

СЛІ

ИСКУССТВЕННЫЙ
И·Н·Т·Е·Л·Л·Е·К·Т
ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА



РОССИЙСКАЯ·АКАДЕМИЯ·НАУК
АКАДЕМИЯ·ВОЕННЫХ·НАУК
РОССИЙСКАЯ·ИНЖЕНЕРНАЯ·АКАДЕМИЯ
ВОЕННО-ИНЖЕНЕРНАЯ·КОРПОРАЦИЯ

1
2023



РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
АКАДЕМИЯ ВОЕННЫХ НАУК
РОССИЙСКАЯ ИНЖЕНЕРНАЯ АКАДЕМИЯ
ВОЕННО-ИНЖЕНЕРНАЯ КОРПОРАЦИЯ

№ 1П(1) 2023

Издается с марта 2023 г.
Выходит 4 раза в год

Главный редактор

Каляев Игорь Анатольевич,
академик РАН

Научно-редакционный совет

Малинецкий Г.Г., д.ф.м.н.
(председатель)

Полтавский, А.В., д.т.н.

(зам. председателя)

Парамонов Н.Б., д.т.н.

Елистратов В.В., д.т.н.

Малков С.Ю., д.т.н.

Барский А.Б., д.т.н.

Климов С.М., д.т.н.

Василенко В.В., д.т.н.

Мурашов М.В., д.т.н.

Любимова Т.М., д.ф.н.

Абросимов В.К., д.т.н.

Веревкин А.С., д.т.н.

Артюшенко В.М., д.т.н.

Мещеряков Р.В., д.т.н.

Хорошилов А.А., д.т.н.

Силантьев А.Ю., д.т.н.

Буренок В.М., д.т.н.

Гусев Б.В., д.т.н. чл.-кор. РАН

Ульянов С.В., д.т.н.

Редакционная коллегия

Прошляков Д.К., к.т.н.

Белоглазов В.А., к.т.н.

(ответственный редактор)

Грицюта С.М.

Ковалев В.И., к.т.н.

Свириденко В.В.

Белоглазов В.В.

Экспертная группа

Першин С.М., к.т.н.

Захаров А.Н.

Белицкий А.А.



Мнение авторов может
не совпадать с мнением редакции.

ИСКУССТВЕННЫЙ И · Н · Т · Е · Л · Л · Е · К · Т · ТЕОРИЯ и ПРАКТИКА

Научно-практический междисциплинарный журнал

Искусственное воображение, семантика, нейронные сети, распознавание образов, информационная безопасность, компьютерная лингвистика

Естественные науки, технические науки. Специальности: математика и механика (1.1.6; 1.1.10); компьютерные науки и информатика (1.2.1; 1.2.2; 1.2.3; 1.2.4); электроника, фотоника, приборостроение и связь (2.2.11; 2.2.12); информационные технологии и телекоммуникации (2.3.3; 2.3.5; 2.3.6; 2.3.7; 2.3.8); машиностроение (2.5.1; 2.5.4; 2.5.21); интеллектуальные транспортные системы (2.9.8);

С · О · Д · Е · Р · Ж · А · Н · И · Е

ИМИТАЦИЯ КОГНИТИВНЫХ ФУНКЦИЙ ЧЕЛОВЕКА, ЯЗЫКИ, МЕТОДЫ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ПОДДЕРЖКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

Малинецкий Г.Г.

Новая реальность, самоорганизация, искусственный интеллект 3

Дурнев Р.А.

Искусственный интеллект: комплексный анализ состояния и перспектив разработки 9

Пронин А.Ю., Леонов А.В.

Проблемы развития искусственного интеллекта в России и пути их решения 38

Прохватиллов В.

Станет ли искусственный интеллект революцией в военном деле? 79

МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ, БАЗЫ ДАННЫХ И ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ДАННЫХ, АЛГОРИТМЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

Дурнев Р.А., Гусева А.С.

Технологии искусственного интеллекта для моделирования тактических ситуаций 18

Краснослободцев В.П., Раскин А.В., Степкин А.В., Тарасов И.В.

Технологии искусственного интеллекта в современной и будущей вооруженной борьбе 56

ТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ, РАЗРАБОТКА, УПРАВЛЕНИЕ И БЕЗОПАСНОСТЬ НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Захарова А.А., Климаков В.С., Кутахов В.П., Мещеряков Р.В., Смолин А.Л.

Постановка задачи реализации модели беспилотной авиационной транспортной системы с использованием технологий искусственного интеллекта 26

Силантьев А.Ю.

Развитие и моделирование сложных систем 46

Матвиенко Ю.А.

О научно-технических проблемах использования технологий искусственного интеллекта в автоматизированных системах военного назначения 52

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

Никитин Ю.В., Хорошилов А.А.

Интеллектуальный текстовый процессор 60

ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ СЕТИ

Русяева Е.Ю., Полтавский А.В.

Энтропийный анализ машинных переводов в компьютерной сети 31

УДК 004.8/93

© Малинецкий Г. Г.

© G. Malinetsky

**НОВАЯ РЕАЛЬНОСТЬ,
САМООРГАНИЗАЦИЯ, ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ****A NEW REALITY,
SELF-ORGANIZATION, ARTIFICIAL INTELLIGENCE**

Аннотация. Создание нового журнала – радостный и волнующий момент. Он дает шанс сформировать новое сообщество исследователей. Появляется возможность получить и обсудить ответы на вопросы в этой стремительно развивающейся области. Обратной стороной больших успехов являются серьезные угрозы. Такова диалектика. Не напрасно говорят, что оптимист – это плохо информированный пессимист. Некоторыми мыслями, связанными с нашим будущим и развитием искусственного интеллекта, стоит поделиться.

Abstract. The creation of a new magazine is a joyful and exciting moment. It gives a chance to form a new community of researchers. There is an opportunity to receive and discuss answers to questions in this rapidly developing field. The downside of great successes is serious threats. Such is the dialectic. It is not in vain that they say that an optimist is a poorly informed pessimist. Some thoughts related to our future and the development of artificial intelligence are worth sharing.

Ключевые слова. Системный анализ, кибернетика, теория управления, самоорганизация, искусственный интеллект.

Key words. System analysis, cybernetics, management theory, self-organization, artificial intelligence.

Чудо самоорганизации

Искусство – это «я», наука – это «мы».

К. Бернар

Взлет науки и технологий, начавшийся в XVII веке, был связан с исследованием элементарных сущностей, частей, поняв свойства которых, мы сможем осмыслить целое. Материальная точка, а затем элементарная частица в физике, элемент в химии, клетка в биологии, товар в экономике, бесконечно малые в математике. Успехи на этом пути огромны. Именно они позволили сформировать современную науку и нынешнюю технологическую реальность. Однако со середины XX века в центре внимания оказывается взаимодействие элементарных сущностей, системный анализ. Становится понятна важность и ценность междисциплинарных подходов. Если в индустриальную эпоху считалась необходимой узкая специализация, имелась уверенность, что каждый должен заниматься своим делом, не вмешиваясь в чужие, что вполне нормально иметь «академика по китам», «академика по котам», то в постиндустриальном мире всё изменилось.

Истина всё чаще оказывалась на пересечении двух или большего количества наук. Пришла пора междисциплинарных подходов. Норберт Винер и его коллеги мыслили *кибернетику* как теорию управления, связи, обработки информации в машинах, живых организмах и обществе. Её достижения очевидны, и о них вполне можно не говорить. Вновь и вновь возникает вопрос, как же возникли эти сложные системы, которые обрабатывают информацию, которые управляют или сами подвергаются управлению, как возникают связи между элементарными сущностями, которые дают целому новое качество, которыми не обладают его части.

Ответ связан с *самоорганизацией*, которая, по-видимому, в XXI веке станет таким же важным и общим понятием как «движение», «информация», «сознание». Теорию самоорганизации или синергетику ученые начали разрабатывать, начиная с 1970-х годов. Последнее название, происходящее от греческих слов «совместное действие», предложил немецкий физик-теоретик Герман Хакен. Сегодня синергетика представляет собой активно развивающийся подход, лежащий на пересечении сферы *предметного знания, математического моделирования и философской рефлексии* [1].

Очевидный и волнующий пример, открытие нейронов испанским врачом и гистологом Рамоном-и-Кахалем (Нобелевская премия по физиологии и медицине за 1906 год). Ученых удивляет простота нервных клеток, не слишком отличающихся от других клеток организма. Откуда же берутся память, эмоции, способность учиться, сознание? Наиболее популярным подходом сейчас является *коннекционизм*, описывающий мыслительные или поведенческие явления процессами самоорганизации в сетях из связанных между собой

элементарных сущностей – нейронов. Человеческий мозг имеет около 86 миллиардов нейронов, и каждый нейрон имеет в среднем 7000 синаптических связей с другими нейронами. По сути, все успехи нейронных сетей связаны с воплощением принципов строения и работы мозга. Казалось бы, если мы что-то принципиальное узнаем из нейробиологии, то это существенно поможет нам в создании и работе с искусственным интеллектом. (Впрочем, некоторые мои коллеги полагают, что эти биологические аналогии – «детство», которое давно пора забыть).

Но! Если бы этих «но» не было, то можно было бы не создавать журнала. Все, кто в нашем Отечестве работал с нейросетями, знают, что у нас днем с огнем не найдешь нейробиологов, тем более заинтересованных в работе с искусственным интеллектом. В то же время в США не первое десятилетие реализуется гигантский проект по исследованию *коннектома* человека. Коннектомом по аналогии с геномом называют полную структуру связей в нервной системе. Цель работы – составить наиболее полное описание структуры и закономерностей работы нейронных сетей человеческого мозга, связать особенности структур мозга со способностями и поведением конкретного человека. Удивительно интересная задача!

А что у нас? Здесь вспоминается лесковский Левша, просивший передать государю императору, что в Англии ружья уже кирпичом не чистят, и нам не след...

Мы будем рады видеть статьи нейробиологов, заинтересованных в работе с компьютерщиками, инженерами, математиками.

Но! В серьезности работ по искусственному интеллекту никто не сомневается. Один из ведущих специалистов в этой области Кай-фу Ли предсказывает, что к 2030 г. искусственный интеллект (ИИ) добавит \$15,7 трлн., при этом на Китай придется \$7 трлн., а на США – \$3,7 трлн. Эти страны он называет *сверхдержавами искусственного интеллекта* [2]. В 2021 г. американский сенат одобрил законопроект, который предусматривает выделение около \$250 млрд. на обеспечение технологического превосходства США над Китаем. Из них \$54 млрд. пойдет на создание в США современных чипов и телекоммуникационного оборудования, а \$190 млрд. на укрепление технологий и исследований. А мы-то где?!

В ходе Всероссийского открытого урока 01.09.2017 г. Президент сказал: «Искусственный интеллект – это будущее не только России, это будущее всего человечества. Здесь колоссальные возможности и трудно прогнозируемые сегодня угрозы. Тот, кто станет лидером в этой сфере, будет властелином мира. И очень бы не хотелось, чтобы эта монополия была сосредоточена в чьих-то конкретных руках, поэтому, если мы будем лидерами в этой сфере, также будем делиться этими технологиями со всем миром, как мы сегодня делимся атомными технологиями, ядерными технологиями» [3].

Путь от политических решений и мнения первых лиц до конкретных дел неблизкий. В настоящее время Россия тратит на работы по искусственному интеллекту в 350 раз меньше, чем Китай. Там, где у нас ломает голову над актуальными проблемами один сотрудник, у них работает целый институт... Очевидно, нам нужно создавать более многочисленное, активное и энергичное сообщество, чтобы планы российских руководителей в области искусственного интеллекта воплощались в реальность... Здесь стоит напомнить императив академика И.В. Курчатова: «Обгонять, не догоняя».

Наша способность к самоорганизации дала нашему виду стратегическое преимущество в ходе эволюции. В отличие от других мы научились передавать информацию о жизнеспасающих технологиях в пространстве (из региона в регион) и во времени (от поколения к поколению). В осознание важности этого огромную роль сыграл выдающийся просветитель России Сергей Петрович Капица. Информационное взаимодействие стало катализатором нашей стремительной эволюции. Сейчас роль самоорганизации в нашей эволюции понимают многие. Израильский историк Ю.Н. Харари пишет: «Решающую роль в завоевании нами мира сыграла наша способность объединять в сообщества массы людей. Современное человечество правит планетой не потому, что отдельно взятый человек более умный и более умелый, чем отдельно взятый шимпанзе или волк, а потому, что *homo sapiens* – единственный на Земле вид, способный гибко взаимодействовать в многочисленных группах... Насколько известно, только *homo sapiens* способен в очень гибких формах взаимодействовать с неограниченным числом незнакомцев» [4].

Однако всё меняется. В мире сейчас работает 6,2 млрд. вычислительных машин, и они меняют способы самоорганизации в обществе. Чем дальше, тем труднее становится разобраться, является ли текст или фотография в интернете фейком или нет. Системы искусственного интеллекта (и пандемия COVID-19 это наглядно показала) позволяют организовать постоянный контроль за каждым конкретным человеком. У нас не остается личного пространства. Мы этого хотели? Кант полагал, что человечество движется ко всё большей свободе. И тут такой облом...

В проекте четвертой промышленной революции, продвигаемой Давосским экономическим форумом, указывается в качестве перспективы, которая должна реализоваться до 2025 года, наличие 1 триллиона сенсоров – «наблюдатчиков», которые будут следить за нами, и «вживляемых мобильных телефонов», а также наличие систем с искусственным интеллектом в советах директоров крупнейших компаний [5]...

Более того, в ряде стран уже используются системы *социального рейтингования*. В этих системах по перехваченным письмам, разговорам, передвижениям и многому другому системы искусственного интеллекта выставляют рейтинг, в соответствии с которым людей награждают или наказывают... Подобные системы оказываются выше закона.

К чему это приводит? Французский социолог Жак Аттали назвал такое будущее «эрой гиперконтроля»: «*Наблюдение* – модное словечко грядущих времен. Наступит время гиперконтроля. С помощью новейших технологий можно будет узнать всё о происхождении продукции и передвижении людей, что в далеком будущем будут использовать для военных целей... Ничего не удастся держать в секрете, больше не останется причин для скромности и скрытности. Все будут знать всё обо всех. У людей исчезнет чувство стыда и одновременно увеличится толерантность» [6].

Иными словами, ИИ со всей определенностью прочерчивает нам путь в новое средневековье.

Будет прекрасно, если социологи, психологи, инженеры представят в журнал статьи об управлении рисками искусственного интеллекта, о его влиянии на общество.

Есть известная поговорка – скупой платит дважды. Люди, занимающиеся управлением последствиями техногенных аварий, знают, что в их области платить приходится от 10 до 1000 раз. На этом технологическом повороте мы можем потерять всё.

Военный императив

Над чем бы ученые ни работали, у них всё равно получается оружие.

К. Воннегут

На заседании Главного военного совета И.В. Сталин 13 января 1941 г. говорил: «Современная война будет войной моторов. Моторы на земле, моторы на воде и под водой. В этих условиях победит тот, у кого будет больше моторов и больший запас мощностей». И он оказался прав! Всё сложилось именно так.

Мне, да и многим членам редколлегии, уже лет 15 пришлось объяснять, писать и докладывать, что следующая война будет *войной разведывательно-ударных комплексов*, естественно, с системами ИИ. Маршал Н.В. Огарков много лет назад говорил о сетевых войнах. В 1968 г. был успешно испытан советский беспилотник, который мог бы использоваться в военных целях. И, судя по войнам, все были правы.

Но! Довести эту правоту до пополнения армии оружием такого типа не удалось. По объективным и субъективным причинам сообщество, которое смогло бы решить эту задачу, не сложилось. Война – суровый экзамен. Она выступает также в роли учителя, который действует быстро и жестко. История устроена так, что для тех, кто хорошо готов к экзамену, его часто отменяют.

Лица, принимавшие решения в течение десятилетий, не могли определиться, какие же системы управления, беспилотники и группировки спутников нам нужны. Да и для чего делать что-то новое, если старое идет отлично? Наверно, есть вина ученых и инженеров в том, что не смогли убедить, настоять, объяснить. Будем рады обсудить круг решений и в этой области на страницах журнала.

Одним из недостатков отечественной литературы, касающейся оружия и оборонного комплекса, является отсутствие стратегического прогноза и желания заглядывать вдаль.

Но! Для того, чтобы жить в мире и не воевать, надо рассматривать не только привычные, благостные сценарии, но и худшие, так или иначе связанные с искусственным интеллектом. В качестве примера можно обратить внимание на работы академика Н.Н. Моисеева и профессора К. Сагана, показавших, что масштабный обмен ядерными ударами (более 1000 Мт) приведет к ядерной ночи и ядерной зиме, которая уничтожит огромную часть биосферы. В результате осознания новой реальности число ядерных боеголовок было сокращено примерно в 7 раз. Не менее важно понимание, что без этого вида оружия России не обойтись, что есть *пределы сокращений*, выходить за которые крайне опасно [7].

В подтверждение мысли о «неудобных сценариях» развития ИИ две цитаты.

По мысли выдающегося физика Стивена Хокинга, «Развитие полноценного искусственного интеллекта может означать конец человеческой расы... Он будет развиваться сам по себе и перепроектировать себя со всё возрастающей скоростью. Люди, ограниченные медленной биологической эволюцией, не могут конкурировать и будут вытеснены».

Предприниматель и изобретатель Илон Маск, капитализация фирм которого превысила \$3 трлн., утверждает: «Темпы прогресса в области искусственного интеллекта (я не имею в виду узкий ИИ) невероятно быстры. Если у вас нет прямого контакта с такими группами, как Deepmind, вы понятия не имеете, насколько быстро он растет темпами, близкими к экспоненциальным. Риск того, что произойдет что-то серьезно опасное, находится в пятилетнем периоде. Максимум 10 лет».

Будем рады статьям, связанным с управлением рисками ИИ, с неудобными сценариями последнего, в том числе в военно-технической сфере.

Многие проекты войн будущего, обсуждаемые американскими учеными и генералами, кажутся фантастическими. В 1956 г. после запуска советского спутника США создали Управление перспективных исследовательских проектов Министерства обороны США (DARPA). Цель у этой организации – было избавиться от возможных «технологических» неожиданностей со стороны СССР, а также проработка «сумасшедших» проектов, которые могут в будущем понадобиться военным, и еще организация открытых конкурсов, в которых мог бы принять участие любой желающий. Например, в 2005 г. гонку беспи-

лотных автомобилей выиграла машина Stanley, созданная под началом Себастьяна Труна из Стэнфордского университета. Премия DARPA за этот проект составила \$2 млн. Данный прорыв положил начало технической революции в сфере транспорта. Подводя итоги, можно сказать, что DARPA справилась со своими задачами.

