... },
  "modules": { ... },
  "menu": { ... }
}
```

Здесь "attributes" – перечень существенных свойств объектов, используемых при проектировании; "strategies" – множество заранее подготовленных сценариев (маршрутов) проектирования, определенных при помощи "productions", представляющих собой определения отдельных шагов процесса проектирования; "frames" определяют группирование объектов "slots", которые, в свою очередь, задают функциональное группирование объектов из "attributes"; "modules" представляют описания программных модулей, реализующих проектные процедуры, "menu" – описание меню таких процедур, доступное пользователю системы FLC-2 в процессе проектирования.

Международные стандарты проектирования поддержаны использованием стандартов языка VHDL для описания проектов цифровых систем - входных и выходных данных системы FLC-2.

Заключение. Применение механизма продукций и стратегий для управления процессами логического проектирования в САПР цифровых схем позволяет сократить число однотипных проектных действий, выполняемых проектировщиком, сократить время проектирования, в ряде случаев значительно улучшить качество решений за счет применения комбинированных алгоритмов оптимизации и повысить размерность решаемых задач синтеза и верификации. Эффективное использование разработанной системы FLC-2, ориентированной на сокращение площади кристаллов, обеспечит создание новых микроэлектронных изделий с улучшенными технико-экономическими показателями на отечественной элементной базе, особенно важных для специальных применений.

Список использованных источников

1. Евгеньев, Г. Б. Интеллектуальные системы проектирования / Г. Б. Евгеньев. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2009. – 334 с.
2. Слемпковский, А. Л. Развитие отечественных САПР – задача национальной технологической безопасности / А. Л. Слемпковский // Электроника: наука, технологи, бизнес. – 2008 № 8. – С. 14–19.
3. Бибилло, П. Н. Системы проектирования интегральных схем на основе языка VHDL. StateCAD, ModelSim, LeonardoSpectrum / П. Н. Бибилло. – М.: СОЛОН-Пресс, 2005. – 384 с.
4. Тарасов, И. Е. ПЛИС Xilinx. Языки описания аппаратуры VHDL и Verilog, САПР, приемы проектирования / И. Е. Тарасов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2020. – 538 с.
5. Москвин, В. П. Азбука TCL / В. П. Москвин. – М.: Горячая линия-Телеком, 2003. – 216 с.

6. Бибило, П. Н. Логическое проектирование дискретных устройств с использованием продукционно-фреймовой модели представления знаний / П. Н. Бибило, В.И. Романов. – Минск : Беларус. навука, 2011. – 279 с.

7. Бибило, П. Н. Система логического проектирования функциональных блоков заказных КМОП СБИС с пониженным энергопотреблением / П. Н. Бибило, Н. А. Авдеев, С. Н. Кардаш, Н. А. Кириенко, Ю. Ю. Ланкевич, И. П. Логинова, В. И. Романов, Д. И. Черемисинов, Л. Д. Черемисинова // Микроэлектроника. – 2017. – Т. 46. – № 1. – С.72–88.

8. Бибило, П. Н. Система логической оптимизации функционально-структурных описаний цифровых устройств на основе продукционно-фреймовой модели представления знаний // П. Н. Бибило, В. И. Романов // Проблемы разработки перспективных микро- и наноэлектронных систем. – 2020. Сб. трудов / под общ. ред. акад. РАН А. Л. Стемпковского. – М.: ИППМ РАН, 2020. – № 4. - С. 9 – 16.

9. Черемисинов, Д. И. Анализ и преобразование структурных описаний СБИС / Д. И. Черемисинов. – Мн.: Белорусская наука, 2006. – 275с.

10. URL: <http://www.rapidjson.org> (access date 19.08.2022).

ПРИМЕНЕНИЕ РЕСПУБЛИКАНСКОГО РЕГИСТРА «ТУБЕРКУЛЕЗ» В ПРАКТИКЕ РАБОТЫ ФТИЗИАТРИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ

Д. А. Климук[✉], Г. Л. Гуревич, Д. М. Журкин, Е. М. Скрыгина

Государственное учреждение «Республиканский научно-практический центр
пульмонологии и фтизиатрии», Минск, Беларусь
dzklm99@yahoo.com

Введение. Республиканский регистр «Туберкулез» является важным инструментом системы эпиднадзора за туберкулезом в республике. Ведение регистра, согласно приказа Министерства здравоохранения Республики Беларусь, является обязательным для всех противотуберкулезных организаций здравоохранения в республике. Регистр «Туберкулез» является не только средством учета случаев туберкулеза, но также позволяет получать оперативную отчетность в режиме реального времени. В настоящее время регистр содержит сведения о более чем 70 тысячах случаев туберкулеза.

Структура регистра. В своей основе республиканский регистр «Туберкулез» имеет модульную систему – компоненты регистра функционально выделены, однако имеют взаимосвязь.

В 2010 году, согласно приказа Министерства здравоохранения Республики Беларусь, республиканский регистр «Туберкулез» начал функционировать на постоянной основе, представляя на тот момент полицейскую базу пациентов с туберкулезом. Впоследствии были разработаны и внедрены дополнительные компоненты регистра.

Компонент по учету пациентов с множественно лекарственно-устойчивым туберкулезом (МЛУ-ТБ) позволил не только вести полицейский учет пациентов с наиболее важной формой туберкулезной патологии, но и предоставил возможности пользоваться сводными таблицами, составленными в соответствии с рекомендуемым набором показателей эпиднадзора за туберкулезом ВОЗ. Компонент лабораторной диагностики позволил накапливать и анализировать данные о статусе бактериовыделения пациентов и тестах лекарственной чувствительности возбудителя, накапливая полную историю пациента, что имеет огромное значение в клинической практике.

Компонент лекарственного менеджмента позволяет получать оперативную информацию об остатках противотуберкулезных лекарственных средств как в республике в целом, так и по определенным противотуберкулезным организациям.

Компонент фармаконадзора позволяет накапливать и анализировать данные о нежелательных лекарственных явлениях, заполняя формы, добавленные в соответствии с нормативно-правовыми документами.

Последний компонент, видеоконтролируемое лечение, является базовым для организации пациент-ориентированного контролируемого амбулаторного лечения туберкулеза.

Перспективы развития. В настоящее время проводится комплекс работ по рефакторингу и реинжинирингу регистра «Туберкулез». Главным нововведением планирует стать компонент по учету назначений схем и лекарственных средств, что позволит получать оперативные данные о применении и учете различных режимов противотуберкулезной терапии. Кроме того, планируется реализовать взаимодействие с другими регистрами в рамках функционирования единой платформы цифрового здравоохранения.

Заключение. Республиканский регистр «Туберкулез» на сегодняшний день представляет собой полноценную медицинскую информационную систему, позволяющую принимать своевременные клинические и управленческие решения. Поддержание и развитие регистра является приоритетным направлением работы противотуберкулезной службы республики.

ПРОГРАММНОЕ СРЕДСТВО ЭНТРОПИЙНОГО АНАЛИЗА ДИСКРЕТНЫХ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ

В. Ю. Палуха[✉], Ю. С. Харин

Учреждение Белорусского государственного университета
«НИИ прикладных проблем математики и информатики», Минск
palukha@bsu.by

Введение. Генераторы случайных и псевдослучайных последовательностей являются одним из элементов систем криптографической защиты информации (СКЗИ). Стойкость СКЗИ зависит от того, насколько близка генерируемая последовательность по своим свойствам к равномерно распределённой случайной последовательности (РПС) [1], которая на практике называется «чисто случайной» последовательностью.

Для проверки качества криптографических генераторов используются статистические тесты, в которых проверяется гипотеза $H_* = \{\{x_t\} \text{ является РПС}\}$ о том, что наблюдаемая последовательность $\{x_t\}$ является равномерно распределённой случайной последовательностью. В качестве тестовой статистики целесообразно использовать статистические оценки энтропии. Одними из самых распространённых функционалов энтропии являются функционалы Шеннона, Реньи и Тсаллиса, которые и будут рассмотрены в дальнейшем. В НИИ ППМИ разработан программный комплекс, который позволяет вычислять оценки указанных функционалов энтропии дискретной последовательности и на их основе принимать или отклонять гипотезу о «чистой случайности» анализируемой последовательности.

Энтропийный анализ. Пусть на вероятностном пространстве (Ω, F, P) с множеством состояний $\Omega = \{\omega_1, \dots, \omega_N\}$ определена случайная величина $x = x(\omega) = \omega$ с дискретным распределением вероятностей $p = \{p_k\}$, $p_k = P\{x = \omega_k\}$, $p_k \geq 0$, $\sum_{k=1}^N p_k = 1$, $k = 1, \dots, N$.

В таблице 1 приведены формулы наиболее распространённых функционалов энтропии.

Таблица 1. Функционалы энтропии

Энтропия Шеннона	$H(p) = -\sum_{i=1}^N p_i \ln p_i$
Энтропия Реньи	$H_r(p) = \frac{1}{1-r} \ln \left(\sum_{i=1}^N p_i^r \right), r \in \mathbb{N}, r > 1.$
Энтропия Тсаллиса	$S_r(p) = \frac{1}{r-1} \left(1 - \sum_{i=1}^N p_i^r \right), r \in \mathbb{N}, r > 1.$

Пусть имеется реализация случайной последовательности $\{x_t : t = 1, \dots, n\}$ объёма n из распределения вероятностей $\{p_k\}$, по которой будет оцениваться энтропия. Частотные оценки вероятностей имеют вид

$$\hat{p}_k = \frac{v_k}{n}, \quad v_k = \sum_{t=1}^n I\{x_t = \omega_k\} \in \mathbb{N}_0 = \mathbb{N} \cup \{0\}, \quad I\{x_t = \omega_k\} = \begin{cases} 1, & x_t = \omega_k; \\ 0, & x_t \neq \omega_k. \end{cases} \quad (1)$$

Рассмотрим асимптотику

$$n, N \rightarrow \infty, n/N \rightarrow \lambda, 0 < \lambda < \infty. \quad (2)$$

которая отличается от классической ($n \rightarrow \infty, N < \infty$) тем, что длина последовательности n и мощность алфавита N растут синхронно.

Оценка энтропии Шеннона на основе статистик (1) имеет вид:

$$\hat{H} = \hat{H}(n, N) = -\sum_{k=1}^N \hat{p}_k \ln \hat{p}_k = -\sum_{k=1}^N \frac{v_k}{n} \ln \frac{v_k}{n} = \ln n - \frac{1}{n} \sum_{k=1}^N v_k \ln v_k. \quad (3)$$

Теорема 1 [2]. В асимптотике (2) статистика (3) при гипотезе H_* имеет асимптотически нормальное распределение с параметрами

$$\mu_H = \ln n - e^{-\lambda} \sum_{k=1}^{+\infty} \frac{\ln(k+1)\lambda^k}{k!}, \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \sigma_H^2 = & \frac{e^{-\lambda}}{n} \sum_{k=1}^{+\infty} \frac{(k+1)\lambda^k}{k!} \ln^2(k+1) - \frac{e^{-2\lambda}}{N} \left(\sum_{k=1}^{+\infty} \frac{\ln(k+1)\lambda^k}{k!} \right)^2 - \\ & - \frac{e^{-2\lambda}}{n} \left(\sum_{k=1}^{+\infty} \ln(k+1) \frac{\lambda^k}{k!} (k+1-\lambda) \right)^2. \end{aligned} \quad (5)$$

Из теоремы 1 видно, что в асимптотике (2) оценка (3) является смещённой. Для функционалов энтропии Реньи и Тсаллиса можно построить несмещённую оценку в асимптотике (2), в т.ч. и при $\lambda < 1$.

Определим r -ую нисходящую факториальную степень x :

$$x^{\underline{r}} = x(x-1)\dots(x-r+1) = \frac{x!}{(x-r)!} = \sum_{i=0}^r s(r, i) x^i, \quad (6)$$

где $s(r, i)$ – число Стирлинга первого рода; при $x < r$ полагают $x^{\underline{r}} := 0$.

Статистические оценки энтропии Реньи и Тсаллиса, построенные с использованием нисходящей факториальной степени (6), имеют вид

$$\hat{H}_r(n, N) = \frac{1}{1-r} \ln \left(\sum_{k=1}^N \frac{v_k^r}{n^r} \right) = \ln n + \frac{1}{r-1} \left(\ln n - \ln \sum_{k=1}^N v_k^r \right), \quad (7)$$

$$\hat{S}_r(n, N) = \frac{1}{r-1} \left(1 - \sum_{k=1}^N \frac{v_k^r}{n^r} \right) = \frac{1}{r-1} \left(1 - \frac{1}{n^r} \sum_{k=1}^N v_k^r \right). \quad (8)$$

Теорема 2 [3]. В асимптотике (2) статистика (8) является состоятельной асимптотически несмещённой оценкой энтропии Тсаллиса и при истинной гипотезе H_* и при $r = 2$ имеет асимптотически нормальное распределение с параметрами:

$$\mu_{S,2} = 1 - \frac{1}{N}, \quad \sigma_{S,2}^2 = \frac{2}{Nn^2}. \quad (9)$$

Теорема 3 [3]. В асимптотике (2) статистика (7) является состоятельной оценкой энтропии Реньи и при истинной гипотезе H_* и при $r = 2$ имеет асимптотически нормальное распределение с параметрами:

$$\mu_{H,r} = \ln N, \quad \sigma_{H,2}^2 = \frac{2}{n\lambda}. \quad (10)$$

Пусть $\alpha \in (0, 1)$ – заданный уровень значимости. Введём обозначения: h – статистическая оценка энтропии Шеннона (3), Реньи (7) или Тсаллиса (8), μ_h и σ_h^2 – соответственно асимптотические математическое ожидание и дисперсия статистической оценки энтропии Шеннона (4), (5), Реньи (10) или Тсаллиса (9) при истинной гипотезе H_* и при $r = 2$. Решающее правило имеет вид [2]:

$$\text{принимается } \begin{cases} H_*, & \text{если } t_- < h < t_+; \\ \overline{H_*}, & \text{в противном случае,} \end{cases} \quad t_{\pm} = \mu_h \pm \sigma_h \Phi^{-1}\left(1 - \frac{\alpha}{2}\right), \quad (11)$$

где $\Phi(\cdot)$ – функция распределения стандартного нормального закона.

Вычислим нормированную статистику

$$\tilde{h} = \frac{h - \mu_h}{\sigma_h}.$$

Она в асимптотике (2) имеет стандартное нормальное распределение: $\tilde{h} \sim \mathcal{N}(0, 1)$. Следовательно, двустороннее p -значение для неё равно

$$p\text{-value} = 2\left(1 - \Phi(|\tilde{h}|\right). \quad (12)$$

Пусть генератор порождает двоичную выходную последовательность $\{y_\tau\}$, $\tau = 1, \dots, T$. «Нарежем» её на непересекающиеся подряд идущие фрагменты длины s (s -граммы): $X^{(t)} = (X_j^{(t)}) = (y_{(t-1)s+1}, \dots, y_{ts}) \in \{0, 1\}^s$, $t = 1, \dots, n = \lfloor T/s \rfloor$. Из полученных s -грамм сформируем новую последовательность $\{x_t\}$ из алфавита мощности $N = 2^s$ по правилу $x_t = \sum_{j=1}^s 2^{j-1} X_j^{(t)} + 1$.

На основе критерия (11) мы можем вычислить последовательность нормированных отклонений оценки энтропии от математического ожидания в зависимости от s , которые назовём **энтропийными профилями**:

$$\chi(s) = \frac{\hat{h}(s) - \mu_h(s)}{\sigma_h(s) \Phi^{-1}(1 - \alpha/2)} = \frac{\tilde{h}(s)}{\Phi^{-1}(1 - \alpha/2)}, \quad s = s_-, \dots, s_+. \quad (13)$$

Программное средство. В НИИ ППМИ разработано программное средство, которое позволяет вычислять оценки энтропии Шеннона (3), Реньи (7) и Тсаллиса (8) при $r = 2$, их асимптотические параметры распределений вероятностей при гипотезе H_* с помощью алгоритмов [4], p -значения (12) и энтропийные профили (13) для двоичных файлов. Помимо вывода самих значений, программа выводит графики зависимостей этих величин от длины фрагмента s .

В начале работы необходимо выбрать файл с последовательностью, диапазон $s_-, \dots, s_+$ и функционалы энтропии. Вычисляемые значения добавляются на экран в режиме реального времени. Имеется возможность изменять уровень значимости

$\alpha \in (0,1)$ без пересчёта оценок энтропии и переключаться на различные режимы отображения: непосредственно оценки энтропии $\hat{h}$, нормированные значения (13), p -значения (12).

Для тестирования программы подготовлена библиотека последовательностей псевдослучайных и физических генераторов. На рисунке 1 представлен результат работы программы с последовательностью физического генератора [5], на рисунке 2 – с последовательностью, полученной при помощи регистра сдвига с линейной обратной связью (РСЛОС) с примитивным характеристическим многочленом над полем $GF(2)$ $x^{32} + x^{22} + x^2 + x + 1$ [1] на уровне значимости $\alpha = 0.05$. Как видно из рисунков, для физического генератора гипотеза H_* принимается, для РСЛОС начиная с $s = 16$ отклоняется.