Но! Почему мы в нашем Отечестве не сделали чего-то похожего?! Во-первых, потому что во главе подобных структур, которые мы пытались создать, были не творцы, а чиновники или «эффективные менеджеры», для которых свое место было важнее инновационных прорывов. Почему-то было забыто, что созданием важнейших систем в гражданских и военных секторах экономики в СССР руководили выдающиеся инженеры и ученые, а не администраторы. Во-вторых, элементарное неверие в свои силы: «Если у них такого нет, значит, у нас точно не получится». В-третьих, элементарная жадность. Я имею честь работать в Институте прикладной математики им. М.В. Келдыша. Наши студенты и аспиранты много лет занимали первые места на мировых и европейских конкурсах по робототехнике. Сделанные ими игрушки делали удивительные вещи по сравнению с тем, что делали соперники. Но... все это двигалось, ориентировалось, решало сложные задачи в комнате. На «настоящие» автомобили, беспилотники, лодки, самолеты денег вновь и вновь не хватало. Война показывает, что здесь скупой платит не дважды, а в гораздо большее число раз. Страницы журналов открыты для фантастических сегодня проектов, которые могут стать актуальными завтра.

Кроме того, очень важно иметь реальное представление и не следовать иллюзиям. Важно, чтобы слова руководителей и дела простых смертных не слишком расходились друг с другом. Вспомним «4 И», «победное» шествие нанотехнологий под началом «Роснано», программу «Цифровая экономика», из которой странным образом выпало производство, да и многое другое.

Но! Очень важно избавляться от иллюзий. Сейчас часто возникает ощущение, что еще один рывок и их ИИ будет сражаться с нашим ИИ, их суперкомпьютеры будут соперничать с нашими. Станислав Лем писал об этой иллюзии в своем фантастическом эссе, в котором прогнозировал развитие вооружений в XXI веке: «Там, где поражение от победы отделяют часы (или дни) и километры (или сотни километров), а любая ошибка командования может быть исправлена переброской резервов, умелым отступлением или контратакой, роль случая можно с успехом свести к минимуму. Но там, где успех боевых операций зависит от микромиллиметров и наносекунд, на сцену, подобно новому богу войны, предпрещающему победу или разгром, выходит случайность в чистом и, как в увеличенном виде, случайность, пришедшая к нам из микромира, из области физики атома... Это можно выразить так: системы, неслышно быстрые, ошибаются неслышно быстро» [8].

Право первородства

Если душа родилась крылатой –
 Что ей хоромы – и что ей хаты!
 Что Чингисхан ей и что – Орда!
 Два на миру у меня врага,
 Два близнеца, неразрывно слитых:
 Голод голодных – и сытость сытых!

М. Цветаева

Цели, смыслы, стремления появляются, когда у нас чего-то не хватает, когда видим горизонт, к которому хочется прорваться. Но если все желаемое уже есть, то... обычно начинается ад. Прекрасно выразил это Александр Сергеевич Пушкин:

*Я пережил свои желанья,
 Я разлюбил свои мечты;
 Остались мне одни страданья,
 Плоды сердечной пустоты.*

Если мы всюду заменим человека, то что же останется ему?! Понимаю, как трудно было создать программу, которая выиграла в шахматы у чемпиона мира Гарри Каспарова в 1997 году. Программа AlfaGo в 2016 году выиграла в го у чемпиона мира Ли Седоля. Что же останется нам? Вторичность. Зачем карабкаться на Эверест, если вы можете купить билет и вас со всевозможным комфортом доставят туда, прямо на вершину?

Карабкаться надо! Природа учит, что неиспользуемые органы отмирают. Зачем кормить ненужное?!

«Подобно тому, как результатом промышленной революции стало возникновение рабочего класса, так следующая масштабная революция создаст класс неработающий, бесполезный», – пишет Ю.Н. Харари, обсуждая будущее.

Можно вспомнить до сих пор комментируемый эксперимент Джона Кэлхауна «Вселенная-25», в котором он попытался создать «мышинный рай». У его подопечных был неограниченный запас еды и воды. Ученый следил, чтобы мыши не болели, имели большую территорию для размножения и были изолированы от хищников. Идеальные условия для жизни привели к гибели колонии. Развитие первых 24 колоний также кончи-

лось катастрофами.

Отбирая у людей дела, развлечения, цели, мы ведем человечество к пропасти... Искусственный интеллект делает это стремительно. Следовательно, нужны быстрые решительные шаги, чтобы двигаться подальше от этого грустного конца, в другом направлении. Страницы журнала открыты для социологов, психологов, педагогов, системщиков, инженеров, руководителей, которые представляют, как это сделать.

Методология подвигов Геракла

Ты никогда не переплывешь океан, если будешь бояться потерять берег из виду.

Х. Колумб

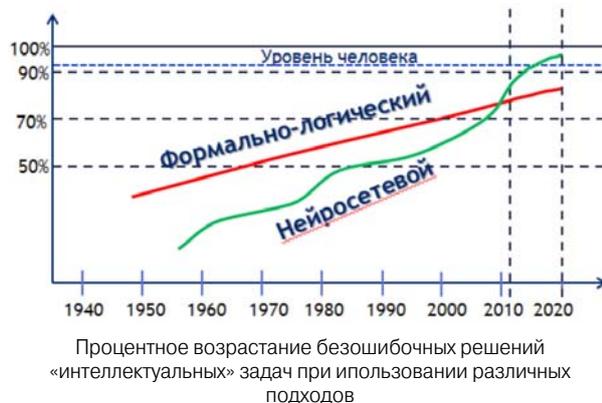
В нашем журнале во главу угла поставлена методология. И это очень важно – мы живем в мире перемен. Главное, чтобы мы управляли ими, а не они нами. Цели и идеи важнее средств и конкретных устройств. Обо всем этом в контексте искусственного интеллекта стоит поговорить. Приведем пару примеров.

Есть замечательный миф о наказанном Сизифе, который вновь и вновь тащил в гору огромный камень, но потом камень падал вниз, и надо опять было взбираться с грузом на вершину. В технологии есть удивительные примеры самоорганизации. Огромные усилия вкладываются в то, что сложно и долго, но потом, как в сказке, исполняется мечта. Ключевые вещи становятся простыми, доступными и дешевыми.

Например, первые атомные бомбы и космический полет считались на огромных вычислительных машинах в закрытых институтах. Процессоры в этих компьютерах были на много порядков медленнее, чем те, которые стоят в наших мобильных телефонах. Поразительно, насколько подешевели операции на суперкомпьютерах за несколько десятилетий. Сначала дорого, потом дешево. За 10 лет цена секвенирования генома человека уменьшилась в 10 тысяч раз. Почтенный академик, энтузиаст информатики, в 1960-х годах полагал, что к нынешнему времени все станут программистами, но оказалось, что можно обойтись без этого. Важно перевалить хребет, связанный с той или иной технологией или научной проблемой. Мы надеемся на статьи, посвященные этому. Сизиф должен добиться успеха!

Кроме того, здесь открывается огромное поле для междисциплинарных исследований, технологий, проектов, программ. Работы в области молекулярной биологии очень скоро станут невозможны без активного использования искусственного интеллекта. В самом деле, длина нашего генома около 3 млрд оснований. Огромное слово, состоящее из 4 букв (А – аденин, Г – гуанин, Ц – цитозин, Т – тимин). Но мы и живем около 3 млрд секунд, – у нас нет времени, чтобы осмысливать основание за основанием нашу наследственную информацию. В 2020 году Нобелевскую премию по химии получили Дженнифер Дудна и Эммануэль Шарпантье за развитие технологий редактирования генома CRISPR/cas9. С его помощью можно изменять гены растений, животных, возможно лечить тяжелые наследственные заболевания людей. Но что можно менять, а что лучше не трогать, чтобы не получить «подарок Люцифера», – свойства, возможности и болезни, без которых очень бы хотелось обойтись? Чтобы разобраться в этом, требуется работа с большими данными, огромный объем вычислений, а также искусственный интеллект, чтобы достижения от этой технологии оказались не меньше потерь.

В настоящее время происходит революция, связанная с огромным расширением возможностей «восходящего искусственного интеллекта» или «грязного подхода», по сравнению с «нисходящим искусственным интеллектом», «чистым подходом» (см. рисунок).



Но! У каждого из этих подходов есть свои достоинства и недостатки. Следует осмысливать методологию использования того или иного подхода для решения разных классов задач. Это тем более важно, потому что мы еще не научились писать большие компьютерные программы без существенной доли ошибок. Кроме того, у нас, к сожалению, нет хороших учебников, отражающих кардинальные сдвиги в данной области, произошедшие в последние годы. Люди, хорошо понимающие в «грязном подходе», предпочитают активно работать и применять на практике эту методологию, не занимаясь преподаванием. Поэтому методологиям развития и приложениям того или иного подхода в реше-

нии актуальных задач будет уделено существенное внимание на страницах журнала.

Мы вступили в постиндустриальную эпоху в то время, когда наука, знание и развитие технологий становится основой для движения вперед. Прекрасно, что Сбербанк всерьез взялся за искусственный интеллект и проблемы безопасности! Видимо, не все сразу получается – мошенники с заявлениями о проблемах с моими счетами звонят регулярно, а количество компьютерных преступлений в нашем Отечестве за 5 лет выросло в 8 раз. При этом удается расследовать только около 20% подобных случаев... Вероятно, дальше дела пойдут лучше.

Но! И глобальные рынки, и огромные финансовые системы, и электронная торговля вторичны по сравнению со сферой производства. Что продавать, если ничего не производится?! И США, и Китай стали сверхдержавами искусственного интеллекта, прежде всего, благодаря огромным производительным силам этих стран. Индикатором промышленного развития является число роботов на 10 тысяч рабочих. В десятку самых роботизированных стран мира входит Южная Корея (631 робот на 10 тысяч рабочих), Сингапур (488), Германия (309), Япония (303), Дания (211), США (189), Италия (185), Испания (160), Канада (145), Франция (132). Наши показатели существенно скромнее... 3 робота. Мы будем уделять большое внимание искусственному интеллекту в промышленности. «Быть или не быть» являются будущим временем от «производить или не производить». Мы надеемся на самоорганизацию специалистов, работающих в этой области.

Системы искусственного интеллекта могут быть полезны в образовании. Они могут вновь и вновь отвечать на вопросы школьников и студентов, «придумывать» новые задачи, имитировать объекты и системы, которые мы хотим изучить. Послушав наших чиновников от образования, можно прийти к выводу, что ИИ – это наше все в образовательной сфере.

Но! Образование – это результат диалога людей между собой, а не человека и машины. Психологи называют нынешнюю молодежь «поколением с опущенным взором». Взор в мобильнике или в планшете – в чужом призрачном мире. «Преподавание по компьютеру» в пору COVID-19 показало, что это на 95% бездарно потраченное время. Монолог вместо диалога. Наши школьники по результатам международного исследования PISA находятся в 4-м десятке среди ребят других стран, что не очень высоко... Методологии в этой сфере мы также собираемся уделить большое внимание.

Большие цели дают большие силы. Реальность такова, что России надо иметь большие цели в области искусственного интеллекта! Надеемся, что у нашего сообщества, у авторов и читателей журнала «Искусственный интеллект. Теория и практика» силы для достижения этих целей найдутся.

Список источников

1. **Малинецкий Г.Г.** Синергетика – новый стиль мышления: Предметное знание, математическое моделирование и философская рефлексия в новой реальности. – М.: URSS, 2022. – 288 с. – (Синергетика: от прошлого к будущему, №105).
2. Сверхдержавы искусственного интеллекта. Китай, Кремниевая долина и новый мировой порядок. – М.: Манн, Иванов и Фербер, 2019. – 350 с.
3. **Путин В.В.** Лидер в сфере искусственного интеллекта станет властелином мира / <https://ria.ru/20170901/1501566046.html>.
4. **Харари Ю.Н.** Homo Sapiens. Краткая история будущего. / Пер. с англ. А. Андреева. – М.: Синдбад, 2018, с.151, 156.
5. **Шваб К.** Четвертая промышленная революция. Пер. с англ. ООО «Переведем.ру». – М.: Издательство «Э», 2017. – 208 с. – (Top Business Awards).
6. **Аттали Ж.** Краткая история будущего. Пер. с франц. Е. Пантелеевой. – СПб. Питер., 2014, с.177,178.
7. **Аладын В., Ковалев В., Малков С., Малинецкий Г.** Помни войну. Аналитический доклад русскому интеллектуальному клубу. / Отв. ред. О.А. Платонов. – М.: Институт русской цивилизации, 2016. – 480 с.

Материал поступил в редакцию 10.11.2022 г.

©Дурнев Р.А.

© R. Durnev

**ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ: КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ
СОСТОЯНИЯ И ПЕРСПЕКТИВ РАЗРАБОТКИ****ARTIFICIAL INTELLIGENCE: COMPREHENSIVE ANALYSIS
OF THE STATE AND DEVELOPMENT PROSPECTS**

Аннотация. Рассмотрено состояние развития слабого и сильного искусственного интеллекта. Определено, что методы слабого искусственного интеллекта являются частью автоматизации и применяются только в алгоритмизированном пространстве. Современный прогресс их применения связан в основном с ростом возможностей микроэлектроники. Сильный искусственный интеллект должен решать творческие задачи в неалгоритмизированном пространстве, и его разработка осуществляется по следующим направлениям: в виде программ на компьютере, путем усовершенствования человека и создания биокибернетических систем. Установлены основные проблемы и ограничения, перспективы реализации и риски указанных направлений.

Abstract. The state of development of weak and strong artificial intelligence is considered. It is determined that the methods of weak artificial intelligence are part of automation and are used only in algorithmic space. The modern progress of their application is mainly connected with the growth of microelectronics capabilities. Strong artificial intelligence should solve creative problems in a non-algorithmic space and its development is carried out in the following directions: in the form of programs on a computer, by improving a person and creating bio-cybernetic systems. The main problems and limitations, the prospects for implementation and the risks of these areas.

Ключевые слова. Искусственный интеллект, алгоритм, автоматизация, мышление, неокортекс, нейроны, биокибернетические системы.

Key words. Artificial intelligence, algorithm, automation, thinking, neocortex, neurons, biocybernetic systems.

Введение

Модная в очередной раз идея искусственного интеллекта (ИИ) находит всё больше сторонников в среде журналистов и ученых, обывателей и управленцев, военных и людей мирных профессий. Часто приводятся многочисленные рассуждения о проблемах и перспективах его применения в различных областях, выгодах и рисках, с ним связанных. При этом, как и с понятиями «жизнь», «знание», «управление» и т.п., «искусственному интеллекту» трудно дать конструктивное определение. Это связано в том числе и с тем, что составляющие его части «искусственный», «интеллект», а также близкие «разум», «мыслительные процессы» и т.п. отданы на откуп философии. А философы в затруднении в связи с дефицитом знаний о мозге и когнитивном (познавательном) аппарате биологических систем. Поэтому и существует огромное количество определений ИИ, ни одно из которых не является общепринятым. Один из апологетов ИИ, Марвин Мински, называл такие понятия «словами-чемоданами» со многими смыслами. Нам больше нравится аналогия с облаком, которое на расстоянии имеет четкие очертания, а вблизи – туман.

Но, несмотря на это, многочисленные разработчики заявляют об интеллектуальных гаджетах, бытовой технике, транспортных системах, комплексах вооружения. Насколько это правомерно и как к этому относиться – мы попробуем разобраться в этой статье.

Особенности методов слабого искусственного интеллекта

Первое, о чем нужно сказать, в основном всё, что сейчас разрабатывается в рассматриваемой области – это только «слабый ИИ». Слабым его назвали потому, что, с одной стороны, он далеко «не дотягивает» до человеческого, но с другой – это не вполне обычное программное обеспечение на компьютере. Хотя большинство задач, решаемых им, – это оптимизация решений (нахождение наилучших в каком-то смысле), классификация объектов (разбиение множества на классы в соответствии с критериями), экстраполяция данных (нахождение промежуточных значений), и для этого существуют традиционные методы. Но сами алгоритмы «слабого ИИ» приобрели антропоморфные (очеловеченные)

черты. Они либо копируют биологические процессы (например, сеть нейронов в мозгу человека, как у МакКаллока-Питса, или эволюционные алгоритмы, как у Д.Холланда), либо позволяли оперировать с рассуждениями на естественном языке (например, теория нечётких множеств Л.Заде). И хотя процесс получения результатов стал более эффективен, но их основу составляли те же алгоритмы, которые возможно запрограммировать на компьютере в виде последовательности нулей и единиц. Недаром многие специалисты говорят о том, что методы «слабого ИИ» – это не «подглядывание» за природой, а формализмы машинного обучения [1, с.23].

Поэтому методы "слабого ИИ" работают только в ситуациях, которые входят в алгоритм. Даже глубокое обучение нейросетей – это просто отладка и коррекция алгоритма. И в целом все методы "слабого ИИ", наряду с исследованием операций, системным анализом, теорией принятия решений, кибернетикой, являются составляющими автоматизации, т.е. процессов, выполняемых без участия человека.

Нет смысла говорить о тех успехах, которые достигла автоматизация – почти всё вокруг нас либо работает в автоматизированном режиме, либо создано автоматизированным способом. Однако у автоматизации есть принципиальная особенность (судя по её успехам - не хочется говорить недостаток) – она не работает в неалгоритмизированном пространстве, в таком, где четко не определены все шаги и их порядок. Поэтому число ситуаций, доступных ей, ограничено, и для того, чтобы осваивать всё их бесконечное разнообразие, автоматизации нужно беспрестанно долго развиваться.

Автоматизации недоступны не только многие ситуации, но и различные действия, связанными с ними. Например, основной проблемой автоматизации военного управления, наряду с разнородностью, слабой согласованностью и взаимосвязанностью различных её звеньев, является то, что современными средствами практически невозможно исключить человека в сугубо творческих процессах планирования действий и тем более формирования целей действий, целеполагания.