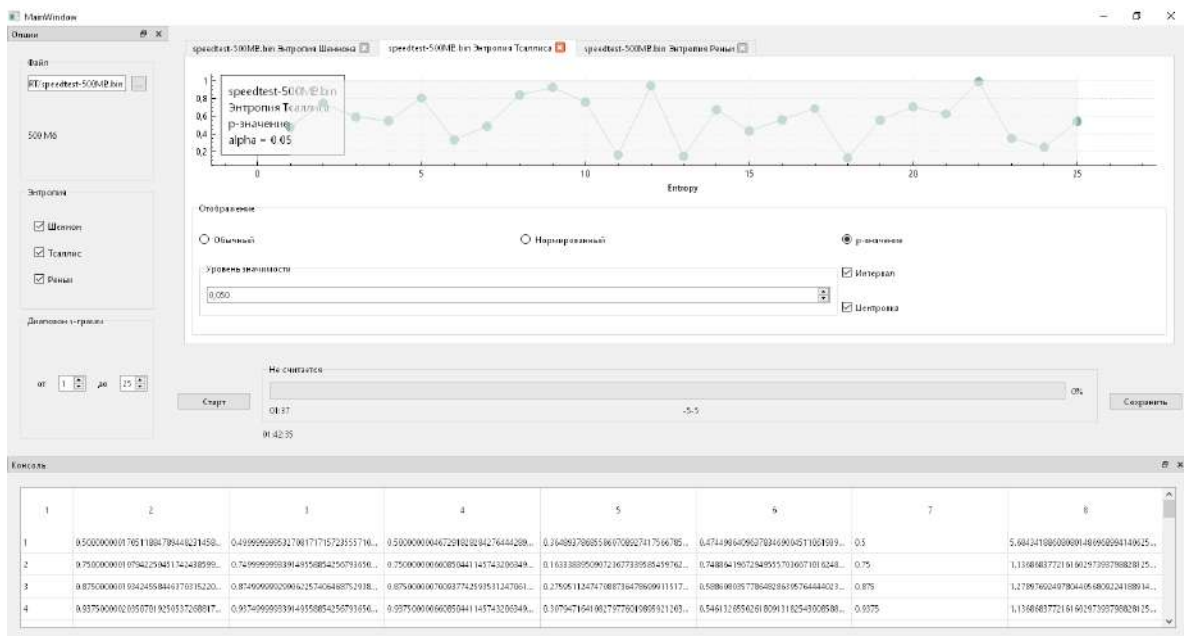


Рис. 1. Энтропийный профиль Тсаллиса физического генератора

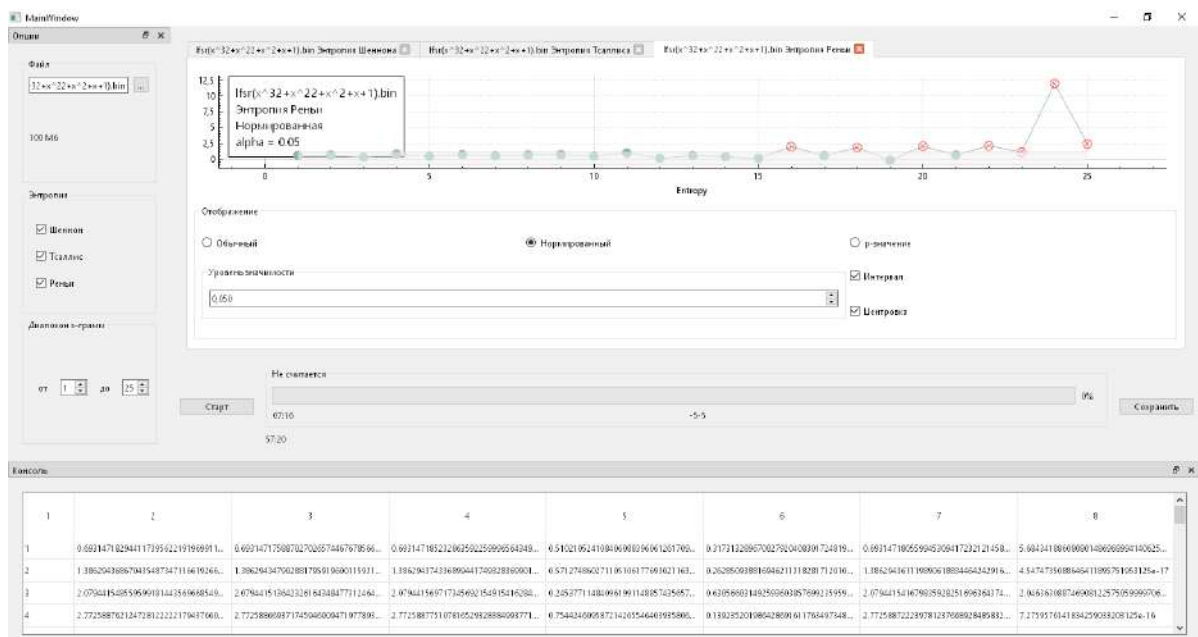


Рис. 2. Энтропийный профиль Реньи РСЛОС

Заключение. На основе исследованного в [2] и [3] энтропийного анализа дискретных временных рядов в НИИ ППМИ разработано программное средство, позволяющее оценивать качество генераторов случайных и псевдослучайных последовательностей на предмет соответствия наблюдаемой последовательности модели «чисто случайной» последовательности. Данная программа является удобной в использовании и позволяет визуализировать полученные результаты.

Список использованных источников

1. Криптология / Ю. С. Харин [и др.]. – Минск: БГУ, 2013. – 512 с.
2. Палуха, В. Ю. Статистические тесты на основе оценок энтропии для проверки гипотез о равномерном распределении случайной последовательности / В. Ю. Палуха // Весці НАН Беларусі. Серыя фізіка-матэматычных навук. – 2017. – № 1. – С. 79–88.
3. Харин, Ю. С. Статистические оценки энтропии Реньи и Тсаллиса и их использование для проверки гипотез о «чистой случайности» / Ю. С. Харин, В. Ю. Палуха // Весці НАН Беларусі. Серыя фізіка-матэматычных навук. – 2016. – № 2. – С. 37–47.
4. Палуха, В. Ю. Вычисление статистических оценок функционалов энтропии двоичных последовательностей / В. Ю. Палуха, Ю. С. Харин // Международный конгресс по информатике: информационные системы и технологии [Электронный ресурс] : Материалы международного научного конгресса. Республика Беларусь, Минск, 24–27 октября 2016 года / редколлегия: С. В. Абламейко (гл. ред.), В. В. Казачёнок (зам. гл. ред.) [и др.]. – Минск: БГУ, 2016. – С. 472–476.
5. speedtest-500MB.bin [Electronic resource] // Humboldt Berlin University, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Department of Physics. – Mode of access: <http://qrng.physik.hu-berlin.de/files/speedtest-500MB.bin>.

ТЕХНОЛОГИИ БИОИНФОРМАТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОГО СЕКВЕНИРОВАНИЯ МИКРОБИОТЫ КИШЕЧНИКА

Е. Я. Скоповец[✉], В. Р. Вертёлко

РНПЦ детской онкологии, гематологии и иммунологии, Минск, Беларусь

Skopovets@yandex.ru

Введение. Развитие технологий высокопроизводительного секвенирования (NGS) позволило по-новому взглянуть на структуры и функции микробиома. Это позволило исследователям оценить разнообразие микробной популяции, и количественно оценить состав микробиоты, содержащей тысячи видов бактерий, грибов и вирусов. Однако разнообразие программных инструментов и сложность обработки данных затрудняют доступ к этой области для исследователей, которые не имеют опыта работы в области биоинформатики [1]. В данном обзоре рассмотрены преимущества и ограничения методов анализа микробиома. Программные комплексы, используемые для анализа микробиоты объединяют несколько или даже десятки программ и скриптов в определенном порядке для выполнения сложной задачи анализа.

Секвенирование микробиоты. Метагеномика – это наука, изучающая представителей микробиоты в естественной среде обитания с использованием метода высокопроизводительного секвенирования (NGS), в отличие от метатаксономики, которая использует только анализ 16S рРНК микроорганизмов.