Методы "слабого ИИ" (принадлежащие, как мы определили, к автоматизации) существуют без серьезных изменений уже много лет. Даже популярные сегодня в техническом зрении сверточные нейросети были предложены тридцать лет назад. И весь современный бум их использования связан не столько с научными достижениями, сколько с инновационными технологиями, т.е. коммерциализацией ранее полученного знания. А сама эта коммерциализация является следствием закона Мура, в соответствии с пространственной трактовкой которого каждые два года (это верно для сегодняшнего времени) в два раза увеличивается производительность компьютеров.

Если говорить более корректно, то речь идет не столько о росте производительности, сколько о миниатюризации микроэлектроники, о росте количества транзисторов на кремниевой микросхеме заданных размеров. Но так как из года в год мы являемся свидетелями того, что по размерам наши персональные ЭВМ практически не меняются (или меняются не так значительно – не на порядки, что связано в том числе и с эргономикой), а их характеристики постоянно улучшаются в разы, то и возникает иллюзия роста только производительности.

Аналогично и для методов "слабого ИИ" весь прогресс связан в основном с ростом возможностей микроэлектроники. Так, появление на рынке компьютерных игр мощных видеокарт подвигло специалистов по нейросетям к их использованию в своих нуждах. Это определялось тем, что в основе нейросетевых технологий лежат матричные вычисления – необходимо постоянно перемножать и складывать огромные таблицы сигналов, приходящих к нейронам, их весов, ошибок и других элементов. И если для обычных центральных процессоров это достаточно трудоемкие операции, то для графических процессоров, изначально работающих в матричном пространстве пикселей, это "родная" задача.

Еще одна иллюзия прогресса "слабого ИИ" связана с увеличением компактных устройств, надежных элементов «разумного поведения» (гаджеты, «умная» бытовая техника, системы навигации и управления современных автомобилей). Причиной этого является увеличение их мощности до таких величин, которые раньше были доступны только большим ЭВМ, на которых отрабатывались ранее разработанные алгоритмы.

Но даже эмпирический закон Мура, продолжающий "выкачивать" из кремния все возможности, уже не так очевиден. К примеру, возникновение "многоядерности" процессоров говорит о том, что дальнейшая миниатюризация микроэлектроники близка к пределу. Аналогично, недалеко от естественной границы и длина волны ультрафиолетового излучения, с помощью которого "наносит трафарет" на кремниевой пластине. Чем меньше эта длина, тем меньше получаются транзисторы. Так вот используется практически минимально возможная длина волны, дальше свет перейдет в рентгеновский или гамма-диапазон. А в этом диапазоне уже меняются свойства кремния, делающие невозможным его использование в микроэлектронике.

Еще более категоричные доводы сводятся к тому, что в ближайшее время один из размеров транзистора на кремнии будет составлять всего 10-20 атомов. А в этих условиях наибольшую роль будут играть уже квантово-механические эффекты, связанные с различными неопределенностями (в траектории электронов, их импульсе, вероятности нахождения в определенной области и др.), которые невозможно будет разрешить на современном уровне развития науки и техники. Поэтому очередное крутое развитие "слабого ИИ" (а значит и автоматизации) в недалёкой перспективе сменится более пологими изменениями.

Направления создания сильного искусственного интеллекта

Мы достаточно подробно поговорили об очередной грани автоматизации - "слабом ИИ", а как же быть с "сильным ИИ"? Ведь именно он и должен решать творческие интеллектуальные задачи, являющиеся прерогативой человека, работать в неалгоритмизированном пространстве, с различными неформализованными ситуациями.

Для решения таких задач разработка "сильного ИИ" может вестись по следующим направлениям:

- разработка ИИ в виде программ на ЭВМ;
- усовершенствование человека с целью повышения его когнитивных способностей;
- создание биокибернетических систем, служащих подспорьем человеку в его мыслительных процессах.

Проблемы создания сильного искусственного интеллекта в виде программы на компьютере

Для реализации первого направления активно разрабатываются структурные модели мозга, в основном коры его больших полушарий, так называемого "неокортекса". В этих моделях, часто именуемых "коннектомами", делаются попытки определить место всех нейронов (а их у человека около 100 млрд.) со всеми их связями (порядка 10 – 15 тыс. на один нейрон). Для этого сейчас применяются методы магнито-резонансной и позитронно-эмиссионной томографии, электроэнцефалографии, делаются тончайшие срезы мозга, изучаемые под микроскопами [2, с. 35–45]. В будущем планируется цифровизация нейронов и их связей с помощью нанороботов и даже нейрохирургическая замена нейронов в мозгу транзисторами в компьютере. Несмотря на масштабность таких проектов, громкие заявления исследователей, серьезных успехов пока не наблюдается. "Коннектомы" некоторых простейших существ известны уже много лет. Так, структурная модель мозга нематоды – маленького полупрозрачного червячка – существует уже около 30 лет. В ней учтены все 302 нейрона этого существа со всеми их связями. Однако за такой период ученые так и не научились "оживлять" эту модель, которая больше напоминает словарь без значений слов.

Еще в большей степени это относится к мозгу более сложных животных, а тем более к мозгу человека. Даже простая его структуризация потребует десятков лет кропотливого труда, не говоря уже об использовании такой гигантской модели для имитации сложных мыслительных процессов.

Другим путем создания "сильного ИИ" в виде программы на ЭВМ является разработка функциональных моделей мозга. Человечество уже давно проявляет огромный интерес к своей мыслительной деятельности. И за неимением технологий (диагностических, сканирующих, компьютерных и других) исследователи создавали то, что им было доступно, мысленные модели мыслительных процессов, адекватность которых в более позднее время стали проверять различными психофизиологическими экспериментами, тестами, опросами и т.п. И таких моделей было разработано огромное количество практически во всех сферах человеческой деятельности. Нет смысла приводить их даже самую грубую классификацию, это будет многотомное издание. Из последних таких моделей наиболее системной, на наш взгляд, является запоминающе-прогностическая модель Дж.Хоккинса [3], в которой рассматриваются алгоритмы восприятия сенсорных сигналов, способы запоминания окружающего мира, принципы формирования прогнозов мышления и действий, и даже то, что отличает человека от животного – интроспекция или самоанализ, т.е. осознание самого себя, своих собственных мыслей. Об этой модели упоминает такой известный футуролог, специалист по ИИ, как Рэй Курцвейл [4, с.51]. На рубеже 2010 года он говорил о том, что данная модель переводится в машинный код и её планируется запустить на компьютере. Но после этого никакой информации ни об успехах этого процесса, ни о его неудачах, к сожалению, не было.

В целом, говоря о создании "сильного ИИ" в виде программы на ЭВМ, следует отметить, что одной из проблем являются вычислительные ограничения при решении даже слабо интеллектуальных задач, таких, какие легко решают маленькие дети. Так, для распознавания кошачьих мордочек Cat Detector от Google использовал 1000 серверов с 16 000 ядер [5, с.154]. "Умный" вертолет, который умел бы выполнять эту крайне узкую функцию, с таким набором аппаратуры не смог бы подняться в воздух. Аналогично трудно себе представить компактное устройство (например, андроидный робот), который может играть с человеком в шахматы или игру го. В первом случае в этот робот пришлось бы запихнуть несколько шкафов суперкомпьютера Deep Blue компании IBM, выигравшего у Г.Каспарова в 1997 г., во втором – 1920 CPU (центральных процессоров) и 280 GPU (графических процессоров), победивших Ли Седоля в 2016 г. и это практически на предельных возможностях кремния! При этом и компьютеры, и соответствующее программное обеспечение узкоспециализированы – умеют только играть в свои дискретные игры с полной информацией, игры, для которых важна только текущая позиция и не значима предыстория. Для них крайне эффективны различные переборные методы с дополнительными правилами, как эти переборы сокращать. В более сложных играх, например, в покер, уже требуется память ходов, ставок, возможностей игроков, да ещё и умение блефовать, поэтому здесь ИИ не так силен.

Для логического вывода и доказательства математических утверждений также нет алгоритмов существенно лучше полного перебора возможных логических цепочек. Но если для доказательства теоремы, состоящего из 5 строк, требуется перебрать не так уж и много вариантов, то для 50 строк этих переборов нужно сделать столько, что может не хватить и всего времени существования Вселенной [6, с.25]. Что же говорить о доказательстве теоремы Ферма, изложенном на нескольких сотнях страниц?

Ведущие игроки микроэлектроники (Intel, AMD и др.) давно уже озабочены "пределом кремния", поэтому активно занимаются поиском путей решения этой проблемы. Это создание трехмерных транзисторов, использование некремниевых материалов (например, графена), развитие обратимых и квантовых вычислений и т.п. Но все эти пути, как это часто бывает при эволюционном развитии техники, помимо очевидных преимуществ, например в быстродействии, обладают и серьезными недостатками. Так, трехмерные транзисторы, работают как обогревательные приборы, некремниевые материалы чувствительны к параметрам тока, квантовые вычисления критичны к нарушению когерентности состояний элементарных частиц.

Но даже если указанные недостатки будут преодолены, то все равно через некоторое время мы подойдем к пределу трехмерных транзисторов, графена или нанотрубок и опять начнется поиск очередных путей повышения производительности или более точно – соблюдение массо-габаритных параметров компьютеров, соответствующих нуждам человека. Ну а если при наступлении пределов каких-то материалов не будут найдены приемлемые решения - компьютеры будут увеличивать свою массу, расти вширь, все больше потреблять энергии. А так как человек решает все более сложные задачи и в своем любопытстве никогда себя не ограничит, вычислительные машины, для вычисления невообразимого числа знаков после запятой в числе «пи», могут по шутливо-серьезному сценарию того же Р. Курцвейла поглотить энергию всей Вселенной.

Но, пожалуй, даже это не самое главное – все указанные разработки будущего (трехмерные транзисторы, графен и др.) работают только с алгоритмами, состоящими из нулей и единиц или большего числа таких состояний в квантовом компьютере (за счет различных сочетаний нулей и единиц, их суперпозиций). И именно алгоритмы (вернее, их предельность) и являются камнем преткновения на пути создания "сильного ИИ".

В общем смысле под алгоритмом понимается конечный набор упорядоченных шагов. Следует обратить внимание на то, что хотя набор шагов и конечен, но процесс их выполнения может не иметь предела (так называемая проблема "останова") или просто непонятно – возможно ли получить данным алгоритмом результат за конечное время? В качестве примера можно привести алгоритм, пытающийся доказать, что все чётные числа являются суммой двух простых (которые делятся без остатка только на себя или единицу). Непонятно, завершит ли компьютер когда-нибудь такое доказательство?

Если решение задачи может быть выражено в виде алгоритма, она является разрешимой (вычислимой). Именно для таких задач и была разработана концепция универсальной машины Тьюринга, которая, наряду с принципами архитектуры Дж. Фон Неймана, привела к бурному развитию электронно-вычислительных машин. Вообще считается, что компьютеры – это физическое воплощение концепции алгоритма, которое было введено для формализации мышления в процессе решения математических и иных задач [7, с.28].

Но является ли мыслительный процесс вычислимым, можно ли его представить в виде алгоритма? Знаменитые теоремы Гёделя о неполноте свидетельствуют, что нет. Даже в арифметике, оперирующей только натуральными числами и являющейся, наверное, самой строгой частью математики, которая в свою очередь является самой строгой областью человеческих знаний, не всегда можно доказать теоремы исходя из системы аксиом. Сами по себе аксиомы - исходные положения, от которых "пляшет" математик. Они элементарны в том смысле, что не доказываются, принимаются на веру, интуитивно. Например, одной из аксиом евклидовой геометрии является следующая: через две точки можно провести единственную прямую. Трудно придумать какие-то более элементарные положения, которые позволят доказать эту аксиому. Можно, правда, углубиться в строгие определения "точки" и "прямой", но таким образом мы, пожалуй, в принципе ничего не сможем познать в окружающем бесконечно разнообразном мире нашим ограниченным разумом.

Так вот, в упрощенной формулировке теоремы Гёделя утверждается, что в рамках заданной системы аксиом найдутся положения, которые невозможно ни доказать, ни опровергнуть. А следствием этого является вывод о том, что не существует алгоритма, который мог бы во всех случаях проверить истинность или ложность арифметического высказывания. Если продолжить эти рассуждения применительно к нашей тематике, можно утверждать, что нельзя запрограммировать компьютер так, чтобы можно было доказать произвольную теорему. А произвольной является великая теорема Ферма или гипотеза Пуанкаре, про которые компьютер, в отличие от людей (Э. Уайлса, Г. Перельмана), ничего "сказать" не может в рамках алгоритмического пространства, т.е. заданной ему программистом или найденной им самостоятельно в Интернете системы аксиом. Не способствует и самостоятельное формирование им аксиом, например, с помощью генетических алгоритмов. Ведь аксиом можно придумать огромное (бесчисленное) множество, но, чтобы доказать теорему, набор аксиом нужно сузить до полной и непротиворечивой системы. Это сделать алгоритмически нельзя и, прежде всего, потому, что простым перебором за конечное время эту задачу не решить.

Человек же творчески, интуитивно (непознаваемо) создает эвристики, правила, упрощающие перебор, снижающие размерность задачи. Но сам процесс нахождения этих эвристик – тоже безразмерный в связи с их бесчисленным числом. В этом случае компьютеру необходимо научиться находить сверхэвристи-

ки, число которых тоже бесконечно. Для упрощения нахождения нужных сверхэвристик необходимо найти сверх-сверхэвристику и так до бесконечности.

Повторимся, всё это в полной мере относится даже к "строгой" математике, где, казалось бы, всё и вся можно доказать. Ну, а тем более это применимо к более размытой области естественных наук, зыбкой области гуманитарных наук и совсем уж к неопределенной житейской области (которая включает в себя и математику, и химию, и социологию отношений, и традиции, и ненормативную лексику, и т.п.). Пример из естественнонаучной дисциплины – для физики притяжение между двумя телами уменьшается согласно квадрату расстояния. Несмотря на признание этого положения законом и облечение в аналитическую зависимость, по сути – это всего лишь предварительное утверждение, поскольку невозможно проверить силу гравитационного притяжения для всех пар тел, существующих во Вселенной, на всех возможных расстояниях. Т.е. это утверждение истинно, пока не найдена будет ситуация, где оно не работает.

Что уж говорить о том, что компьютеры совсем не приспособлены для придумывания идеальных миров, не имеющих аналогов в прошлом и возможностей в будущем, например движение в мире без силы трения (Ньютон) или погоня за лучом света (Эйнштейн)?

Обо всем этом много говорил Р. Пенроуз [8], приводя примеры хорошо структурированных математических или физических задач, не имеющих общего аналитического решения, но о которых человек, в отличие от компьютера, может сделать вполне определенные выводы. Это, к примеру, решение дифференциальных уравнений, замощение плоскости правильными плитками-многоугольниками, гравитационное взаимодействие трех тел и др. Он связывает это с невычислимостью сознания, которая, в свою очередь, зависит у него от неопределенности квантово-механических эффектов, происходящих в микротрубочках цитоскелета нервных клеток головного мозга.

Но, пожалуй, это слишком далеко уведет от нашей темы, поэтому можно просто сделать вывод о том, создание сильного ИИ в виде программы на ЭВМ в принципе невозможно. Хотя когда-нибудь человечество на каких-нибудь супермощных вычислительных устройствах запустит программу, которая будет объединять практически всё, что возможно алгоритмизировать, например, в военной сфере: и расчет траектории полета снаряда, и распознавание комплексов вооружения противника, и принятие решения командиром, и допрос пленного, и многое другое. И судя по тому, что на многие вычислительные вопросы у такой программы будут ответы, возникнет иллюзия искусственного интеллекта. Но в действительности это будет автоматизированная система, которая попадая в новую, ранее не встречавшуюся и поэтому не алгоритмированную ситуацию, не сможет с ней справиться. И здесь человеку опять придется потрудиться и над самой ситуацией и над включением её в алгоритм.

Конечно, можно дальше продолжить совершенствование такой глобальной автоматизированной системы и научить её самостоятельно создавать новые алгоритмы под новые ситуации. Но каждый раз целевая установка алгоритмизации будет исходить от человека, он будет являться работодателем у послушного, очень производительного, многофункционального, но не способного к творчеству работника.

Проблемы создания сильного искусственного интеллекта путем усовершенствования человека

Вторым направлением создания "сильного ИИ", т.е. интеллекта, достигаемого не естественными природными причинами, который будет сильнее обычного человеческого – это повышение когнитивных способностей *homo sapiens*. И здесь нужно сказать о параметрах мозга человека, которые изменялись в период эволюционного развития и сейчас достигли физического предела. *Во-первых*, это скорость вычислительных элементов. Для биологических нейронов пик составляет около 200 Гц, что на семь порядков медленнее современных микропроцессоров. *Во-вторых*, скорость внутренних коммуникаций. Аксоны передают сигнал со скоростью менее 120 м/с, в то время как оптические линии ограничены скоростью света. *В-третьих*, количество вычислительных элементов и связанный с ним объем памяти. Для человека это, как мы говорили ранее, около 100 млрд. нейронов, для компьютеров существуют только ресурсные ограничения (по площади или пространству, доступной энергии и т.п.). При этом в кратковременной памяти человек может удерживать одновременно 5–9 блоков информации, а объем его долгосрочной памяти ограничен примерно миллиардом битов. Очевидно, что у компьютеров аналогичные показатели намного превышают людские. Можно привести ещё и параметры надежности, точности, работоспособности, восстанавливаемости и т.п.

По всем указанным параметрам "углерод" будет значительно уступать "кремнию". И улучшение этих параметров естественным путем не предвидится. Для условий окружающего мира, которые сопровождали человека до последнего времени, это был своеобразный "оптимум финишного изделия", причем оптимум с технико-экономической точки зрения. Природа всегда рациональна и действует по принципу бритвы Оккама – "не плодит сущностей без надобности". Поэтому скорость передачи электрохимических сигналов нервными клетками в высокой степени соответствует скорости изменения самого внешнего мира (быстроты изменения погоды, реакции опасных для человека животных и т.д.). Для эволюционных механизмов не было смысла ускорять мышление во много раз при изначальной инертности, статистической устойчивости окружающей среды.

Также емкость памяти и размеры мозга определяются изначальным размером черепной коробки младенцев и связанных с ней размером родовых путей, а также большими метаболическими затратами на поддержание мозга. Вес последнего составляет всего около 2% веса тела при потреблении 20% вдыхаемого кислорода. Кроме того, большие размеры мозга привели бы к задержке обмена сигналами между различными его зонами, потребовали изменения системы охлаждения и питания (кровеносной системы) и т.п.