Метагеномика сосредоточена на прямом генетическом анализе микробных геномов, выделенных из различных сред, от желудочно-кишечного тракта человека (микробиома кишечника) до геотермальных горячих источников. Подход метагеномики служит мощным инструментом для выяснения взаимосвязи между микробными сообществами, связанными с хозяином, и его фенотипом. По состоянию на конец 2021 года слова «ампликон» и «метагеном» упоминались в Google Scholar более 200 000 и 40 000 раз соответственно [1–3].

Секвенирование 16S рРНК или метагеномное секвенирование? Секвенирование ампликонов гена 16S рРНК бактерий или гена ITS грибов, включает экстракцию ДНК из всех клеток в образце, а затем нацеливание на таксономически информативный геномный маркер, который является общим для конкретной группы, представляющей интерес. Полученные ампликоны секвенируют и оценивают, используя методики биоинформатического анализа. В процессе обработки удастся определить наличие и как следствие относительное количество целевых микроорганизмов в исследуемых образцах [2, 3].

При метагеномном секвенировании следующего поколения ДНК извлекается из всех клеток сообщества. Однако вместо того, чтобы нацеливаться на конкретный геномный локус для амплификации, вся ДНК разрезается на фрагменты и независимо секвенируется с помощью метода «дробовика». Полученные прочтения выравниваются на различные бактериальные/ микробные и не микробные геномы, присутствующих в образце. Последующий этап биоинформатической обработки позволяет выявить представленность тех или иных бактерий в исследуемых образцах. Этап биоинформатической обработки является самым трудозатратным и объемным в исследовании микробиоты [4].

Алгоритм обработки данных 16S рРНК NGS секвенирования микробиоты.

Первый этап анализа ампликонов гена 16S рРНК заключается в преобразовании необработанных парноконцевых прочтений (обычно в формате fastq). Необработанные

данные секвенирования группируются на основе их последовательностей штрих-кода (демультиплексирование). Затем парные прочтения объединяются для получения последовательностей ампликонов, а штрих-код и праймеры удаляются. Для удаления некачественных последовательностей ампликонов обычно требуется этап контроля качества. Все эти шаги можно выполнить с помощью USEARCH или QIIME [5, 6].

На следующем этапе обработки данных производится выбор репрезентативных последовательностей. Два основных подхода к выбору репрезентативной последовательности — кластеризация в операционные таксономические единицы (ОТЕ) и шумоподавление. Обычно для исследований микробиома кишечника кластеризация последовательностей в ОТЕ проводится с 97 % сходства (рис. 1).

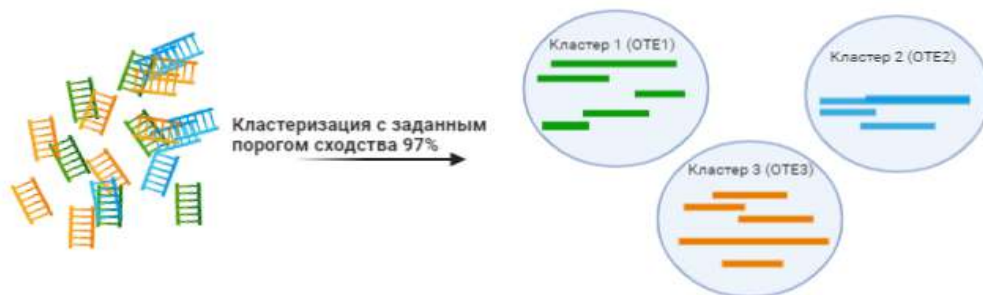


Рис. 1. Этап кластеризации в ОТЕ

Однако этот метод может не обнаружить тонких различий между видами или штаммами. Основной причиной является наличие ошибок замещения и химерных фрагментов. DADA2 – это недавно разработанный алгоритм шумоподавления, который способен более точно сформировать репрезентативные последовательности [7]. Метод шумоподавления доступен для denoise-paired / single с помощью DADA2, denoise-16S с помощью Deblur в QIIME 2 и -unoise3 в USEARCH [7, 8].

На финальном этапе происходит определение таксономической принадлежности с созданием таблиц таксономии. На данный момент существует множество эталонных баз данных, содержащих нуклеотидные последовательности микроорганизмов: SILVA, Greengenes, RDP и др [9–11]. Как правило, определение таксономического уровня проводится на уровне царства, типа, класса, отряда, семейства, рода и вида.

Алгоритм обработки данных метагеномного секвенирования микробиоты.

По сравнению с секвенированием 16S рРНК ампликонов, метагеномное секвенирование может информировать исследователя о функциональном профиле генов и достигать гораздо более высокого разрешения таксономической аннотации. Однако из-за большого объема данных, того факта, что большая часть программного обеспечения доступна только для систем Linux, для проведения анализа требуется большое количество вычислительных ресурсов и узкоспециализированных знаний в области биоинформатики (рис. 2). Программные ресурсы, используемые в обработке данных представлены в таблице.

Первым важным шагом в метагеномном анализе является контроль качества необработанных прочтений и фильтрация образцов. Trimmomatic — это гибкий программный пакет для контроля качества данных секвенирования Illumina, который можно использовать для обрезки низкокачественных последовательностей, праймеров и адаптеров. Чтения, сопоставленные с геномами хозяина с помощью Bowtie 2, обрабатываются как «лишние» прочтения и отфильтровываются. KneadData – это интегрированный пайплайн, включающий Trimmomatic, Bowtie 2, которые можно использовать для контроля качества, удаления прочтений, принадлежащих хосту и вывода чистых прочтений [13, 14].

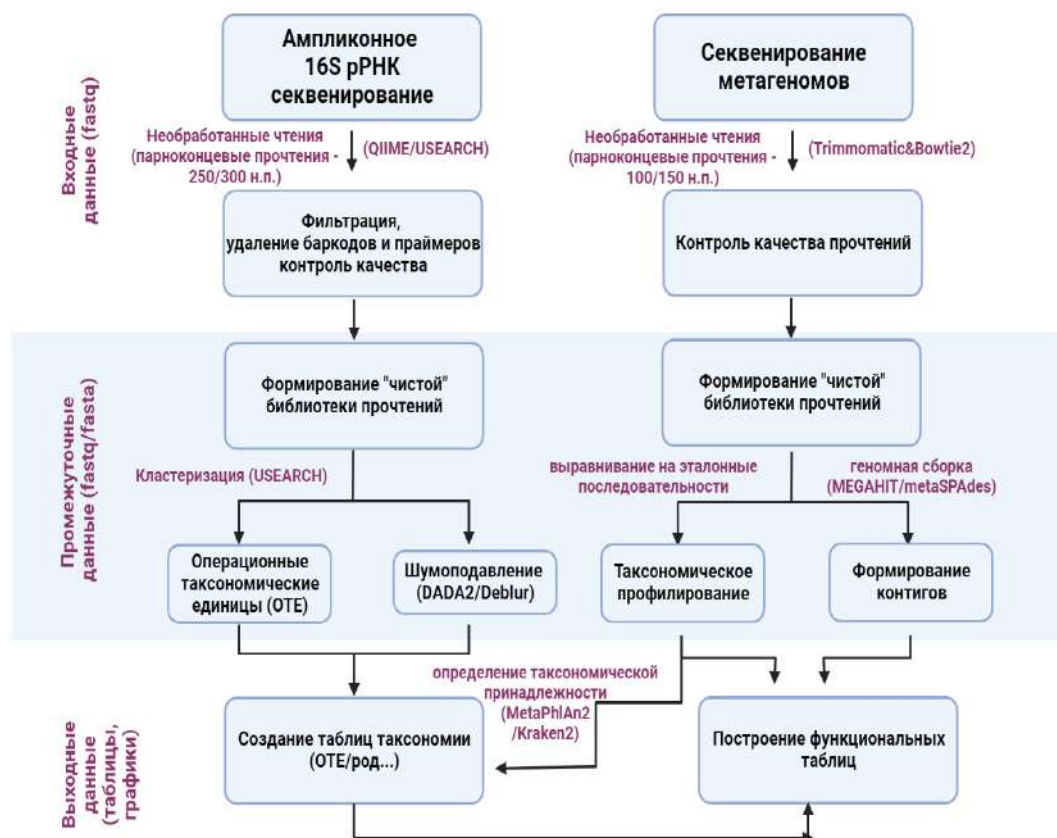


Рис. 2. Алгоритм проведения биоинформатической обработки данных

Основным этапом метагеномного анализа является преобразование чистых данных в таксономические и функциональные таблицы.

Отфильтрованные прочтения соотносят с эталонными базами данных и выходными таблицами признаков. MetaPhlAn2 – широко используемый инструмент таксономического профилирования, который сопоставляет чтения метагенома с эталонной базой данных маркерных генов для определения таксономической принадлежности [15].