Поэтому человек, достигнув преимущества перед другими видами живых существ, остановился в эволюционном развитии. Но так было до недавнего времени, когда его окружала относительно стабильная, прогнозируемая природа. И даже антропогенное воздействие на неё до последнего времени практически не изменяло скорости происходящих в ней процессов.

Мы уже несколько раз упомянули "до последнего времени" и это, безусловно, преднамеренно. Ведь в последнее время всё меняется настолько быстро, что мы сами стали способны эмпирически, опытно подмечать эти изменения, не сравнивая различные абзацы всевозможных исторических хроник. Мало того, что нас стал окружать чужеродный техногенный мир, напичканный шагающими экскаваторами и атомными электростанциями, автомобилями и самолетами, гаджетами и миксерами, синтезированными веществами и электронными микросхемами. Даже родной, устойчивый природный мир стал флуктуировать под натиском новой геологической силы современности – человека. Мы, к сожалению, являемся свидетелями глобального потепления, увеличения частоты и масштабов стихийных бедствий, скорости изменения погоды. В этой связи человеку для выживания и устойчивого развития также необходимо меняться, чтобы соответствовать скорости изменения окружающего мира. Но естественный процесс эволюционных изменений длителен и сопряжен с "выбраковкой неэффективных особей". Поэтому и возникла идея искусственного усовершенствования человека, который будет адекватен современным реалиям. Мы не будем говорить о всем спектре таких возможных изменений, а поговорим только об улучшении когнитивных, познавательных, мыслительных, а значит и интеллектуальных наших способностей. Путь этот долгий, трудоемкий и не очень эффективный – серьезного повышения уровня интеллекта достичь, по-видимому, не удастся, но в то же время более интеллектуальные ученые могут быстрее создать "сильный ИИ".

Об улучшении природы человека говорится уже давно. И также давно предлагается широкий диапазон способов такого улучшения – от духовно-нравственного воспитания практически во всех основных верованиях человечества до селекции *homo sapiens* в рамках различных теорий неодадарвинизма. Так, в мировых религиях в том или ином виде говорится о том, что человек создан по образу и подобию Творца. Но если образ дан ему изначально, то подобие достигается в течение всей его жизни. Подобие во всех свойствах и качествах, в том числе в разуме и мудрости. И чтобы быть разумным, человек должен познавать окружающий мир во всем своем многообразии и красоте. Для этого и дано ему любопытство, настолько сильное, что это привело к запретному познанию добра и зла и изгнанию из рая. Может быть, с библейским событием и связан (не исторически, не в плане хронологии, а скорее метафорически, аллегорично) всплеск интеллектуальных возможностей далеких прародителей людей. В более близкий к нам период уже апостол Павел в своих посланиях говорит о том, что надлежит быть разномыслиям дабы выявились искуснейшие. Искуснейшие – в способности познания, анализе фактов, в споре за истину, т.е. в значительной степени в интеллектуальной деятельности.

Поэтому уже очень давно известно, что познание, т.е. получение нового знания, обучение является основным способом улучшения интеллекта. В ходе познавательных процессов мозг меняется. Хотя новых нейронов в нём не образуется, но изменяются связи между ними. В отличие от компьютера мозг способен заново прокладывать нервные пути всякий раз, когда усваивается новая информация. Поэтому развить или более осторожно – скорректировать когнитивные возможности можно.

Другим направлением повышения интеллектуальных способностей, характерным для некоторых стран, является улучшение питания, особенно детей, устранение различных нейротоксичных соединений. Это будет влиять на здоровье, в том числе умственное, людей, на улучшение генофонда.

Более технологичные способы связаны с деактивированием различных частей мозга, что позволяет улучшить некоторые интеллектуальные способности. Примером для реализации такого способа явились "саванты" – люди, получившие, к сожалению, какие-то мозговые травмы, приобретающие при этом сверхгениальные способности в очень узких интеллектуальных областях. Метод транскраниальной магнитной стимуляции позволяет заглушить левую височную долю и орбитофронтальную кору. На сегодняшний день это позволяет привести к незначительным улучшениям отдельных функций интеллекта на очень непродолжительное время, как утверждают исследователи – из-за грубого метода, не развитых технологий и других причин.

Следующим направлением является усиление памяти лекарственными препаратами. Считалось, что забывание – это пассивная, самопроизвольная деградация воспоминаний. Но сейчас установлено, что забывание тоже активный процесс, требующий в том числе участия нейромедиатора дофамина.

Следует отметить, что у компьютера этот процесс тоже активен – в ячейках памяти старая информация стирается и заменяется новой. Это ведет к упорядочиванию системы "компьютер–источник питания", так как мир из-за наших расчетов становится более предсказуемым, менее хаотичным, что ведет к понижению энтропии информации. Но в замкнутой системе энтропия не может снижаться, поэтому понижение информационной энтропии ведет к повышению энтропии термодинамической, т.е. к увеличению тепла. Такой процесс приводит к серьезному нагреву микросхем и поэтому современный компьютер в большей степени работает, как обогревательное устройство, рассеивающее тепло. В попытке с большей пользой использовать его вычислительные мощности разработана теория обратимых вычислений, реализация которой позволит превратить хаотичное тепло в упорядоченные расчеты, но это, пожалуй, отдельная тема.

Так вот, есть лекарственные препараты, подавляющие процесс забывания. Это улучшает когнитивные способности человека за счет возможности оперирования большими объемами информации.

Лекарственное улучшение когнитивной сферы касается не только памяти, но и других свойств интеллекта, стимулировать который можно ноотропными средствами, нейрометаболическими стимуляторами. Но действие их кратковременно, не стабильно, обладает множеством побочных эффектов и не позволит обеспечить устойчивый рост мыслительных способностей. Всё-таки для улучшения функциональности мозга требуется "бережный баланс, тонкая настройка и тщательная культивация", а не подкормка чудодейственным зельем.

Известно также то, что введение стволовых клеток в гиппокамп способствует улучшению памяти, мыслительных процессов. Но эти волшебные клетки способны, к сожалению, неожиданно превращаться в злокачественные, приводящие к онкологическим заболеваниям.

Кроме того, в результате многолетних генетических исследований ученые обнаружили существование участков генов, отвечающих за гигантское ускорение эволюции человека за последние 6 млн. лет, т.е. период, когда выявилось коренное отличие людей от человекообразных приматов. Эти исследования породили различные идеи о том, что вызвав мутации генов, отвечающих за интеллект, можно увеличить количество серого вещества, увеличить площадь неокортекса и повысить интеллект человека. Но всё это не так очевидно, так как площадь поверхности и объем новой коры полушарий головного мозга у дельфинов, слонов, кашалотов и некоторых других млекопитающих больше, чем у человека, чего не скажешь об уровне мыслительных способностей (или может, мы просто не можем по-настоящему измерить этот уровень?).

Много сказано и об итеративной селекции эмбрионов, позволяющей осуществлять их "конструирование" с идеально точным сочетанием генетических данных родителей, и генной модификации соматических клеток взрослого человека, и многих других направлениях создания генетически модифицированного *homo sapiens*. Сейчас современное общество негативно относится даже к генетической инженерии сельскохозяйственных продуктов, не говоря уже о животном царстве. Но такое отношение может перемениться. Ведь эволюция человека, закончившись на биологическом уровне, продолжается на социальном, изменяя мораль общества, нормы поведения, устои и мировоззрение. Вспомним про изменение отношения к пыткам и к смертной казни или к сексуальной ориентации, и к процедуре экстракорпорального оплодотворения.

Также может измениться и отношение к генетическим изменениям эмбрионов. Так, к примеру, демографическая политика ряда стран, в которых наблюдается высокие значения показателя воспроизводства населения и не очень высокие уровни доходов, может привести к тому, что их граждане начнут стремиться к рождению меньшего количества детей. В связи удешевлением генетических технологий многие могут пожелать, чтобы это меньшее количество детей было бы более интеллектуальным. При этом если на начальном этапе и возникнет расслоение населения на тех, кто пойдет таким путем и кто отвергнет его, то в будущем оно довольно быстро может исчезнуть в связи размыванием строгих этических норм. Ведь последствием этого расслоения будут успеваемость в школе и университете, профессиональная успешность, размеры доходов и многие другие составляющие базовых потребностей людей. А повышение среднего интеллектуального уровня граждан какой-либо страны отрицательно скажется на балансе различных геополитических игроков (более умная нация будет обладать более совершенным вооружением). А это в свою очередь вместе с желанием создать, в том числе, совершенных солдат будущего, вызовет гонку вооружений в когнитивно-физической сфере человека и искусственно переведет его из класса млекопитающих (*Mammillae*) уже в совершенно новый класс "технородящих" (*Artificially borning*).[9, с.139].

Последствиями такого негативного сценария может быть радикальное изменение нашего мира. Даже с помощью традиционных технологий он стал неузнаваем, превратился во "вторую природу". А ведь они в основном касались только внешней среды. Изменение же внутренней среды самого человека наверно даже нельзя будет выразить никакой метафорой типа "ящик Пандоры" или "новый Армагеддон". Изменится сама суть человека, поэтому и говорить в рамках рассматриваемого пути о создании искусственного интеллекта, подобного человеческому, будет бессмысленно.

Проблемы создания сильного искусственного интеллекта в виде биокибернетических систем

Итак, у нас остается третий путь – создание биокибернетических систем, служащих подспорьем человеку в его мыслительных процессах, совокупность которых можно будет назвать его экзокортексом.

Уже сегодня существуют различные устройства, позволяющие облегчить страдания людей с различными невротическими, психическими и другими расстройствами. Они позволяют, например, мысленно набирать буквы на экране, синтезировать голос парализованного человека, снизить интенсивность и частоту изнурительных припадков эпилепсии, шевелить пальцами обездвиженной руки и многое другое. Для анализа мыслительной деятельности людей применяются различные сканирующие устройства, томографы, вживляемые в мозг электроды. Безусловно, достижения нанотехнологий и микроэлектроники приведут в будущем к массовому применению на коммерческой основе подобных устройств. Причем не только для больных, но и для здоровых людей, например, солдат будущего.

Фантасты, футурологи и ученые, пытающиеся заглянуть за ближайшие горизонты развития технологий, предлагают большое количество таких устройств, предназначенных в том числе и для развития когнитивных функций человека, например специальные шлемы с миниатюрным магнитнорезонансным томографом и процессором для распознавания мыслей и мгновенной передачи в машинных кодах на любые расстояния.

Конечно, сегодня мы не можем распознать сами мысли – только их отражения в мозге: движение электрических зарядов, изменение химического состава крови или клеток и т.п. Сравнивая такие отражения (паттерны) с мыслями людей, можно устанавливать определенные взаимосвязи и применять их для "расшифровки" мыслей человека, а затем передавать и принимать эту информацию без помощи звуков, жестов или письма.

При этом возникает естественный соблазн охватить подобными технологиями все когнитивные и эмоциональные способности человека. Прямой нейрокомпьютерный интерфейс позволит человеку использовать всю мощь машинных вычислений: идеально хранить и получать информацию практически неограниченных объемов, с высокой скоростью проводить точные расчеты, практически мгновенно передавать данные на значительные расстояния. Такая биокибернетическая система должна превзойти мозг современного человека по всем характеристикам, стать своего рода сильным искусственным (или полусинтетическим) интеллектом. Люди смогут общаться напрямую, передавая партнеру свои неискаженные мысли, образы, знания и опыт. Ну а следующий шаг – планетарная мозговая сеть Brain-net, в которой взаимодействие между людьми на этих принципах осуществляется уже на глобальном уровне.

Но, как всегда, у всех смелых мечтаний человека есть какие-то ограничения. Они могут нарушать законы природы (во всяком случае открытую их часть, от слова "открытие") или быть тяжело воплощаемы с различных точек зрения. Например, техническая реализация прорывных устройств может натолкнуться на отсутствие материалов, сложности в переходе с лабораторного на производственный уровень (как программируемое вещество или лазерный термоядерный синтез), и, наконец, на экономическую нецелесообразность.

Развитие биокибернетических систем тоже будет связано с большими трудностями. Например, на современном этапе существуют значительные медицинские риски, связанные с внедрением имплантов в мозг: инфекции, кровоизлияния, другие нарушения мозговой деятельности, связанные с вмешательством.

Также сегодня нет понимания, как добиться непосредственного взаимодействия между мозгом и компьютером. Ведь мозг имеет совсем иные по сравнению с компьютером методы хранения и представления данных. Кроме того, у каждого из нас существуют свои уникальные способы формирования и передачи смыслов, которые зависят от житейского опыта, социокультурных условий, генетических факторов, особенностей физиологии и т.д. Смысловое значение информации представлено не дискретными логическими массивами ячеек памяти компьютера, а ассоциативными образами, сочетающими в себе информацию различных, иногда перекрывающихся или взаимозаменяемых (синестезия) зон коры головного мозга. При этом, по-видимому, для понимания одного человека другим информацию нужно подвергать декомпозиции и переводу в некий универсальный символичный язык. Как при этом установить соответствие между группами нейронов двух людей, чтобы такие образы могли переходить от одного человека к другому, пока совершенно неясно.

Еще один вопрос – сможем ли мы на самом деле эффективно повысить уровень нашего интеллекта? Так, обеспечив доступ мозга к существенно большему объему информации, мы можем столкнуться с ограничением скорости ее обработки, которая в свою очередь зависит от скорости прохождения нервного импульса. В итоге придется "апгрейдить" механизм такой обработки с учетом всех физиологических процессов организма.

И, наконец, если в будущем мы сможем создавать подобные нейроморфные интерфейсы, это очевидно изменит сложившуюся систему межличностных отношений, моральных устоев, переформирует социокультурную среду. Но когда это будет, как это будет, не изменимся ли мы сами? И готовы ли мы к такому преобразению? И судя по обилию подобных вопросов, это ещё только начало пути.

Заключение

Можно долго продолжать рассуждать об искусственном интеллекте, тема эта неисчерпаема как мироздание. Эйнштейн однажды остроумно заметил, что в мире есть две бесконечные вещи – Вселенная и человеческая глупость, хотя в первом он не вполне уверен. Ну а человеческая глупость – это лишь какая-то сторона интеллекта или, вернее, уровня его развития. И если уж сторона бесконечна, то что и говорить о всей многосторонней фигуре, которой является интеллект и его антропоморфизм – искусственный интеллект?

В конце хотелось бы отметить, что автор отдает себе отчет в том, что вышеприведенные рассуждения не претендуют на серьезное приближение к истине. Поэтому мы приветствуем любую критику и тем более дискуссию в этом вопросе. Только спор рождает истину, которая проверяется практикой.

Список источников

1. **Николенко С., Кадурин А., Архангельская Е.** Глубокое обучение. Погружение в мир нейронных сетей. СПб: Питер, 2018. - 480 с.
2. **К. Митио.** Будущее разума. Пер. с англ. М.: Альпина нон-фикшн, 2018. - 502 с.
3. **Дж.Хоккинс.** Об интеллекте. Пер. с англ. М.: ООО «И.Д.Вильямс», 2007. - 240 с.
4. **Р.Курцвейл.** Эволюция разума, Или бесконечные возможности человеческого мозга, основанные на распознавании образов. Пер. с англ. М.: Эксмо, 2018. - 352 с.
5. **Что мы думаем о машинах, которые думают: Ведущие мировые ученые об искусственном интеллекте / Джон Брокман.** Пер. с англ. М.: Альпина нон-фикшн, 2017. - 324 с.
6. **Н.Бостром.** Искусственный интеллект. Этапы. Угрозы. Стратегии. Пер. с англ. М.: Манн, Иванов и Фербер, 2016. - 496 с.
7. **Потапов А.** Искусственный интеллект и универсальное мышление. СПб.: Политехника, 2012. - 711 с.
8. **Р. Пенроуз.** Тени разума: в поисках науки о сознании. Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2005. - 688 с.
9. **Новые технологии и продолжение эволюции человека? Трансгуманистический проект будущего.** М.: Издательство ЛКИ, 2008. - 320 с.
2. **Леоненков А.В.** Нечёткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. СПб: БХВ-Петербург, 2005.
3. **Штовба С.Д.** Проектирование нечётких систем средствами MATLAB. М.: Горячая линия - Телеком, 2007.
4. **А. Пегат.** Нечеткое моделирование и управление. М., Изд. Бином, 2011.

Материал поступил в редакцию 10.11.2022 г.

УДК 347.779

Пронин А.Ю., Леонов А.В.

© A. Pronin, A. Leonov

**ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА
В РОССИИ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ****PROBLEMS OF THE DEVELOPMENT OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE
IN RUSSIA AND THE WAYS OF THEIR SOLUTION**

Аннотация. Рассмотрены научные проблемы развития искусственного интеллекта в России. Сформулированы определения понятий «интеллект», «искусственный интеллект», «гибридный интеллект» и предложения по научной основе искусственного интеллекта.

Abstract. The scientific problems of the development of artificial intelligence in Russia are considered. Definitions of the concepts of "intelligence", "artificial intelligence", "hybrid intelligence" and proposals on the scientific basis of artificial intelligence are formulated.

Ключевые слова. Интеллект, искусственный интеллект, гибридный интеллект, технология, проблема, терминология.

Key words. Intelligence, artificial intelligence, hybrid intelligence, technology, problem, terminology.

Искусственный интеллект (ИИ) – это одна из наиболее обсуждаемых в настоящее время тем. Об искусственном интеллекте, системах искусственного интеллекта, интеллектуальных системах пишут и говорят часто. Многое из того, что вчера называли общими и специальными терминами, сегодня называют интеллектуальным. Практически любой созданный и выпущенный на рынок информационный или технический продукт объявляется интеллектуальной системой. В действительности это отчасти мода, а отчасти широкое научное и практическое признание интеллектуальности как одной из важнейших характеристик окружающего нас мира, что отмечал еще в начале XX века академик В. И. Вернадский в концепции ноосферы [1]. В соответствии с этой концепцией разум (интеллект) становится главной движущей силой, целью и вектором развития всего человечества. Вернадский рассматривал ноосферу как самодвижущуюся субстанцию, способную к самоорганизации.

Несмотря на то, что ИИ в той или иной форме начал исследоваться с 1950-х гг. он по-прежнему находится на этапе становления.

Примерно в 1970-е гг., в начале фазы компьютерной революции был совершен концептуальный прорыв в новой области информатики и вычислительной техники, названной искусственным интеллектом. В те годы бытовало утверждение, что эффективность программы при решении какой-либо научной задачи зависит от знаний, которыми она обладает, а не только от методов, которые она использует. Наиболее значительными работами в области ИИ стали разработки мощных компьютерных систем или экспертных систем, то есть систем, основанных на знаниях. Такие программы решения задач с представлением и применением фактических и эвристических знаний, совместной работой экспертов и инженеров по знаниям, разработчиков систем позволяют переходить к новым информационным технологиям и технологиям программирования.

К настоящему времени появились мощные центры обработки и хранения данных, облачные технологии и технологии краевых вычислений, возможность автоматизированной генерации необходимых алгоритмов. Благодаря этим достижениям заинтересованные фирмы и государства стали вкладывать значительные средства в разработку улучшенных алгоритмов и более эффективных аппаратных архитектур. Перспективными направлениями стали не только активизация разработок технологий ИИ, но и расширение применений данных технологий в самых разных областях, а также возникновение новых, ранее не существовавших отраслей.

Одной из популярных идей и перспективным направлением при создании технологий ИИ было и остается использование возможностей человеческого мозга как альтернативы современным вычислительным технологиям. Однако эта идея не нова и возникла уже с момента зарождения искусственного интеллекта в середине 1950-х гг. С тех пор исследования в области ИИ пережили множество взлетов и падений, но к настоящему времени пришло понимание о необходимости разработки технологий, в основе которых лежат принципы построения и функционирования человеческого мозга. Как известно, вес человеческого мозга составляет около 2% веса тела, но при этом он использует 20% метаболизма организма. Быстродействие мозга составляет 1011 ГОПС¹, а энергопотребление около 20 Вт. На сегодняшний день в мире не существует процессоров, производительность и потребляемая мощность которых могут соответствовать этим показателям. Правда, подобный уровень эффективности развивался у человека на протяжении дли-

Пронин Алексей Юрьевич – кандидат технических наук, доцент, советник, Российская академия ракетных и артиллерийских наук; **Леонов Александр Васильевич** – доктор экономических наук, профессор, советник, Российская академия ракетных и артиллерийских наук.

Alexey Pronin – candidate of technical sciences, associate professor, advisor, Russian Academy of Rocket and Artillery Sciences.

Alexander Leonov – doctor of economic sciences, professor, advisor, Russian Academy of Rocket and Artillery Sciences.

тельной эволюции. При этом критериями эволюционного отбора естественным образом стала максимизация функциональности мозга, с одной стороны, и минимизация потребляемой энергии – с другой. Биологический принцип отбора может быть успешно использован при создании новых технологий, например, в полупроводниковой промышленности. Известно, что создатели вычислительных архитектур активно борются за то, чтобы они соответствовали требованиям к потребляемой мощности, главным образом потому, что им необходимо потреблять энергию каждый раз, когда осуществляется связь памяти и процессора. Человеческий мозг оказался значительно экономнее: каждый его синапс является и памятью, и вычислительным средством, объединенным в единой архитектуре [2].

Таким образом, употребление термина «искусственный интеллект» (AI – *artificial intelligence*) в последнее время стало модным и уже совершенно привычным, чему яркое свидетельство – шквал научных публикаций по искусственному интеллекту. Эйфория достигла таких масштабов, что данный термин стал использоваться в отношении практически любой прикладной задачи (например: разработка компьютерных алгоритмов и программ, способных решать некоторые задачи человека и обладающих свойствами интеллекта, обработка информации, принятие решений и др.). В содержание искусственного интеллекта стали включать функции, которые зачастую не имеют вообще никакого к нему отношения или хотя бы косвенно могут быть к нему отнесены.

Практически во всех публикациях по ИИ редко или почти вовсе не упоминается не только, что же тот или иной автор понимает под «искусственным интеллектом», но что такое вообще «интеллект», какова связь и отношения между этими близкими понятиями. Даже в основополагающих государственных документах, определяющих национальную стратегию развития искусственного интеллекта² и регулирующих отношения в сфере технологий искусственного интеллекта³, не определено понятие «интеллект». А между тем оно является базовым (коренным, ключевым) в понятии «искусственный интеллект». И от того – насколько правильно мы определим содержание интеллекта, настолько правильно мы будем понимать, что же такое искусственный интеллект.

В этой связи в данной статье:

- рассмотрены научные проблемы развития искусственного интеллекта;
- сформулированы базовые определения понятий «интеллект», «искусственный интеллект» и «гибридный интеллект»;
- предложена единая теоретико-методологическая база естественного и искусственного интеллекта, с использованием которой понятия «интеллект» и «искусственный интеллект» связаны в единую конструкцию «гибридный интеллект», позволяющую на интегративно-синергетической основе объединить их потенциальные возможности.

Научные проблемы развития искусственного интеллекта

К настоящему времени в области искусственного интеллекта сформировались две основные и тесно взаимосвязанные между проблемы:

- отсутствие четкой и понятной терминологии в сфере ИИ, определяющей его сущность, роль, функции, задачи и отношения с естественным интеллектом;
- недостаточная разработанность научных основ, учитывающих совместное функционирование и развитие естественного и искусственного интеллекта при лидирующей роли естественного интеллекта.

Первая проблема (отсутствие четкой и понятной терминологии) связана с недостаточным пониманием научным сообществом, что же все-таки считать искусственным интеллектом; как он связан с содержанием базового понятия «интеллект»; в каких отношениях находятся искусственный и естественный интеллект? Следует заметить, что интеллект, в привычном понимании данного слова, означает способность к мыслительной деятельности. Однако, содержание этого понятия в последние десятилетия претерпело необычайную трансформацию и не учитывать этот феномен недопустимо при определении искусственного интеллекта.

Вторая проблема (неразработанность научных основ) связана с тем, что несмотря на достаточно высокий уровень развития инструментальных средств искусственного интеллекта, начиная от технологий машинного обучения, интеллектуального анализа больших данных, извлечения знаний, прогнозирования и поддержки принятия решений до когнитивных технологий, технологий гибридных интеллектуальных систем и человеко-машинного интеллекта (в состав таких технологий входят: нечеткая нейронная сеть; нечеткая экспертная система; интерфейсные модули, соединяющие нейронную сеть и экспертную систему и позволяющие взаимно преобразовывать данные сетей и систем и т.д.) единых научных основ ИИ, учитывающих совместное функционирование и развитие искусственного и естественного интеллекта, до сих пор нет.

¹ГОПС (Gigo Operations Per Second) – число миллиардов операций в секунду.

²Национальная стратегия развития искусственного интеллекта на период до 2030 года. Утверждена Указом Президента Российской Федерации от 10 октября 2019 г. № 490.

³Концепция развития регулирования отношений в сфере технологий искусственного интеллекта и робототехники до 2024 года. Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 19 августа 2020 г. № 2129-р.

В результате, мы наблюдаем следующую картину.

Содержание понятия «искусственный интеллект», как его представляют в современных многочисленных публикациях, оказался оторванным от базового понятия «интеллект». Содержание этих понятий развивается практически независимо друг от друга. Возможно, одной из причин сложившегося положения является отсутствие общей теоретической базы, определяющей функционирование естественного и искусственного интеллекта как единого целого. Развитие научных основ ИИ значительно отстает от темпов развития инструментальных средств искусственного интеллекта. Причем данный разрыв образовался не только от того, что научные основы ИИ несовершенны, но и потому, что отечественные и зарубежные ученые дали убедительные математические модели применения ИИ в интересах решения различных практических задач, в том числе в бизнесе [3-5], военном деле [6-9], в гуманитарной сфере [10] и др.

В результате возникло расширительное и неоднозначное толкование искусственного интеллекта.

Чем грозит сложившееся положение в области развития искусственного интеллекта? Приведем некоторые возможные последствия:

- утрата связи ИИ с базовым понятием «интеллект». Именно в связи с этим начинаются разговоры о доминировании ИИ и скором подавлении и подчинении ему человеческого интеллекта. Поэтому крайне важной является задача выявления общего в процессах (теоретических моделях) совместного функционирования и развития естественного и искусственного интеллекта, обеспечивающего устойчивое понимание этих процессов;
- нежелательные тенденции в развитии искусственного интеллекта. При постоянно возрастающем вкладе гуманитариев (пишущих о философских, правовых, этических и других нормах искусственного интеллекта, что является вполне ожидаемым и закономерным фактором), возможны нежелательные тенденции в развитии ИИ, приводящие либо к утрате предмета этой науки, либо к утрате научного статуса данной области. В конечном итоге, искусственный интеллект может постепенно превратиться в некоторое качественное и эмоциональное видение отдельных элементов и эффектов в развитии ИИ, в отдельную область культуры, философии и др.

Отмеченные выше особенности развития ИИ не являются чем-то новыми в науке. Например, подобная ситуация наблюдается в дискуссии о самоорганизации и ее взаимосвязи с альтернативным процессом организации, в частности, неправильное использование термина «самоорганизация» в связи с непониманием сути самоорганизации как антиэнтропийного процесса. Это уже привело к нежелательным тенденциям в развитии современной науки о самоорганизации, отмеченным в работе [11].

Противоречивость имеющихся знаний об интеллекте, не позволяет сформулировать единое конструктивное определение понятия «интеллект», пригодное для адаптированного определения искусственного интеллекта. В этой связи потребовалось обобщить и проанализировать представления о содержании понятия «интеллект» и сформулировать некоторые базовые определения. Результаты этого анализа в обобщенном виде представлены в таблице.

Все традиционные определения интеллекта, представленные в таблице в принципе верны. В то же время некоторые определения, например, «интеллект – это мыслительная способность, умственное начало у человека, определяющее его деятельность», являются составляющими более ёмкого понятия «умственное развитие», которое представляет собой «количественные и качественные изменения, происходящие со временем в когнитивных характеристиках индивида. Умственное развитие находится в теснейшей взаимосвязи с овладением знаниями, поскольку умственная деятельность, ее творческий характер обусловлен богатством содержания ума.

Попытки свести интеллект только к мышлению, умственной деятельности и другим подобным определениям оказались не вполне приемлемыми, поскольку не в полной мере отражают современную суть интеллекта, связанную с умением (способностью) планировать свои действия и принимать рациональные решения, особенно в условиях неопределенности внешних факторов. Поэтому многие известные определения интеллекта оказались недостаточны для получения ответов на вопросы, связанные с развитием искусственного интеллекта. Кроме того, приведенные выше определения относятся в первую очередь к интеллекту человека, а это значительно ограничивает использование традиционных определений данного понятия в анализе проблемы искусственного интеллекта.

Однако, с другой стороны, эти определения служат основой для развития интеллекта в направлении формирования способностей к целеполаганию, планированию ресурсов и построению стратегии достижения цели в условиях неопределенности внешних воздействующих факторов. Такая трактовка интеллекта, по мнению авторов, в большей степени соответствует тенденциям и перспективам развития искусственного интеллекта, о которых отмечалось выше.

Современное содержание интеллекта как способности к самоорганизации, важнейшим механизмом которой является программно-целевое планирование, представлено в виде схемы, показанной на рис. 1.

Основными показателями современного интеллекта являются: параметры, качества и виды интеллекта. Например, к параметрам интеллекта относятся: объем памяти; способность анализировать и прогнозировать события; метод деятельности – логика; многоуровневый системный анализ и обобщение инфор-

Традиционные и базовые определения понятия «интеллект»

Аспекты интеллекта	Содержание
Традиционные определения	
Интеллект – результат обучения и воспитания	Всевозможные виды обучения и воспитания, в том числе: способность к обучению; умению запоминать и воспринимать информацию и т.д.
Интеллект – способность к познанию	Общие способности к познанию, пониманию и разрешению проблем. Понятие интеллект объединяет все познавательные способности индивида: ощущение, восприятие, память, представление, мышление, воображение
Интеллект – способность к мыслительной деятельности	Мыслительные способности, в том числе: умение представить решение и развитие ситуации; мыслительные способности отдельно взятого человека (способность абстрактно мыслить, обучаться и учиться на основании опыта, формулировать заключения). Качество процесса мышления
Интеллект – умственная способность	Умственное начало у человека, определяющее его деятельность. Совокупность врождённых или приобретённых умственных способностей, от которых зависит успешность освоения различных видов деятельности. Общий умственный потенциал человека
Интеллект – способность рационально действовать	Способность понять суть проблемы и принять рациональное решение и рационально действовать
Базовые определения	
Интеллект – способность к планированию своих действий	«Способность к целеполаганию, планированию ресурсов и построению стратегии достижения цели» (академик Н.Н. Моисеев). Способность к программно-целевому планированию
Интеллект – способность к самоорганизации	Способность адаптироваться к окружающей среде (новым условиям), планировать, корректировать и контролировать свою деятельность по достижению цели и прогнозировать результат
Искусственный интеллект	Интеллектуальная ¹ высокоорганизованная (самоорганизующаяся) технологическая система ² , предназначенная для выполнения функций ³ и прикладных задач ⁴ человека (естественного интеллекта)
Гибридный интеллект	Совместное использование возможностей (потенциала) естественного и искусственного интеллекта в технологиях решения прикладных задач ⁵

Примечания:

1. В данном случае принято следующее разграничение понятий: «интеллектуальная система» способна самостоятельно принимать решения без участия лица, принимающего решения (ЛПР); в «интеллектуализированной системе» - при решении задач предполагается участие оператора, т.е. ЛПР.

2. Под технологической системой понимается совокупность технологических решений (программно-технологический комплекс), включающая программно-алгоритмическое и методическое обеспечение решения прикладных задач на основе современной методологии программно-целевого планирования и теории самоорганизации.

3. В том числе когнитивных, креативных и др. функций.

4. На основе использовании принципа аутсорсинга.

5. Степень интеграции (гибридизации) естественного и искусственного интеллекта определяется перечнем и объемами прикладных задач, которые ставит естественный интеллект перед искусственным интеллектом.

мации; умение сосредоточить внимание. К качествам интеллекта можно отнести: подвижность, гибкость и глубина ума; логическое и критическое мышление; широта мыслительных процессов (умение охватить вопрос целиком, способность увидеть разные варианты для разрешения ситуации). Основные виды интеллекта перечислены на рис. 1.

В современном интеллекте человека (естественном интеллекте) уже априорно заложены способности к планированию и самоорганизации для поэтапного достижения поставленных целей. Однако, как уже упоминалось выше, основными методами формирования этих способностей являются: обучение, воспитание и, конечно, практическая деятельность. При этом немаловажное значение приобретает проблема овладения естественным интеллектом (человеком) основ современной методологии программно-целевого планирования и теории самоорганизации.

Таким образом, эволюция представлений относительно искусственного интеллекта идет в направлении от «мыслить как человек» к – «делать как человек». Следовательно, в содержании искусственного интеллекта должны быть учтены свойства современного интеллекта: способность к планированию своих действий, которая наиболее наглядно показана в определении Н.Н. Моисеева [12], и способность к самоорганизации.

На основании данного утверждения можно предположить, что искусственный интеллект есть, не что иное, как интеллектуальная высокоорганизованная (самоорганизующаяся) технологическая система, предназначенная для выполнения функций и прикладных задач человека (естественного интеллекта) (см. табл. 1). При этом технологическая система (программно-технологический комплекс) должна обладать способностями: самостоятельно формулировать и ставить цели в зависимости от внешних условий и факторов (т.е. обстановки), формировать и анализировать множество возможных вариантов достижения цели и их хра-



Рис. 1. Современное содержание интеллекта

нить в памяти, выбирать рациональный вариант достижения цели и практически осуществлять реализацию этого варианта. Данная способность реализуется на основе имеющегося программно-алгоритмического и интеллектуального обеспечения и /или современных инструментальных средств искусственного интеллекта с самоорганизацией.

На основе сформулированных базовых определений общую модель деятельности интеллекта можно представить в виде, показанном на рис. 2.



Рис. 2. Общая модель деятельности интеллекта

Содержание данной модели в полной мере согласуется с базовыми определениями интеллекта (как естественного, так и искусственного интеллекта), в том числе с определением, данным Н.Н. Моисеевым.

Исходя из вышеизложенного, имеются весьма веские основания полагать, что в основу «искусственного интеллекта», если он, конечно, интеллект (согласно определениям, приведенным в таблице), должны быть положены именно принципы планирования своих действий и самоорганизации. Другое дело, что инструментальные средства искусственного интеллекта, разрабатываемые и выбираемые для практической реализации этих принципов, могут быть весьма разнообразными и использоваться они могут не для всех этапов самоорганизации и программно-целевого планирования.

В противном случае (когда в основу искусственного интеллекта могут быть заложены другие принципы), необходимо либо переформулировать содержание самого понятия «интеллект», являющегося ключевым в определениях как естественного, так и искусственного интеллекта, либо отказаться от употребления нечеткого термина «искусственный интеллект», либо его уточнить.

Единая теоретико-методологическая база естественного и искусственного интеллекта

В основу единой теоретико-методологической базы, исходя из базовых определений понятий «интеллект» и «искусственный интеллект» (см. табл. 1) и общей модели деятельности интеллекта (см. рис. 2), закономерно должны быть положены современная методология программно-целевого планирования и теория самоорганизации.

Современная методология программно-целевого планирования, базирующаяся на системном подходе и его методологических инструментах (в том числе: принцип системности, системный анализ и системный синтез и др.) достаточно широко представлена в научной литературе, например [13].

«Самоорганизация» – сложное понятие. Оно берет свое начало еще со времен Аристотеля (IV век до н.э.): «самоорганизация – это движение от возможности к действительности», в рамках которого «что-то происходит по совпадению с явлениями, возникающими ради чего-нибудь, то есть целевым образом» [14]. Другими словами, самоорганизация – это явление (процесс) «по совпадению» изначальной цели с одной из возможных форм ее реализации.

Таким образом, общая модель, представленная на рис. 2, реализуется с использованием как методологии программно-целевого планирования, так и теории самоорганизации.

Состав единой теоретико-методологической базы естественного и искусственного интеллекта показан на рис. 3, на котором учтена необходимость разграничения понятий «слабый» и «сильный» искусственный интеллект, отмеченная в научно-технической литературе и официальных нормативно-технических документах в области искусственного интеллекта. Данное разграничение носит принципиальный характер.