Kraken 2 использует алгоритм точного сопоставления полученных k-меров с последовательностями в базе данных NCBI и использует алгоритмы наименьшего общего предка (LCA) для выполнения таксономической классификации. В таблице представлено краткое описание 20 инструментов таксономической классификации, используемых в анализе микробиоты кишечника [16, 18].

Количественные характеристики микробиома в метагеномном анализе.

В общем, различия микробиома обычно оцениваются путем сравнения одного (или обоих) показателей альфа- и бета-разнообразия [20].

Альфа-разнообразие определяется как количество уникальных таксонов (богатство) и их распределение (равномерность) в конкретном образце. Для оценки альфа-разнообразия применяют различные индексы – численные показатели, рассчитываемые на основе числа таксонов в сообществе и количества последовательностей. К ним относятся Chao1 и Abundance-based Coverage Estimator (ACE), которые в первую очередь измеряют видовое разнообразие. В отличие от них, другие широко используемые индексы альфа-разнообразия, а именно индекс Шеннона и индекс Симпсона, измеряют как богатство, так и равномерность распределения таксонов. Эти индексы выступают в качестве суммарной статистики альфа-разнообразия отдельных особей [20–23].

Таблица. Программные ресурсы, используемые в обработке данных

QIIME
http://qiime.org
Самый популярный для использования, цитируемый программный комплекс для анализа ампликонов, предоставляющий сотни сценариев для анализа различных типов данных и визуализаций [8]
QIIME 2
https://qiime2.org
QIIME 2 — это биоинформатическая платформа для анализа микробиома, которая является расширяемой, бесплатной, с открытым исходным кодом
USEARCH
http://www.drive5.com/usearch
Уникальный инструмент анализа последовательностей, которым пользуются тысячи пользователей по всему миру. USEARCH предлагает алгоритмы поиска и кластеризации, которые часто на несколько порядков быстрее, чем BLAST
Trimmomatic
http://www.usadellab.org/cms/index.php?page=trimmomatic
Программное обеспечение на основе Java для контроля качества необработанных метагеномных прочтений [12]
Bowtie 2
http://bowtie-bio.sourceforge.net/bowtie2
Сверхбыстрый инструмент для сопоставления данных секвенирования с эталонными последовательностями. Используется для выравнивания прочтений от 50 до 100 или 1000 нуклеотидных пар [14]
MetaPhlAn2
https://bitbucket.org/biobakery/metaphlan2
Инструмент таксономического профилирования с базой данных маркерных генов из более чем 10 000 видов [15]
Kraken 2
https://ccb.jhu.edu/software/kraken2
Инструмент таксономической классификации, который использует точные совпадения k -мер с базой данных NCBI, высокую точность и быструю классификацию, а также выводит количество прочтений для каждого вида [16].
MEGAN
https://github.com/husonlab/megan-ce http://www-ab.informatik.uni-tuebingen.de/software/megan6
Кроссплатформенное программное обеспечение с графическим интерфейсом для таксономического и функционального анализа метагеномных данных [17].
MEGAHIT
https://github.com/voutcn/megahit
Сверхбыстрый и экономичный метагеномный ассемблер.
metaSPAdes
http://cab.spbu.ru/software/spades
Высококачественный метагеномный ассемблер, но требующий больших затрат времени и памяти [19].

Бета-разнообразие позволяет оценить разницу в видовом составе двух групп образцов, например, образцов от пациентов с определенным заболеванием и здоровых людей (контрольная группа). Если посмотреть с другой стороны, эта мера подсчитывает количество видов, которые различаются между двумя группами.

Оценивая присутствие, отсутствие и обилие таксонов, можно исследовать степень различия между составами сообществ между выборками. Программное обеспечение для расчета альфа- и бета-разнообразия включено в широко используемые биоинформатические программные комплексы, такие как QIIME, Mothur, а также пакеты VEGAN и phloseq [20–23].

Список использованных источников

1. Hao Y, Pei Z, Brown SM. Bioinformatics in Microbiome Analysis. The Human Microbiome // Elsevier; 2017. pp. 1-18. DOI: 10.1016/bs.mim.2017.08.002
2. Thomas T, Gilbert J, Meyer F. Metagenomics - a guide from sampling to data analysis // Microb Inform Exp. 2012. № 9;2(1):3. doi: 10.1186/2042-5783-2-3.
3. Escobar-Zepeda A, Vera-Ponce de León A, Sanchez-Flores A. The Road to Metagenomics: From Microbiology to DNA Sequencing Technologies and Bioinformatics // Front Genet. 2015. 6:348. doi: 10.3389/fgene.2015.00348.
4. Uniting the classification of cultured and uncultured bacteria and archaea using 16S rRNA gene sequences / P. Yarza [et al.] // Nat Rev Microbiol. – 2014. - № 12, P. 635-645. <https://doi.org/10.1038/nrmicro3330>
5. Edgar RC. Search and clustering orders of magnitude faster than BLAST // Bioinformatics. 2010. № 26(19):2460-1. doi: 10.1093/bioinformatics/btq461.
6. Advancing our understanding of the human microbiome using QIIME / Navas-Molina J. A. [et al.] // Methods Enzymol. 2013. P. 531:371-444. doi: 10.1016/B978-0-12-407863-5.00019-8.
7. DADA2: high-resolution sample inference from Illumina amplicon data / B. J. Callahan [et al.] // Nat Methods. 2016. P. 13:581–583. doi: 10.1038/nmeth.3869.
8. QIIME 2 Enables Comprehensive End-to-End Analysis of Diverse Microbiome Data and Comparative Studies with Publicly Available Data / M. Estaki [et al.] // Current Protocols in Bioinformatics. 2020. № 70(1):e100. DOI: 10.1002/cpbi.100.
9. Quast C., Pruesse E., Yilmaz P., Gerken J., Schweer T., Yarza P., et al. The SILVA ribosomal RNA gene database project: improved data processing and web-based tools. Nucleic Acids Res 2013; 41:P.590–P596. doi: 10.1093/nar/gks1219.
10. Ribosomal database project: data and tools for high throughput rRNA analysis / J. R. Cole [et al.] // Nucleic Acids Res. 2014. № 42. P. 633–D642. doi: 10.1093/nar/gkt1244.
11. An improved Greengenes taxonomy with explicit ranks for ecological and evolutionary analyses of bacteria and archaea / D. McDonald [et al.] // ISME J. 2012. № 6. P. 610–618. doi: 10.1038/ismej.2011.139.
12. Bolger A. M., Lohse M., Usadel B. Trimmomatic: a flexible trimmer for Illumina sequence data // Bioinformatics. 2014 Aug 1; № 30 (15):2114-20. doi: 10.1093/bioinformatics/btu170.
13. A comparison of sequencing platforms and bioinformatics pipelines for compositional analysis of the gut microbiome / Allali I. [et al.] // BMC Microbiol. 2017 Sep 13. № 17(1):194. doi: 10.1186/s12866-017-1101-8.
14. Langmead B, Salzberg SL. Fast gapped-read alignment with Bowtie 2 // Nat Methods. 2012. № 9. P. 357–359. doi: 10.1038/nmeth.1923.
15. MetaPhlAn2 for enhanced metagenomic taxonomic profiling / D. Truong [et al.] // Nat Methods. 2015. № 12, P. 902–903. <https://doi.org/10.1038/nmeth.3589>
16. Wood D. E., Lu J., Langmead B. Improved metagenomic analysis with Kraken 2 // bioRxiv. 2019. 762302. doi: 10.1101/762302.
17. MEGAN community edition - interactive exploration and analysis of large-scale microbiome sequencing data / D. H. Huson [et al.] // PLoS Comput. Biol. 2016. 12:e1004957. doi: 10.1371/journal.pcbi.1004957

18. Metagenomics Approaches to Investigate the Gut Microbiome of COVID-19 Patients / S. Sehli [et al.] // *Bioinform Biol Insights*. 2021 Mar 12;15:1177932221999428. doi: 10.1177/1177932221999428
19. Nurk S., Meleshko D., Korobeynikov A., Pevzner P. A. metaSPAdes: a new versatile metagenomic assembler // *Genome Res*. 2017. №27. P.824-834. doi: 10.1101/gr.213959.116.
20. Gilbert JA, Lynch SV. Community ecology as a framework for human microbiome research // *Nat Med*. 2019. № 25. P. 884-889. doi: 10.1038/s41591-019-0464-9.