Рис.3. Состав единой теоретико-методологической базы естественного и искусственного интеллекта

Создание «сильного» искусственного интеллекта, способного взять на себя большинство функций естественного интеллекта (человека), то есть адаптироваться к окружающей среде (новым условиям), планировать, корректировать и контролировать свою деятельность по достижению цели, прогнозировать результат, находится на пересечении различных сфер научного знания, в том числе: естественно-научной, технологической, технической и социально-гуманитарной. Междисциплинарный характер создания «сильного» ИИ обуславливает необходимость использования междисциплинарного синергетического подхода, основным инструментом которого является теория самоорганизации.

Однако, с другой стороны, сформировавшееся к настоящему времени «двойственное» восприятие понятия «искусственный интеллект», тем не менее, допускает использование строгого программно-алгоритмического обеспечения в технологиях решения прикладных задач с элементами «сильного искусственного интеллекта». Это может в значительной мере снизить полемический накал вокруг понятия «искусственный интеллект», столь популярного в последние годы, и его взаимосвязи с естественным интеллектом.

Наиболее реальным в настоящее время и в обозримое будущее является использование гибридного интеллекта, рационально сочетающего в себе не только возможности «слабого» и «сильного» искусственного интеллекта, но и возможности искусственного и естественного интеллекта.

В последние годы в современной науке стало использоваться более широкое определение интеллекта – обобщенный или гибридный интеллект. В основу гибридного интеллекта положен принцип совместного использования естественного и искусственного интеллекта.

Составляющие гибридного интеллекта и основная задача его обоснования показаны на рис. 4.

На современном этапе развития научного знания идет активная интеллектуализация технических систем с использованием новых материалов, технологий, вычислительных программ, которые являются технологической основой создаваемых инструментальных средств, базирующихся на совместном использовании естественного и искусственного интеллекта.

Вполне понятно, что в контексте гибридного интеллекта проблема взаимосвязи естественного и искусственного интеллекта имеет философско-мировоззренческий характер. Многие аспекты этой взаимосвязи активно обсуждаются в современной литературе. Однако, не углубляясь в философско-мировоззренческие аспекты данной проблемы, отметим, что необходимость использования гибридного интеллекта обусловлена тем, что не вся совокупность прикладных задач на современном этапе развития научного знания может

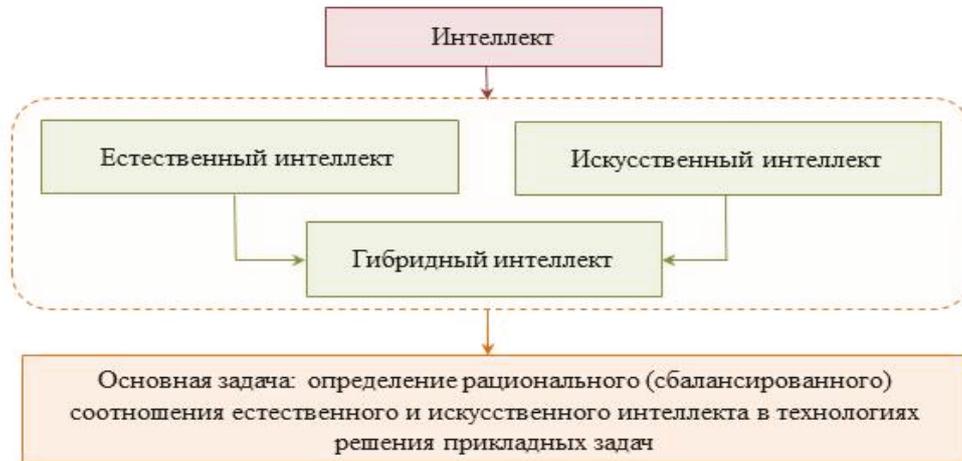


Рис.4. Гибридный интеллект

быть алгоритмизирована, и по-прежнему остается прерогативой естественного интеллекта. Не все задачи и процессы представляется возможным алгоритмизировать с тем, чтобы потом их автоматизировать с использованием инструментальных средств искусственного интеллекта. В этой связи возникает необходимость использования гибридного интеллекта.

В данном случае важным является, то, что интеллектуальные системы на основе совместного использования естественного и искусственного интеллекта с полным правом можно отнести к категории сложных систем и использовать для их исследования общую теорию систем, которая опирается на системный подход и его основополагающий принцип системности, и теорию самоорганизации. Совокупности инструментальных средств искусственного интеллекта с классическими разделами математики (исследование операций, системный анализ, теория принятия решений, кибернетика) сегодня являются базой и элементами алгоритмизации множества автоматических и автоматизированных процессов, выполняемых или создаваемых без участия человека.

С позиций общей теории систем интеллект, в широком смысле этого понятия, можно рассматривать как одну из существенных характеристик интеллектуальной системы, отражающей ее способность к самоорганизации для поддержания устойчивости функционирования в условиях воздействия внешних факторов. Следовательно, гибридный интеллект обладает интегративно-синергетическими свойствами, к исследованию которых можно применить современные методы технико-экономического анализа.

Одной из главных задач обоснования совместного использования естественного и искусственного интеллекта является определение их рационального (сбалансированного) соотношения, то есть степени их интеграции (гибридизации). В этом случае можно сформулировать три постановки решения прикладных задач:

- только на основе естественного интеллекта (собственно как сейчас и осуществляется этот процесс);
- с частичным использованием возможностей искусственного интеллекта (это вполне осуществимо в настоящее время);
- с полным использованием инструментальных возможностей искусственного интеллекта (это может быть осуществлено в будущем).

Технико-экономическая оценка целесообразности и эффективности применения технологий искусственного интеллекта может быть сформулирована в трех вариантах:

1. Минимизация затрат на решение прикладных задач за счет использования технологий ИИ при заданной эффективности и времени решения этих задач.
2. Максимизация эффективности решения прикладных задач за счет использования технологий ИИ при заданных затратах и времени решения этих задач.
3. Минимизация времени решения прикладных задач за счет использования технологий ИИ при заданных затратах и эффективности решения этих задач.

Общий методический порядок решения задачи оценки целесообразности и эффективности применения технологий искусственного интеллекта можно представить в виде следующей последовательности действий:

1. Оценки стоимости C_i^{EI} и эффективности W_i^{EI} решения i -й прикладной задачи ($\forall i = 1, I$) с использованием только традиционных технологий, основанных на когнитивных возможностях человека (естественный интеллект).

2. Оценки стоимости C_i^{III} и эффективности W_i^{III} решения i -й прикладной задачи ($\forall_i = \overline{1, I}$) совместно C_i естественным и искусственным интеллектом (то есть гибридным интеллектом).

3. Сравнительной оценки полученных результатов: а) W_i^{EI} и W_i^{III} при фиксированной стоимости C_i решения i -й прикладной задачи; б) C_i^{EI} и C_i^{III} при фиксированной эффективности W_i решения i -й прикладной задачи.

Естественно, что объем прикладных задач, возлагаемых на искусственный интеллект, будет определяться тем перечнем и объемом задач, которые «делегирует» ему естественный интеллект на основе аутсорсинга.

Возможно, использование общей теории систем для исследования гибридного интеллекта скоро окажется недостаточным. В этом случае потребуется новая парадигма искусственного интеллекта, опирающаяся на новые научные основы, в которых методология программно-целевого планирования и теория самоорганизация могут оказаться лишь некоторой составной частью. Линейная и нелинейная модели становления новой парадигмы рассмотрены в работе [15].

Сформированные представления о гибридном интеллекте могут быть положены в основу технико-экономической оценки технологий искусственного интеллекта, а также теории и методологии гибридного интеллекта.

Заключение

1. На основе анализа современных представлений об искусственном интеллекте выявлены две основные и тесно взаимосвязанные между проблемы: отсутствие четкой и понятной терминологии в этой сфере; недостаточная разработанность научных основ искусственного интеллекта.

2. Сформулированы базовые определения понятий «интеллект», «искусственный интеллект», «гибридный интеллект» и предложения по созданию единой теоретико-методологической базы естественного и искусственного интеллекта, основанной на использовании современной методологии программно-целевого планирования и теории самоорганизации.

3. Комплексный и междисциплинарный характер проблем, связанных с созданием систем и технологий искусственного интеллекта, вызывает необходимость дальнейшего совершенствования научных основ искусственного интеллекта в неразрывной связи с естественным интеллектом и при его лидирующей роли.

Список источников

1. Вернадский В.И. Биосфера и ноосфера. – М.: Айрис-пресс, 2004. – 576 с.
2. Экспресс-информация по зарубежной электронной технике // АО ЦНИИ «Электроника». – вып. № 5(6654) от 15 марта 2020 г.
3. Савельев И.И., Уланов Е.А. Новые технологии в бизнесе: искусственный интеллект // Экономика и управление: проблемы, решения. – 2020. – Т.2. – №1. – С. 119-125.
4. Иванов А.А., Рожкова Л.А. Искусственный интеллект как основа инновационных преобразований в технике, экономике, бизнесе // Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета. – 2018. – № 3 (111). – С.112-115.
5. Воскобойникова Э.С. Ориентиры использования интеллектуальных систем в бизнес-процессах // Экономические исследования и разработки. – 2019. – № 3. – С.83-90.
6. Гарбук С.В., Губинский А.М. Искусственный интеллект в ведущих странах мира: стратегии развития и военное применение. – М.: Издательство «Знание», 2020. – 860 с.
7. Буренок В.М. Искусственный интеллект в военном противостоянии будущего // Военная мысль. – 2021. – № 4. – С. 106 – 112.
8. Буренок В.М. Новая парадигма силового противостояния на основе применения искусственного интеллекта // Вооружение и экономика. – 2020. – № 2(52). – С. 4 – 8.
9. Галкин Д.В., Коляндра П.А., Степанов А.В. Состояние и перспективы использования искусственного интеллекта в военном деле // Военная мысль. – 2021. – №1 – С.113-124.
10. Горбунова Е.А. Технологии искусственного интеллекта в образовании // Перспективы науки. – 2021. – №7 (142). – С.55-58.
11. Руденко А.П. Самоорганизация и синергетика / <http://spkurdyumov.narod.ru/rudenko1.htm>.
12. Моисеев Н.Н. Алгоритмы развития. – М.: Наука, 1987.
13. Райзберг Б.А. Программно-целевое планирование и управление: учебник. – М.: ИНФРА-М, 2002.
14. Чанышев А.Н. Аристотель. – М.: Мысль, 1981.
15. Леонов А.В., Пронин А.Ю. Управление созданием высокотехнологичной продукции в государственных программах и проектах. – М.: ИНФРА-М, 2020. – 360 с.

УДК 519.17; 51-77

© Прохватилов В.В.

© V. Prokhvatilov

СТАНЕТ ЛИ ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ РЕВОЛЮЦИЕЙ В ВОЕННОМ ДЕЛЕ?

(К вопросу о перспективных стратегиях военных конфликтов
между ведущими военными державами)

CAN ARTIFICIAL INTELLIGENCE BE A REVOLUTION IN MILITARY AFFAIRS?

(On the issue of promising strategies for military conflicts
between the leading military powers)

Аннотация. Автор анализирует уровень зарубежных разработок в области применения искусственного интеллекта в военной сфере и прогнозирует дальнейшее развитие ИИ.

Abstract. The author analyzes the level of foreign developments in the field of artificial intelligence in the military sphere and predicts the further development of AI.

Ключевые слова. Искусственный интеллект, машинное обучение, революция в военном деле, автономные системы вооружений, нечеловеческий интеллект, кризис аналитичности.

Key words. Artificial intelligence, machine learning, revolution in military affairs, autonomous weapons systems, non-human intelligence, crisis of analyticity.

Введение

Политическое и социальное устройство мирового сообщества, мировоззрение, уровень жизни и бытовые условия жизни людей в XXI веке определяются уже не политикой, религией, идеологией или классовой борьбой, а развитием передовых технологий, в первую очередь информационных.

Среди информационных технологий сегодня лидирует искусственный интеллект (ИИ). Как ни важно влияние технологии больших данных, облачных вычислений, мобильных технологий и пр., но ИИ решающим образом влияет на развитие человеческой цивилизации.

Российский аналитик Сергей Карелов относит ИИ к числу технологий, ведущих к новой техноэпохе, меняющей «не столько мировоззренческие взгляды миллионов людей, сколько организацию их жизни в широком диапазоне аспектов: от политической и социальной до бытовой и духовной жизни. Поворотными моментами, знаменующими начало смены техноэпох (когда незначительные изменения приводят к глобальным переменам) являются некие события, подчас мало заметные для современников, но после которых меняются вектор и продуктивность развития определенной группы технологий» [1].

В большинстве случаев поворотным моментом является не само изобретение той или иной технологии, а «прохождение некой условной «стрелки», подобной железнодорожной стрелке, после прохождения которой дальнейший путь поезда однозначно ведет в пункт А, а не в пункт Б, В или Г (из этого следует и второй смысл поворотного момента – точка невозврата)».

Карелов приводит два примера поворотных моментов в смене техноэпох в XX и XXI веках.

«Поворотным моментом перехода к новой техноэпохе, кардинально изменившей представления людей о физических размерах мира, стало создание в 1914 году первой авиакомпании St. Petersburg Tampa Airboat Line, самолёты которой летали по расписанию.

После этого поворотного момента было много еще чего важного:

- от достижения 1-го миллиона пассажиров, перевезенных в 1934 году авиакомпанией DeutscheLufthansa,
- до беспрецедентно быстрого распространения самолетами по миру пандемии COVID-19 в 2020 г.

Но и то, и другое оказалось возможным лишь как следствие поворотного момента, произошедшего в 1914 г.».

Поворотным моментом к новой техноэпохе, кардинально изменившей представления людей об информационном устройстве мира (при коммуникации, потреблении информации, получении информационных услуг, обучении и развлечениях), стало, по мнению российского аналитика, начало продаж Apple iPhone в 2007 г.

К тому времени всевозможные мобильные телефоны продавались уже 15 лет, а доля iPhone среди проданных смартфонов, составляла всего около 1%.

«Но лишь после поворотного момента выхода на рынок iPhone в 2007 г., техноэпоха мобильных устройств связи (пейджеры, сотовые телефоны, коммуникаторы и смартфоны) начала трансформацию в техноэпоху

«информационных протезов» человека. Именно в них в итоге превратились всевозможные мобильные гаджеты связи, ставшие для людей искусственными заменителями памяти, многих когнитивных навыков и даже самой возможности обучаться».

Приведет ли развитие ИИ к столь же кардинальной смене техноэпохи в военном искусстве, иными словами – к революции в военном деле, подобной блицкригу или атомной бомбе, или станет лишь полезным усовершенствованием, повышающим эффективность оперативно-тактических операций?

ИИ революция в военном деле: быть или не быть?

Ведущий аналитик Центра безопасности и новых технологий Джорджтаунского университета (США) Оуэн Дж. Дэниэлс считает, что фреймворк (то есть термин или концепт) «революция в военном деле» (RMA) как ментальная модель, оценивающая влияние технологий на ведение войны, – может быть чрезвычайно полезной для осмысления влияния искусственного интеллекта (ИИ) на национальную безопасность [2].

«RMA — это новая комбинация операционных инноваций и организационных изменений, часто обусловленная технологиями. Это сочетание настолько преобразующее, что делает устаревшими прежние средства военных действий» – определение Дэниэлса совпадает по сути с формулировкой Карелова.

Фреймворк RMA является, по мнению американского аналитика, мощным аналитическим инструментом для осмысления взаимосвязей «между военными технологиями, операциями и организацией». Одних только технологий недостаточно для проведения революционных военных изменений. Имеет ключевое значение творческое осмысление применения военной техники, а не только самой технологии. «Технологии делают возможной революцию, но сама революция происходит только тогда, когда развиваются новые концепции операций и во многих случаях создаются новые военные организации. Без соответствующих инновационных изменений в военных операциях, процессах и структурах, возникающих в результате экспериментов, военное влияние ИИ может оставаться ограниченным, даже если его приложения станут более изощренными».

Рассмотрение ИИ через призму четырех основных компонентов RMA — технологических изменений, эволюции военных систем, оперативных инноваций и организационной адаптации — может помочь аналитикам оценить, происходит ли революционное технологическое и интеллектуальное развитие. Этот анализ показывает, что ИИ вряд ли коренным образом изменит военное дело в ближайшем будущем, считает американский аналитик.

ИИ, в широком смысле определяемый как совокупность технологий, которые позволяют компьютерным системам выполнять задачи, требующие человеческого интеллекта, в основном опирается на системы машинного обучения, использующие «глубокие нейронные сети» (deep neural networks). За последнее десятилетие прогресс в методах ИИ, управляемых нейронными сетями, был быстрым и впечатляющим в таких областях, как обработка и генерация языка, компьютерное зрение и поддержка принятия решений. «Оборонные учреждения приняли это к сведению, но недостатки этих приложений ИИ дают обоснованную причину для паузы: они могут быть хрупкими вне тренировочной среды и уязвимыми для манипуляций со стороны противника или они просто плохо работают в динамических условиях. Вычислительная мощность, наборы данных и учебные ресурсы могут быть дорогими и труднодоступными, а интеграция команд человек-машина для определенных приложений ИИ является сложной и даже потенциально опасной».

Применение ИИ продвинулось вперед в области автономных систем вооружений и робототехники, поддержки принятия решений, профилактического обслуживания и логистики, кибербезопасности, моделирования и симуляции, но имеют многие из упомянутых выше недостатков; «прогресс скорее широк, чем глубок».

Таким образом, ИИ мало что сделал для стимулирования операционных инноваций или организационной адаптации в США и Китае. Оперативные инновации проистекают из критического осмысления того, как вооруженные силы могут извлечь выгоду из новых технологий и систем для достижения своих целей; организационная адаптация означает изменения в структуре боевых сил для использования новых систем и моделей операций.

«Сегодня в Соединенных Штатах текущие и перспективные концепции совместных и служебных операций продолжают подчеркивать важность традиционных элементов, таких как дальний огонь, маневр, информационное превосходство и совместное проецирование сил, которые дополняются, но не трансформируются искусственным интеллектом».

Концепция будущей «интеллектуализации», обсуждаемая некоторыми китайскими стратегами, предполагает, что ИИ поможет доминировать в «когнитивной» области, включая психологию противника, восприятие информации и даже функции мозга, и представляет собой долгосрочную разработку подрывных операций.