21. Community diversity measures and calculations. Statistical Analysis of Microbiome Data with R / Y. Xia [et al.] // Singapore:Springer Singapore; 2018. P. 167–190. [Google Scholar]
22. Community diversity. Numerical Ecology with R / D. Borcard [et al.] // Switzerland:Springer International Publishing; 2018. P. 369–412
23. Oksanen J., Blanchet F. G., Friendly M., Kindt R., Legendre P., McGlinn D., et al. 2018. vegan: Community Ecology Package, R package version 2.5-1. URL: <https://CRAN.R-project.org/package=vegan> (accesse

УДК 616-053.2:004.891.2

МЕДИЦИНСКАЯ ПРОФИЛАКТИКА ИНВАЛИДНОСТИ У ДЕТЕЙ, РОДИВШИХСЯ С ЭКСТРЕМАЛЬНО НИЗКОЙ И ОЧЕНЬ НИЗКОЙ МАССОЙ ТЕЛА С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Д. А. Крамко

¹Республиканский научно-практический центр «Мать и дитя», Минск, Беларусь
kramko.dzmitry@gmail.com

Введение. Ежегодно в Беларуси рождается около 900 недоношенных детей с массой тела до 1500 грамм, более 250 из них имеют экстремально низкую массу при рождении.

Выживаемость до года детей, родившихся с массой тела от 500 до 1499 грамм, за последние годы стабильно выше 90 % (91,5 % в 2021 году), в том числе младенцев с экстремально низкой массой тела менее 1000 грамм при рождении - стабильно выше 75 % (78,7 % в 2021 году). Показатель первичной инвалидности детского населения в возрасте от 0 до 18 лет высокий – 24,5 на 10 000 детского населения и не имеет тенденции к снижению. Основными классам болезней, являющихся причиной инвалидности детского населения, являются психические расстройства, врожденные пороки развития и болезни нервной системы. Патология нервной системы различной степени тяжести регистрируется у 100 % младенцев [1].

Искусственный интеллект стал полностью работающей технологией, которую сегодня применяют во многих отраслях благодаря искусственным нейронным сетям (ИНС), которые сами воспринимают информацию и сами ее интерпретируют. Прогнозируется, что услуги врачей многих специальностей будут дополняться интеллектуальными роботами, которые смогут определить диагноз, и составить прогноз развития. Они быстро найдут источник болезни, учитывая симптоматику, основываясь на «многократном опыте», переданного от своих учителей – многих врачей [2-4].

«Искусственный интеллект» позволит прогнозировать неблагоприятные неврологические исходы в виде инвалидности и на этом основании оптимизировать сроки диагностики, начала и объем лечения, реабилитации.

Метод медицинской профилактики. Сотрудниками лаборатории проблем здоровья детей и подростков РНПЦ «Мать и дитя» разработана инструкция по применению «Метод медицинской профилактики неблагоприятных психоневрологических исходов у детей с пре- и перинатальным поражением центральной нервной системы, родившихся с экстремально низкой и очень низкой массой тела» (Регистрационный № 042-0521 Утверждена МЗРБ 11.06.2021 г.), в которой представлен метод, позволяющий персонифицировать подходы к медицинской профилактике инвалидности, исходя из степени вероятности развития неблагоприятного исхода.

Метод медицинской профилактики неблагоприятных психоневрологических исходов у детей с пре- и перинатальным поражением центральной нервной системы, родившихся с экстремально низкой и очень низкой массой тела, состоит из трех этапов:

- 1) прогнозирование психоневрологических исходов и определение степени их вероятности;
- 2) медицинская профилактика на стационарном и амбулаторно-поликлиническом этапе;
- 3) оценка эффективности.

Первым этапом метода медицинской профилактики неблагоприятных психоневрологических исходов у детей с пре- и перинатальным поражением центральной нервной системы, родившихся с экстремально низкой и очень низкой массой тела яв-

ляется прогнозирование психоневрологических исходов и определение степени их вероятности.

Математическая модель. Для прогнозирования инвалидности разрабатывались математические модели на основе искусственных нейронных сетей с архитектурой многослойного персептрона (Multilayer Perceptron, MLP). По результатам анализа статистически значимых различий были выбраны 339 входных факторов, которые включили:

102 фактора антенатального и интранатального периодов,

105 раннего и позднего неонатальных периодов,

68 факторов грудного возраста,

54 результата нейровизуализации на 1-ом году жизни,

а также количественные факторы: вес ребенка при рождении, срок гестации, рост при рождении, окружность головы, окружность груди, оценка по шкале Апгар на 1-й минуте, паритет беременности и родов.

Данные подаются на 670 входных нейронов: 331 пара входных нейронов для бинарных факторов (наличие/отсутствие) антенатального, интранатального, раннего и позднего неонатальных периодов, грудного возраста и 8 входных нейронов для количественных факторов.

В качестве выходного фактора было выбрано наличие/отсутствие инвалидности у ребенка до 3 лет, следовательно, сеть имеет 2 выходных нейрона.

Стояли задачи выбора количества нейронов в скрытом слое, функций активаций выходного и скрытых нейронных слоев (линейная, логистическая, тангенс), определения количества эпох обучения для нейронной сети.

Для обучения нейронной сети в качестве обучающей выборки использовались данные 70 % пациентов (137), 15 % (28) детей в качестве тестовой выборки и 15 % (28) – контрольной выборки. С использованием различных функций активации были получены 5 искусственных нейронных сетей с архитектурой MLP.

У полученных моделей, представленных в таблице 1, был один скрытый слой, с различным числом скрытых нейронов – от 8 до 32. Для всех сетей применялся алгоритм обучения Бройдена-Флетчера-Гольдфарба-Шанно (BFGS), для которого требовалось от 3 до 22 эпох (повторений). В качестве функции ошибки использовались методы суммы квадратов (SOS) и кросс-энтропия (Entropy). Производительность обучения сетей находилась в пределах 89,78–94,16 %, контрольная – 85,71–92,86 %, тестовая – 85,71–89,29 %.

Таблица 1. Параметры полученных искусственных нейронных сетей

Наименование	Производительность обучения	Тестовая производительность	Контрольная производительность	Алгоритм обучения	Функция ошибки	Функция активации скрытых нейронов	Функция активации выходных нейронов	Площадь ROC
1. MLP 670-8-2	89,781	85,714	89,286	BFGS 5	Entropy*	Logistic*	Softmax*	0,983
2. MLP 670-32-2	89,781	85,714	85,714	BFGS 3	SOS*	Identity*	Identity*	0,942
3. MLP 670-20-2	89,781	85,714	85,714	BFGS 4	Entropy*	Tanh**	Softmax*	0,944
4. MLP 670-10-2	94,161	85,714	89,286	BFGS 4	SOS*	Tanh**	Logistic*	0,943
5. MLP 670-24-2	93,431	89,286	92,857	BFGS 22	SOS*	Identity*	Exponential*	0,946

* SOS–Сумма квадратов, Entropy – кросс-энтропия.

**Logistic – Логистическая, Identity – Тожественная, Exponential – Экспонента, Tanh – Гиперболическая.

Наиболее удачной оказалась модель «MLP 670-24-2» с одним скрытым слоем, включающим 24 скрытых нейрона, – она имела наибольшую тестовую производительность 89,29 %. Функция активации скрытых нейронов данной сети – Тождественная (Identity). Функция активации выходных нейронов – Экспонента (Exponential). Функция ошибки – сумма квадратов (SOS). Алгоритм обучения – Бройдена-Флетчера-Гольдфарба-Шанно (BFGS). Количество эпох обучения – 22. Определены 16 154 весовых коэффициента синоптических связей.

Общая формула математической модели «MLP 670-24-2» нейронной сети для прогнозирования наличия неблагоприятных психоневрологических исходов у детей с пре- и перинатальным поражением центральной нервной системы, родившихся с экстремально низкой и очень низкой массой тела показана формулой 1:

$$\text{Наличие} = \text{Exponential}\left(\sum_{h=1}^{24} (w_{h \text{ наличия}} * \text{Identity}\left(\sum_{n=1}^{670} (X_n * w_{nh}) - \text{порог}_h\right) - \text{порог}_{\text{наличия}}\right) \quad (1)$$

Общая формула прогнозирования отсутствия неблагоприятных психоневрологических исходов математической модели «MLP 670-24-2» показана формулой 2:

$$\text{Отсутствие} = \text{Exponential}\left(\sum_{h=1}^{24} (w_{h \text{ отсутствия}} * \text{Identity}\left(\sum_{n=1}^{670} (X_n * w_{nh}) - \text{порог}_h\right) - \text{порог}_{\text{отсутствия}}\right) \quad (2)$$

Компьютерная программа. На основе данной математической модели прогнозирования инвалидности с применением метода искусственной нейронной сети разработана компьютерная программа «Прогнозирование психоневрологических исходов у недоношенных детей, родившихся с массой тела до 1500 грамм». Описание использования в клинической практике данной компьютерной программы, представлено в инструкции по применению «Система прогнозирования психоневрологических исходов у детей с пре- и перинатальным поражением центральной нервной системы, родившихся с экстремально низкой и очень низкой массой тела» (Утверждена ученым советом «РНПЦ «Мать и дитя» 22.04.2021 г.).