ИИ может спровоцировать эволюционные краткосрочные изменения в следующем десятилетии или около того, расширив возможности разведки и удара, не изменив при этом доминирующих моделей операций. В Соединенных Штатах обсуждение JADC2 указывает на эту возможность – подключение «сенсоров к стрелкам» (sensors to shooters) было общей целью со времен войны в Персидском заливе.

Joint All-Domain Command and Control (JADC2) - Совместное вседоменное командование и управление – концепция, разработанная Министерством обороны для подключения датчиков всех родов вооруженных сил в единую сеть, работающую на основе искусственного интеллекта. Эти ветви включают ВВС, армию, корпус морской пехоты и флот, а также космические силы [3].

ИИ также может продолжать развивать свои автономные возможности, выполняя небоевые функции, такие как профилактическое обслуживание или расширение кибер-возможностей.

ИИ уже стал революцией в военном деле?

Иную точку зрения высказал известный тайваньско-американский ученый в области компьютерных технологий Ли Кайфу. Он назвал ИИ третьей революцией в военном деле. Ли Кайфу считает, что беспилотники и «умные» системы вооружения уже произвели эффект, сравнимый с изобретением пороха и ядерного оружия [8].

«Автономные системы вооружения – это третья революция в военном деле. Эволюция от пехотных мин до управляемых ракет стала лишь прелюдией к настоящей автономии оружия при помощи ИИ, – полагает Ли Кайфу, ранее работавший на руководящих исследовательских должностях в Google, Microsoft и Apple. – Теперь такое оружие может убивать самостоятельно – от поиска цели до принятия решения и лишения человеческой жизни – и все это может происходить без вмешательства человека». В качестве примера он назвал израильскую беспилотную систему Harpy, которую можно запрограммировать на воздушное патрулирование определенного района, охоту на определенные цели и их уничтожение при помощи ракет «Запусти и забудь» (Fire and Forget).

Еще одним ярким примером использования «умных машин для убийства» Ли Кайфу называет попытку покушения на венесуэльского президента Николаса Мадуро в 2018 году, когда тот был атакован целой группой начиненных взрывчаткой беспилотников. Охрана смогла их уничтожить, однако несколько человек были ранены.

Теория без практики мертва

В последние годы ИИ постепенно, но неуклонно используется в военных целях. В декабре 2020 года командование ВВС США сообщило о первом использовании системы ИИ как полноценного «второго пилота» в ходе полета разведывательного самолета U-2. Система ИИ, использованная в полете U-2, получила название ARTUμ – как отсыл к легендарному дроиду R2-D2 из «Звездных войн», помогавшему в управлении космическим кораблем. В ходе тренировочного полета, совершенного с авиабазы Бил (штат Калифорния), ARTUμ контролировал сенсоры и тактическую навигацию самолета-ветерана ВВС США по прозвищу Dragon Lady. Алгоритм успешно выполнил функции, обычно исполняемые вторым пилотом [4].

Еще в начале 2010-х годов компания iRobot, известная своими роботами-пылесосами, представила несколько военных роботов, которые могут использоваться для обезвреживания мин и других взрывных устройств на расстоянии. Управление таким роботом осуществлял человек, однако технологии iRobot, уже опробованные на пылесосах, позволяли военному роботу уверенно ориентироваться пространстве и избегать преград [5].

Два года назад стартап Guardbot представил одноименного мини-робота-вездехода сферической формы. Он может осуществлять слежку за движущимся объектом по суше и даже по воде, патрулировать территорию или периметр, обнаруживать несанкционированное проникновение, взрывное устройство или другой опасный объект.

В ноябре 2021 года Федерация американских ученых (FAS) представила Конгрессу специальный доклад, посвященный ИИ и национальной безопасности. В нем говорится, что Министерство обороны США в настоящее время ведет уже около 600 проектов с применением ИИ, а инвестиции Пентагона в такие проекты выросли с \$600 млн в 2016 году до \$2,5 млрд в 2021 финансовом году.

Заключение.

Нечеловеческий интеллект может стать кибер-Наполеоном

Со всей очевидностью, нынешнее состояние разработок по ИИ не позволяет говорить о революции в военном деле, так как все операции, которые выполняют полностью или отчасти автономные системы вооружений и разведки, лишь облегчают выполнение боевой задачи.

Операция по организации покушения на убийство Мадуро с помощью роя беспилотников (безусловно, управляемых отдаленным оператором) отличается от убийства Троцкого с помощью ледоруба лишь применением более технологичного инструментария.

Точно так же любые современные системы ИИ лишь облегчают планирование и выполнение боевых операций и не привели к появлению новых операционных и организационных инноваций.

Однако, в ближайшие годы ситуация может измениться. Если по «всеохватываемости» ИИ достиг максимума, то по «глубине» мышления пока с человеком соревноваться не может. Но это отставание может быть вскоре преодолено.

Магистральный путь развития систем ИИ, по мнению, Сергея Карелова, лежит на пути создания «нечеловеческого интеллекта». То есть в повышении эффективности ИИ, не заморачиваясь стремлением к человекоподобию подобных систем.

На этом пути достигнуты серьезные прорывы:

Компания Google, развивая технологии AlphaGo – AlphaZero – MuZero, основанные на машинном обучении в простейшей модели окружающей среды, добилась впечатляющих результатов:

Генерация системой GPT-3 текстов такого качества, что они кажутся вполне осмысленными даже экспертам; решение системой AlphaFold задачи высокоточного предсказания пространственной структуры белков; появление у ИИ системы MuZero способности планировать выигрышные стратегии в неизвестной среде без необходимости объяснять правила [1].

Эти выдающиеся достижения переводят количество в качество. Высокая эффективность подобных систем, ограничиваемая лишь мощностью вычислительных ресурсов, «позволяет достигать абсолютного превосходства над людьми в широком круге задач».

Отсутствие у нечеловеческого интеллекта самосознания, собственной системы ценностей и индивидуального целеполагания ни в коей мере не ограничивает их эффективность.

В настоящее время крупнейшие акторы индустрии ИИ приняли как факт, что «существующий подход на основе прагматики ИИ достаточен для реализации нечеловеческого интеллекта, способного решать широкий спектр задач».

В ходе сражения при Аустерлице Наполеон спросил маршала Сульта: «Сколько времени понадобится, чтобы вывести Ваши дивизии на вершину Праценских высот?» Тот ответил: «Не более 20 минут, сир. Мои войска укрыты в нижней части долины, они скрыты туманом и дымом лагерных костров. «Ну что ж, в таком случае подождем еще четверть часа» – мгновенно принял решение Наполеон.

Гениальный полководец молниеносно определил время и место сокрушительного удара по противнику. У русско-австрийских войск полководца такого уровня не было. Так великий князь Константин, который двинул вперед русскую гвардию, слишком рано дал команду солдатам перейти на бег и они просто выдохлись, пока достигли неприятеля. Так была упущена возможность спасти генеральное сражение.

ИИ с возможностями, намного превышающими интеллект даже самых талантливых ответственных командиров, может стать кибер-Наполеоном и кибер-Сультым в одном кибер-лице, что даст армии, на стороне которой он сражается, неоспоримое преимущество в принятии победных решений. Это и будет настоящей революцией в военном деле, которую совершит ИИ. Такое уже произошло на фондовом рынке, где квантовый трейдинг с помощью мощных компьютерных программ полностью за считанные микросекунды принимает наилучшее решение, на которое даже самому опытному брокеру требуется десятки минут.

Однако, если противник тоже обладает подобными кибер-воеводами, то при прочих равных возможностях, можно ожидать ситуации кризиса аналитичности, ведущего в позиционной войне. Выход из кризиса аналитичности может состоят в принятии «глупых» с точки зрения ИИ решений. Впрочем, такой подход может использовать и противник, что приведет в увековечиванию позиционного тупика.

Впрочем, прогнозировать загоризонтные перспективы применения ИИ столь же непродуктивно, как вычислять число ангелов, помещающихся на острие меча, уподобляясь средневековым алхимикам.

Любая революция в военном деле подобна молнии. О ней узнаешь, когда она поражает.

Список источников

1. Великий техно-перелом 2020. От техно-оптимизма к прагматизации ИИ. <https://sergey-57776.medium.com/великий-техно-перелом-2020-f688da409bd>.
2. «The AI “Revolution in Military Affairs”: What Would it Really Look Like?» <https://www.lawfareblog.com/ai-revolution-military-affairs-what-would-it-really-look>.
3. https://en.wikipedia.org/wiki/Joint_All-Domain_Command_and_Control.
4. <https://www.airandspaceforces.com/u-2-flies-with-artificial-intelligence-as-its-co-pilot>.
5. <https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=0-zJkvtxEtE>.
6. <https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=ar-YCHQK4ew>.
7. <https://sgp.fas.org/crs/natsec/R45178.pdf>.
8. https://www.theatlantic.com/technology/archive/2021/09/i-weapons-are-third-revolution-warfare/620013/?mc_cid=0c6afe1b5e.

© Дурнев Р. А., Гусева А. С.

© R. Durnev, A. Guseva

**ТЕХНОЛОГИИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА
ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТАКТИЧЕСКИХ СИТУАЦИЙ****ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES
TO SIMULATE TACTICAL SITUATIONS**

Аннотация. Приведен пример использования алгоритмов нечёткого вывода для оценки рациональности различных вариантов маршрута передвижения при выполнении боевых задач. Данные алгоритмы могут быть положены в основу экспертных систем выбора рациональных тактических действий в условиях различной обстановки на поле боя.

Abstract. An example of using fuzzy inference algorithms to assess the rationality of various options for the route of movement when performing combat missions is given. These algorithms can be used as the basis for expert systems for choosing rational tactical actions under various conditions on the battlefield.

Ключевые слова. Технология искусственного интеллекта, экспертная система, теория нечетких множеств, тактическая ситуация, тактическое действие.

Key words. Artificial intelligence technology, expert system, fuzzy set theory, tactical situation, tactical action.

Важнейшей частью разработки вооружения, военной и специальной техники (ВВСТ) является моделирование применения ВВСТ на тактическом уровне. На данном уровне, как представляется, заключено многообразие всех возможных факторов боевой обстановки, условий применения оружия, индивидуальных действий военнослужащих. При этом в научном плане особый интерес представляет вопрос о том, что должно быть положено в основу алгоритмизации процессов современного боя, протекающего в сложных условиях. Особенности этих условий является, прежде всего, наличие огромного количества факторов различной природы, подлежащих учету – от конкретного физиологического состояния бойца до погрешности в передаче разведывательной информации, от наличия боекомплекта у каждого военнослужащего в тактическом подразделении – до метеорологических параметров атмосферы в районе расположения противника и т.п.[1,2]. Помимо размерности такой задачи, особую проблему составляют и другие нюансы, например, точность получаемой отдельными военнослужащими, в том числе командирами, информации о всех рассматриваемых факторах. Ну и, наконец, значительную проблему в автоматизации (в частности, для выработки рациональных тактических действий) представляет неопределенность информации, зачастую связанная с её качественным характером.

Представляется, что наиболее пригодным для решения рассматриваемой задачи являются различные экспертные системы знаний, основанные на теории нечетких множеств (ТНМ) [3]. Именно они позволят учесть высокую размерность и все неопределенности, о которых говорилось выше. Сама эта теория является обобщением классической теории множеств (положенной в основу всей современной математики) на случай различного рода физических, лингвистических и других неопределенностей.

С учетом положений ТНМ в рамках экспертной системы для выработки рациональных тактических действий необходимо разработать систему нечеткого вывода (СНВ). Информацию, которая подается на вход СНВ, составляют значения некоторых входных переменных. Это может быть поступающая бойцу информация из всех возможных источников – от старшего начальника в виде полной постановки боевой задачи или отдельных конкретных указаний в ходе боя, личного состава своего подразделения (соседей справа–слева), приборов ночного видения, прицельных приспособлений, органов чувств самого военнослужащего, приборов разведки, оптико-электронных систем БПЛА и робототехнических средств и др. Выходной информацией для СНВ будут являться рациональные варианты тактических действий: по выбору цели, перемещению на поле боя, занятию рубежей обороны, выбору стрелкового и другого оружия и многое другое.

Для построения алгоритмов нечеткого вывода, которые могут быть положены в основу экспертных систем для выработки рациональных тактических действий, в статье рассматривается условная тактическая ситуация следующего характера:

- из укрепленной огневой позиции (УОП) в направлении двух бойцов осуществляется огневое воздействие с использованием крупнокалиберного автоматического оружия (пулемета);

Дурнев Роман Александрович – доктор технических наук, доцент, первый вице-президент, ФГБУ «РАРАН»;

Гусева Алена Сергеевна – заместитель руководителя секретариата президиума, ФГБУ «РАРАН».

Roman Durnev – doctor of technical sciences, associate professor, first vice - president, FSBI «RARAN»;

Alena Guseva – deputy head of the secretariat of presidium, FSBI «RARAN».

- этим бойцам поставлена задача подавить УОП путем приближения к ней и поражения с использованием гранат;
- справа от позиции бойцов располагается многоэтажное здание, на верхних уровнях которого вероятно нахождение снайпера (некоторое время назад были слышны одиночные выстрелы);
- с фронтальной стороны здания есть полоса достаточно редкой растительности, с тыльной – густая (по всей видимости) лесополоса;
- в лесополосе находятся несколько бойцов, принадлежность которых не выяснена;
- над лесополосой осуществляет полет разведывательный квадрокоптер, информация с оптико-электронного устройства (ОЭУ) которого передается двум бойцам. Разрешение видеоизображения невысокого качества и не позволяет достоверно определить цвет полосы на руке и ноге бойцов в лесополосе;
- необходимо выбрать 1-й или 2-й маршруты выдвижения к УОП.

Рассмотренное крайне неопределенное описание тактической ситуации можно формализовать с помощью системы нечеткого вывода, который выполнялся с использованием приложения FuzzyLogicDesigner [2,3] в программном продукте MATLABR 2022 а.

Вид окон формирования системы нечеткого вывода и выходной нечеткой переменной («выбор действий») показан на рис.1, входных нечетких переменных («пауза в ведении огня из УОП», «отсутствие

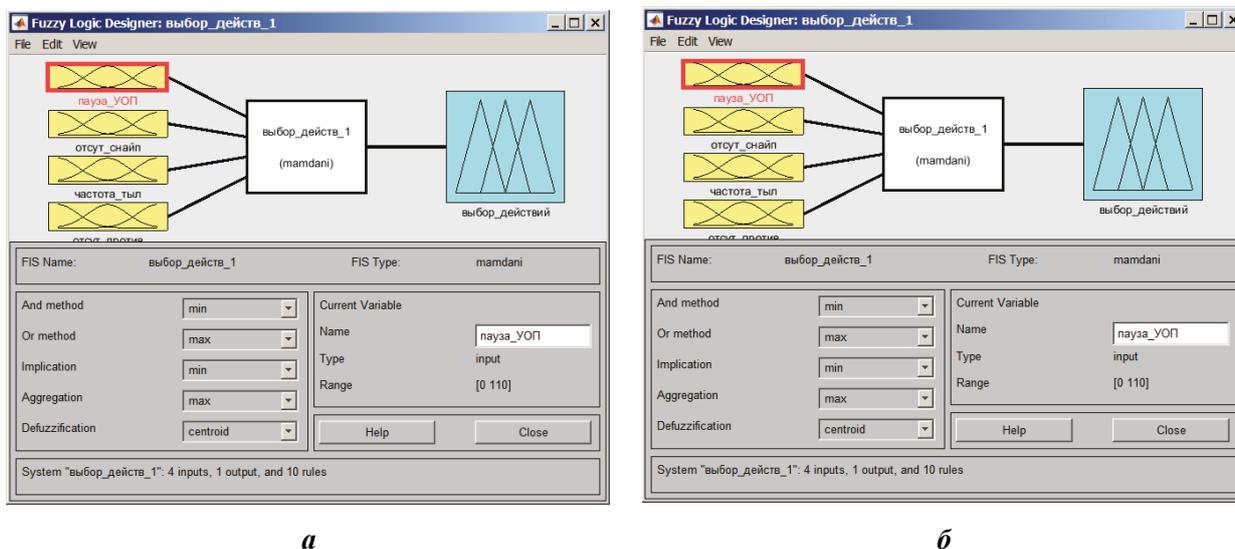


Рис. 1. Вид окон формирования системы: *a* – нечеткого вывода; *б* – выходной нечеткой переменной

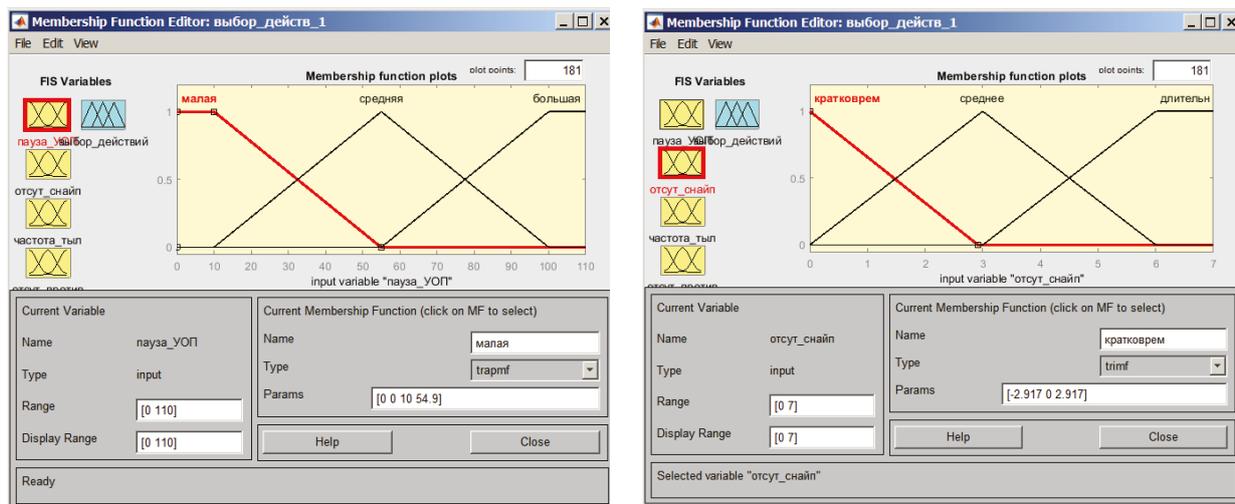


Рис. 2.1. Вид окон формирования входных нечетких переменных

огня» (со стороны снайпера), «частота выстрелов по тылу», «отсутствие противника» (в лесополосе), далее соответственно «пауза УОП», «отсутствие снайпера», «частота тыл» и «отсутствие противника») на рис.2.1, 2.2.