Вид основных экранных форм, являющихся результатом и (или) сопровождающих процесс функционирования компьютерной программы показаны на рис. 1 и 2.

Прогнозирование психоневрологических исходов у недоношенных детей, родившихся с массой тела до 1500 грамм

Настройки Справка

Пол	Мужской	Отмеченные факторы у пациента	Возрастной период
Вес при рождении, грамм	1150	Единственная артерия пуповины	Антенатальный и интранатальный период
Срок гестации, неделя	27	Обвитие пуповины вокруг шеи	Антенатальный и интранатальный период
Рост при рождении, см	39	Ангипатия сетчатки	Неонатальный период
Окружность головы, см	27	Врожденный порок развития ребер	Неонатальный период
Окружность груди, см	23	Врожденный порок сердца: дефект межпредсерд...	Неонатальный период
Оценка по шкале Апгар на 1-й минуте	6	Дисплазия тазобедренных суставов	Неонатальный период
Беременность по счету	3	РДС БГМ 3-4-ой степени	Неонатальный период
Роды по счету	2	Задержка речевого развития	Грудной возраст (до 1-го года)
От многоплодной беременности	Нет	Субкортикальные атрофические изменения	Результаты нейровизуализации

Возрастные периоды развития:
 Антенатальный и интранатальный период
 Неонатальный период
 Грудной возраст (до 1-го года)
 Результаты нейровизуализации

☐ Расширение межполушарной щели
☐ Расширение перивентрикулярных пространств белого вещества
☐ Расширение полости прозрачной перегородки
☐ Расширение субаранноидального пространства
☐ Ретроцеребеллярная киста
☐ Состояние после перенесенной гипоксии
☐ Состояние после перенесенной нейротрофической инфекции
☐ Субатрофические изменения коры большого мозга
☒ Субкортикальные атрофические изменения
☐ Субэпендимальные кисты
☐ Туберозный склероз
☐ Шизэнцефалия

Поиск по названию: Очистить

Рассчитать прогноз

Прогноз **Благоприятный исход (инвалидности нет)**

Доверительная вероятность прогноза **52.01755%**

Рис. 1. Вид главного окна программы

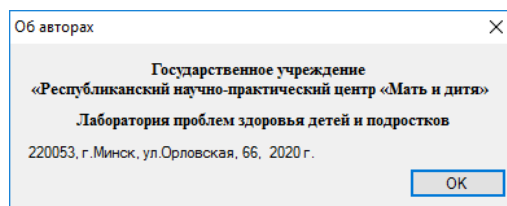


Рис. 2. Вид экранной формы со сведениями об авторах и годе создания

Для прогнозирования психоневрологических исходов и определения степени их вероятности врачу необходимо внести в левой верхней части окна программы в соответствующие поля «Вес при рождении, грамм», «Срок гестации, недель», «Рост при рождении, см», «Окружность головы, см», «Окружность груди, см», «Оценка по шкале Апгар на 1-й минуте», «Беременность по счету», «Роды по счету» данные вводятся как непосредственно с клавиатуры, так и путем увеличения или уменьшения текущего значения нажатием левой кнопкой мыши стрелок вверх или вниз в текущем поле, либо прокруткой колёсика мыши. Пол пациента и каким по счёту он родился, если родился от многоплодной беременности («Нет», «1-й из двойни», «1-й из тройни», «2-й из двойни», «2-й из тройни», «3-й из тройни»), вводятся путем выбора подходящего значения через соответствующие элементы управления типа «Поле со списком».

Ниже находится список возрастных периодов развития ("Аntenатальный и интранатальный период", "Неонатальный период", "Грудной возраст (до 1-го года)" и "Результаты нейровизуализации", при выборе одного из которых правее отобразится список факторов (заболевания или особенности), которые характерны для выбранного возрастного периода развития недоношенных детей, родившихся с экстремально низкой и очень низкой массой тела, с возможностью отметить факторы, имеющиеся у пациента. В данной программе есть возможность быстрого поиска нужного фактора, введя его частичное название в поле «Поиск по названию:» (поиск не чувствителен к регистру букв) и кнопка «Очистить» для мгновенного стирания поиска.

В правой верхней части главного окна программы отображается список отмеченных факторов пациента с указанием возрастного периода развития.

В меню «Настройки» можно через пункт «Очистить отмеченное» отменить выбор всех отмеченных факторов у пациента; настроить шрифт отображаемых списков возрастных периодов и особенностей; настроить шрифт списка отмеченных факторов; вернуть шрифты по умолчанию через одноименные пункты. В меню «Справка» содержится информация об авторах.

После ввода всех факторов для расчёта прогноза психоневрологического исхода необходимо нажать на кнопку «Рассчитать прогноз», находящуюся в нижнем левом углу главного окна программы. Затем в нижнем правом углу в графе «Прогноз» отобразится зеленая надпись: «Благоприятный исход (инвалидности нет)», если прогноз благоприятный или красная «Неблагоприятный исход (инвалидность)», – если прогноз неблагоприятный. Ниже будет отображена рассчитанная в процентах достоверная вероятность данного прогноза.

Высокая вероятность развития инвалидности определяется, если программа прогнозирует «Неблагоприятный исход (инвалидность)»; значение достоверной вероятности прогноза больше 65%.

Средняя вероятность развития инвалидности определяется, если программа прогнозирует «Неблагоприятный исход (инвалидность)»; значение достоверной вероятности прогноза больше 55%, но меньше 65%.

Малая вероятность развития инвалидности определяется, если программа прогнозирует «Неблагоприятный исход (инвалидность)»; значение достоверной вероятности прогноза менее 55% или «Благоприятный исход (инвалидности нет)» с любым значением достоверной вероятности.

Вторым этапом метода медицинской профилактики неблагоприятных психоневрологических исходов у детей с пре- и перинатальным поражением центральной нервной системы, родившихся с экстремально низкой и очень низкой массой тела является медицинская профилактика на стационарном и амбулаторно-поликлиническом этапе.

Дети, относящиеся к группе высокой вероятности развития инвалидности, через 1 месяц после выписки из перинатального центра направляются на госпитализацию в отделение для детей с перинатальным поражением центральной нервной системы.

Дети, имеющие среднюю и малую вероятность развития инвалидности, через 1 месяц после выписки из перинатального центра направляются в кабинет катамнестического наблюдения.

В кабинете катамнестического наблюдения на каждого ребенка заполняется карта катамнестического наблюдения и с учетом степени вероятности развития инвалидности составляется индивидуальная программа катамнестического наблюдения.

Третьим этапом метода медицинской профилактики неблагоприятных психоневрологических исходов у детей с пре- и перинатальным поражением центральной нервной системы, родившихся с экстремально низкой и очень низкой массой тела является оценка эффективности.

Оценка эффективности применения метода проводится ежеквартально до достижения недоношенным ребенком возраста 2 лет или до момента снятия с учета по факту выздоровления.

Критериями оценки является достижение цели медицинской профилактики по каждому заболеванию нервной системы. Цели медицинской профилактики на каждом этапе прописаны в индивидуальной программе катамнестического наблюдения, определяются в зависимости от динамики заболеваний, с учетом скорректированного возраста. Если у ребенка имеется несколько заболеваний, цель прописывается для каждого заболевания, и соответственно, эффективность оценивается по динамике каждого заболевания.

Заключение. Данные 193 пациентов были случайным образом разбиты на выборку обучения сети, которую составили данные 137 (70%) пациентов, контрольную и тестовую выборки – по 28 (15%) детей. Распределение верных и ошибочных прогнозов по выборкам обучения сети, контрольной и тестовой представлены в таблице 2.

Таблица 2. Распределение верных и ошибочных прогнозов по выборкам обучения сети, контрольной и тестовой

<i>Выборка</i>	<i>Верно</i>	<i>Ошибочно</i>
Обучения	93,43 % (128)	6,57 % (9)
Контрольная	92,86 % (26)	7,14 % (2)
Тестовая	89,29 % (25)	10,71 % (3)
Общий итог	92,75 % (179)	7,25 % (14)

Производительность разработанной системы на обучаемой выборке составила 93,43 % (128 из 137), тестовая производительность – 89,29 % (25 из 28) и контрольная – 92,86 % (26 из 28).

Высокие значения производительности говорят о высокой эффективности разработанной системы прогнозирования неблагоприятных психоневрологических исходов у детей с пре- и перинатальным поражением центральной нервной системы, родившихся с экстремально низкой и очень низкой массой тела, на основе искусственной нейронной сети. Высокая эффективность применения разработанной системы прогнозирования на данных новых пациентов подтверждается практически равными значениями производительности на обучаемой, тестовой и контрольной выборках.

Список использованных источников

1. Девялтовская, М. Г. Психоневрологические исходы у недоношенных детей / Девялтовская М. Г., Крамко Д. А., Винокурова И. А., Симченко А. В., Шумская Н. В. – Медицинские новости. – 2019. – № 5. – С. 12–15.
2. Dande P., Samant P. Acquaintance to artificial neural networks and use of artificial intelligence as a diagnostic tool for tuberculosis: a review //Tuberculosis. – 2018. – Т. 108. – С. 1-9.
3. Hamet P., Tremblay J. Artificial intelligence in medicine //Metabolism. – 2017. – Т. 69. – С. S36-S40.
4. Vasilakos A. V. et al. Neural networks for computer-aided diagnosis in medicine: A review //Neurocomputing. – 2016. – Т. 216. – С. 700-708.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АЭРОКОСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ЭКОЛОГО-ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ГОРОДСКИХ ЗЕЛЕННЫХ НАСАЖДЕНИЙ НА ПРИМЕРЕ МИНСКА

М. Л. Романова¹, А. Р. Понтус¹, М. М. Максимов²

¹Государственное научное учреждение «Институт экспериментальной ботаники
имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси», Минск
ajuga2018@list.ru, par2004@yandex.by;

²Учреждение образования «Белорусский государственный университет», Минск
maksim.maksimau@yandex.by

Введение. Зелёные насаждения — это совокупность древесных, кустарниковых и травянистых растений, расположенных на городских территориях. В городах они выполняют ряд функций, способствующих созданию оптимальных условий для труда и отдыха жителей города, основные из которых — оздоровление воздушного бассейна города и улучшение его микроклимата. Чтобы эти функции выполнялись, необходимо как можно чаще проводить мониторинг текущего эколого-функционального состояния зеленых насаждений.

Дистанционный мониторинг зеленых насаждений. Дистанционный мониторинг зеленых насаждений представляет собой автоматизированную аэрокосмическую систему сбора, регистрации, хранения и анализа ключевых параметров текущего эколого-функционального состояния городских зеленых насаждений для получения оперативной информации о его состоянии в целом. К зеленым насаждениям общего пользования относятся зеленые насаждения: парков, городских садов, скверов, бульваров, озеленение городских улиц. Дистанционный мониторинг состояния зеленых насаждений общего пользования представляет собой постоянно действующую систему оперативного наблюдения за зелеными насаждениями, за нарушением их устойчивости, повреждениями вредителями, поражениями болезнями и другими негативными факторами среды, обеспечивающая раннее выявление неблагоприятного состояния насаждений, оценку и прогноз развития экологически неблагоприятных ситуаций, получение достоверной оперативной аэрокосмической информации о нежелательных изменениях природной среды под антропогенным влиянием. Основными задачами дистанционного мониторинга состояния зеленых насаждений общего пользования городских территорий являются:

- наблюдение (слежение) и получение специализированных данных (индексов) на основе данных тематической обработки материалов оперативной аэрокосмической съемки, характеризующих текущее эколого-функциональное состояние зеленых насаждений, а также выявление пространственной структуры и учет зеленых насаждений;
- тематический анализ полученных данных и оценка текущей ситуации с зелеными насаждениям;
- построение краткосрочного прогноза и долгосрочного прогнозирования ситуации с эколого-функциональным состоянием зеленых насаждений, расположенных в городской среде;
- принятие управленческих решений по содержанию, повышению устойчивости, защите, восстановлению и реконструкции зеленого фонда города.

Мониторинг состояния зеленых насаждений городских территорий общего пользования используется для обоснования и принятия своевременных управленческих, хозяйственных, технологических и других решений, выбора оптимальных вариантов стратегии и тактики защитных и природоохранных мероприятий в целях обеспечения

рациональной и экологически обоснованной деятельности системы городского хозяйства с использованием эколого-экономических критериев и целевого назначения зеленых насаждений.

Результаты мониторинга состояния зеленых насаждений используются при формировании планов по озеленению, проектировании объектов озеленения и благоустройства, планировании работ по их содержанию, разработке и актуализации генерального плана города.

Результаты исследований. Важной задачей при разработке системы аэрокосмического мониторинга было получение достоверных показателей содержания хлорофиллов и каротиноидов в кронах основных пород древостоя, произрастающих во дворах и парках для их сравнения с вегетативными индексами по спутниковому снимку с последующей инвентаризаций и классификаций. Согласно полученным данным, количество фотосинтетических пигментов значительно варьирует в зависимости от места произрастания, видового состава и степени пораженности деревьев.

Среднее содержание хлорофилла а и каротиноидов в древесных видах распространенных в озеленении, согласно, полученным данным такое: наибольшее содержание хлорофилла во всех сборах характерно для: клена, березы, рябины, липы, а наименьшее для тополя, ели и сосны.

Проведя корреляционный анализ данных лабораторных исследований и ДЗЗ, было установлено, что коэффициент корреляции Пирсона для индекса NDVI и содержания хлорофилла в кронах пород, представленных на тестовых полигонах (ТП), составил 84,52 %, а коэффициент детерминации - 71,43 %.

Для индекса SIPI и содержания каротиноидов в кронах пород, представленных на ТП, он составил 86,05%, а коэффициент детерминации - 74,05 % соответственно. Полученные цифры свидетельствуют о наличии достаточно тесной связи между данными космических и наземных исследований. Также установлены достаточно хорошие корреляционные связи между содержанием хлорофилла и индексом SIPI.

В ходе исследований установлено, что имеется четкая прямо пропорциональная зависимость между величиной индексов NDVI, SIPI и степенью дехромации крон из-за пораженности листьев фитопигментными грибами и листогрызущими насекомыми. К наиболее пораженным относятся каштаны (степень поражения 95 %), также поражены практически все виды тополей (степень поражения 75 %), все виды липы (степень поражения 50 %) и дуба (40 %). На ТП, где большой процент этих пород, индексы всегда ниже, чем на не очень затронутых вредителями. Наиболее распространенными фитопигментными грибами в г Минске можно считать буро-коричневую ржавчину, сажистый грибок и мучнистую росу.

Заключение. В результате выполнения комплексных дистанционно-наземных (эталонных) исследований по валидации данных, полученных по материалам тематической обработки многозональных данных аэрокосмической съемки на сети оптических эталонов ТП были выделены зоны с **неудовлетворительным, удовлетворительным и хорошим состоянием зеленых насаждений городских территорий.**

В ходе исследований установлено, что имеется четкая прямо пропорциональная зависимость между величиной вегетационных индексов NDVI, SIPI и др., и степенью дехромации крон из-за пораженности листьев фитопигментными грибами и листогрызущими насекомыми, что отражается на состоянии паренхимы листа - внутренней хлорофиллоносной ткани, выполняющей основную функцию – фотосинтез.

Разработанная система аэрокосмического мониторинга зеленых насаждений городских территорий позволяет осуществлять предварительную обработку данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ); автоматизированное выделение и классификацию типов растительного покрова; формирование базы эталонов; формирование тематических слоев растительного покрова зеленых зон городских территорий, отража-

ющих их эколого-функциональное состояние; редактирование векторных объектов тематических слоев; формирование тематических карт; геопространственный анализ и решение расчетно-аналитических задач; производить загрузку (выгрузку) векторных данных в заданном формате. Работа разработанной системы аэрокосмического мониторинга позволит осуществлять качественные мониторинговые исследования зеленых насаждений не только в городе Минске и его окрестностях, но и на территории крупных областных и промышленных центров Беларуси.

Список использованных источников

1. Мониторинг растительного мира результаты и перспективы / И. В. Бордок [и др.] А. В. Пугачевский, А. В. Судник. Нац. акад. Наук Беларуси, Ин-т экспериментальной ботаники НАН Беларуси им. В.Ф.Купревича, под общей редакцией А.В.Пугачевского, А.В.Судника, Минск: Белорусская наука 219-491 с.
2. Павлова Л. М. [и др.] // Состояние фотосинтетических пигментов в вегетативных органах древесных растений в городской среде / Павлова Л. М. Вестник РУДН, серия Экология и безопасность жизнедеятельности, 2010, № 2. С. 11–19.