В качестве термов выходной нечеткой переменной выбраны «маршрут один», «маршрут два» и «укрытие» с областями определения соответственно $[0;0,5]$, $[0,5;1]$ и $[0,4;0,6]$.

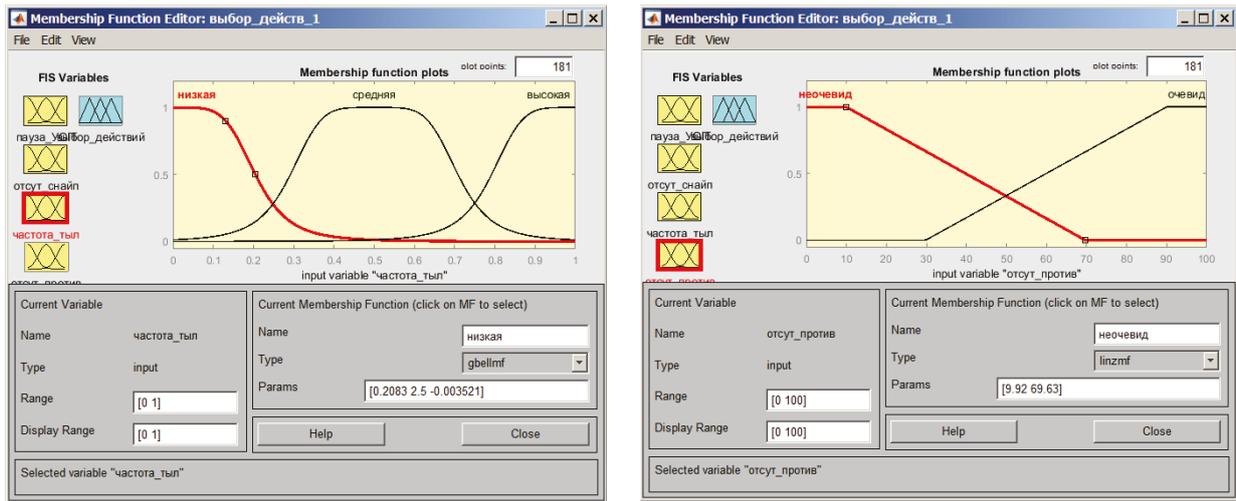


Рис. 2.2. Вид окон формирования входных нечетких переменных

Правила нечеткого вывода формировались двумя способами – так, как приведено в статье [1], и объединением отдельных правил, относящихся к одному из термов выходной нечеткой переменной («маршрут один», «маршрут два» и «укрытие»), с помощью конъюнкции (логического «И») или отрицания (логического «не»), типа:

- если «пауза УОП» = «средняя» и «отсутствие снайпера» = «длительное», то «выбор действий» = «маршрут один» или
- если «пауза УОП» = не «средняя» и «отсутствие снайпера» = не «длительное» и «частота тыл» = не «низкая» и «отсутствии противника» = «неочевидное» то «выбор действий» = «укрытие».

Окна формирования системы правил показаны на рис.3:

На рис. 4.1, 4.2 показаны окна результатов нечеткого вывода применительно к отдельным и объединенным правилам при одинаковых входных нечетких переменных.

Значения выходной нечеткой переменной «выбор действий» при конкретных значениях входных нечетких переменных отражены в таблице.

В используемом программном продукте существует возможность визуализации кривой или поверхности результатов нечеткого вывода. Для кривой выводится зависимость выходной переменной от одной из входных переменных (рис. 5). При этом значения оставшихся трех переменных фиксируются на определенном уровне.

Для поверхности выводится зависимость выходной переменной (по вертикальной оси) от двух входных переменных (по горизонтальным осям) при фиксации оставшихся двух переменных. На рис. 6 и 7 в левой колонке показаны такие поверхности для отдельных правил, в правой – для объединенных правил.

В связи с тем, что такие составляющие нечеткого вывода, как функции принадлежности и импликации (правила) определялись экспертным путем, высоких требований к точности результатов предъявлять не целесообразно. В случае экспертных систем результатом будут являться данные для сравнения различных вариантов тактических действий и выбора с учетом формализованного опыта военнослужащих, участво-

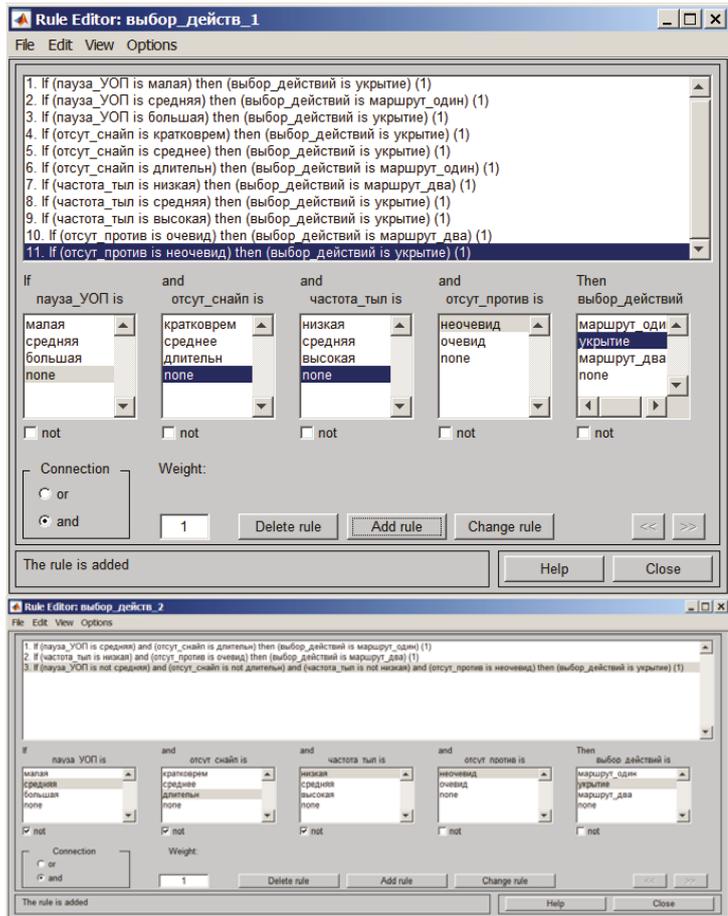
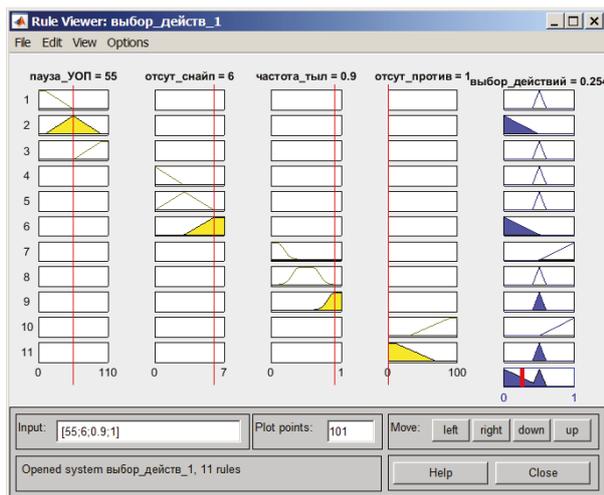
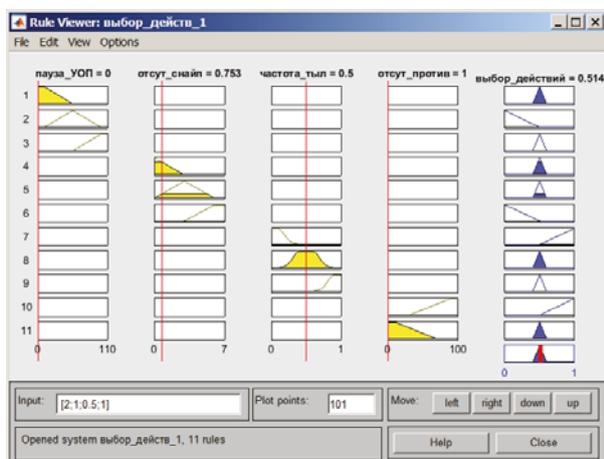


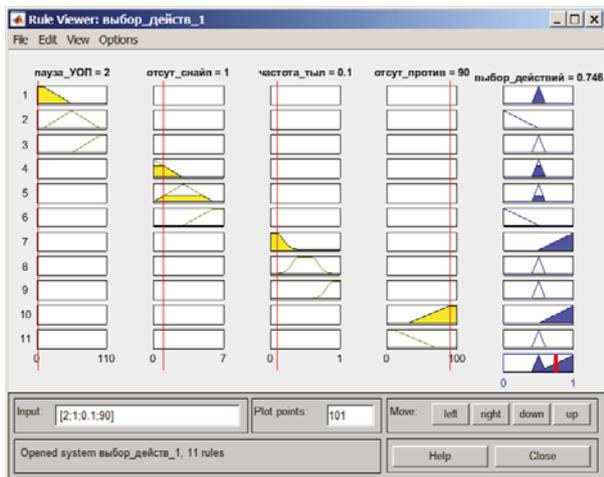
Рис. 3. Вид окон формирования системы отдельных (вверху) и объединенных (внизу) правил



«Маршрут один»



«Укрытие»



«Маршрут два»

Рис. 4.1. Вид окон результатов нечеткого вывода применительно к отдельным правилам

Представленные алгоритмы могут быть положены в основу экспертных систем для выработки рациональных тактических действий по применению разрабатываемых образцов ВВСТ. С использованием нечетких процессоров, которые могут быть связаны с различными источниками информации (датчиками на БПЛА, приборами разведки, радиостанциями, геоинформационными системами, устройствами сканирования мозговой активности военнослужащих и т.п.), поступающая информация непрерывно перерабатывается и в каждый момент времени выдаются данные, позволяющие выбрать рациональные варианты тактических действий. Применительно к рассматриваемому примеру это могут быть степени пригодности 1-го и

Значения выходной нечеткой переменной при конкретных значениях входных

Входные нечеткие переменные				Выходная нечеткая переменная
«пауза УОП»	«отсутствие снайпера»	«частота тыл»	«отсутствие противника»	«Выбор действий»
для отдельных правил				
55	6,00	0,9	1	0,254 (маршрут один)
0	0,75	0,5	1	0,514 (укрытие)
2	1,00	0,1	90	0,746 (маршрут два)
для объединенных правил				
55	6,00	0,9	90	0,164 (маршрут один)
5	1,00	0,5	10	0,500 (укрытие)
5	1,00	0,1	95	0,835 (маршрут два)

Примечание: термины переменной «выбор действий» определялись с учетом вышеприведенных областей определения.

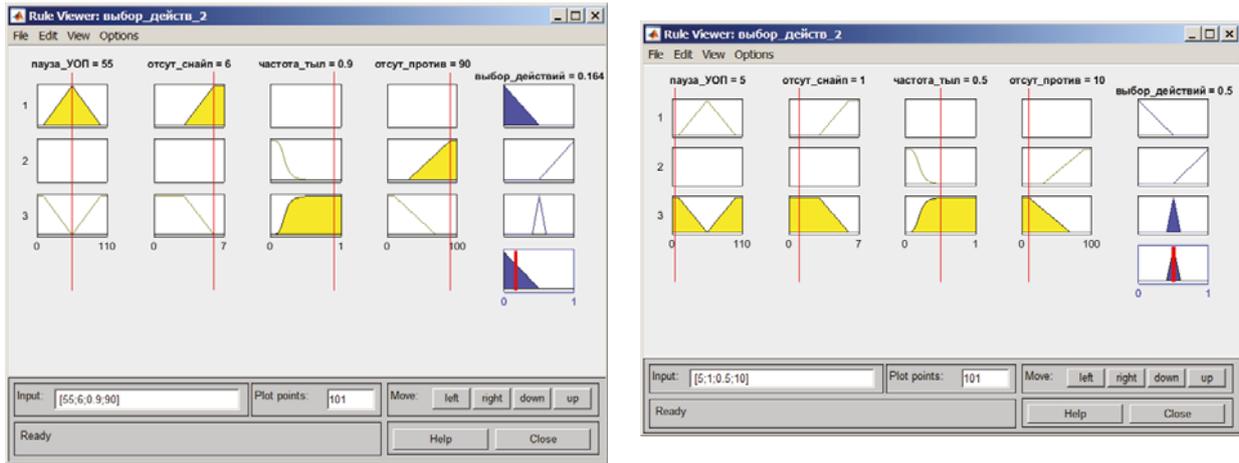
вавших в боевых действиях, наиболее рационального варианта с учетом конкретных значений факторов обстановки на поле боя.

На рис.6 и рис.7 цветами обозначены термины:

- темно-синий цвет – маршрут один;
- голубой-бирюзовый – укрытие;
- салатовый-желтый – маршрут два.

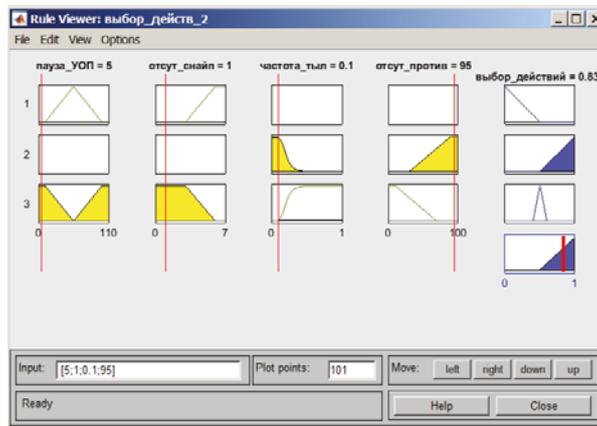
Визуальный анализ рис. 6 и 7 позволяет сделать предварительный вывод о том, что поверхности для объединенных правил, по всей видимости, более адекватны мнениям специалистов. Но, в то же время, их характеризует «скачкообразность» изменения формы поверхности при незначительных изменениях значений входных переменных. Недостатком является и наличие «седловых» точек, многоэкстремальность поверхности, не всегда поддающаяся разумной интерпретации. Для отдельных правил поверхность более гладкая, монотонная, более плавно «аппроксимирует» мнения экспертов, зачастую не столь категоричных в выводах о рациональных вариантах тактических действий.

В будущем для того, чтобы добиться адекватных результатов вывода необходимо привести в более полное соответствие результатов экспертной системы с мнением бойцов, имеющих значительный опыт ведения боевых действий. Для этого потребуется либо дополнительный их опрос, либо использование искусственных нейронных сетей в рамках гибридных моделей [4], позволяющих перенастраивать параметры функций принадлежности, веса правил и т.п.



«Маршрут один»

«Укрытие»



«Маршрут два»

Рис. 4.2. Вид окон результатов нечеткого вывода применительно к объединенным правилам

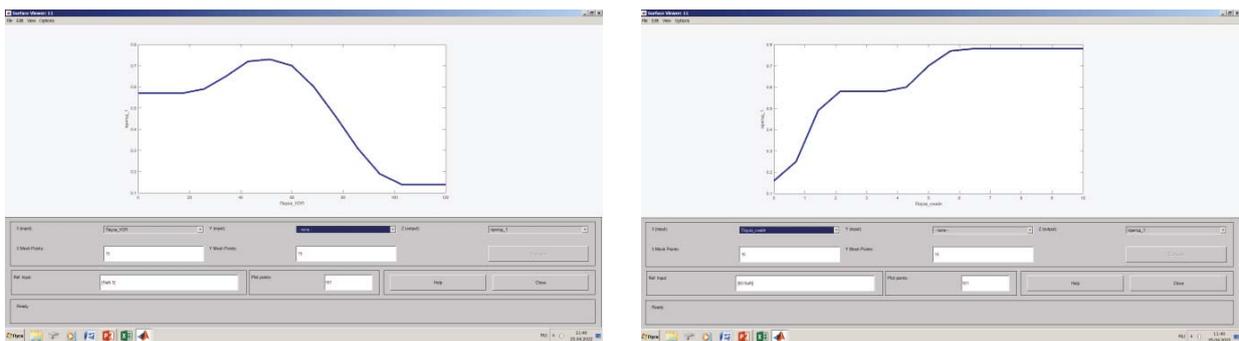
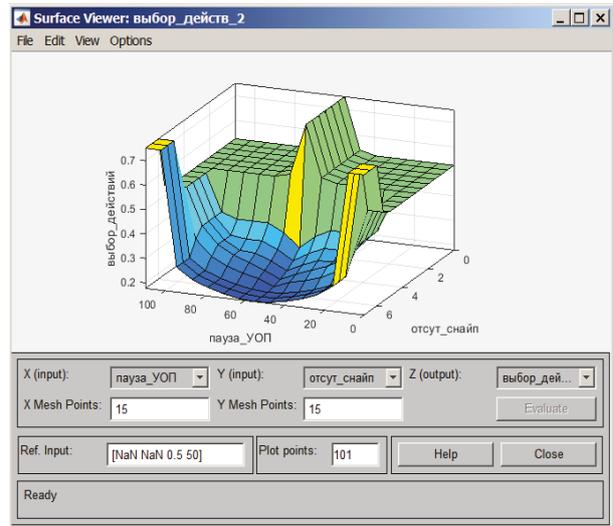
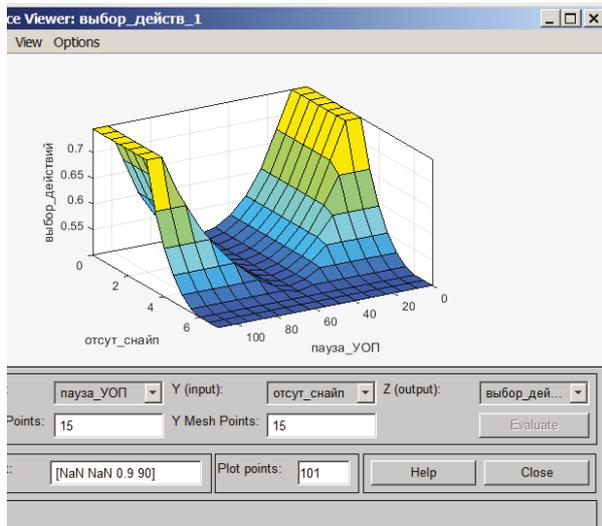


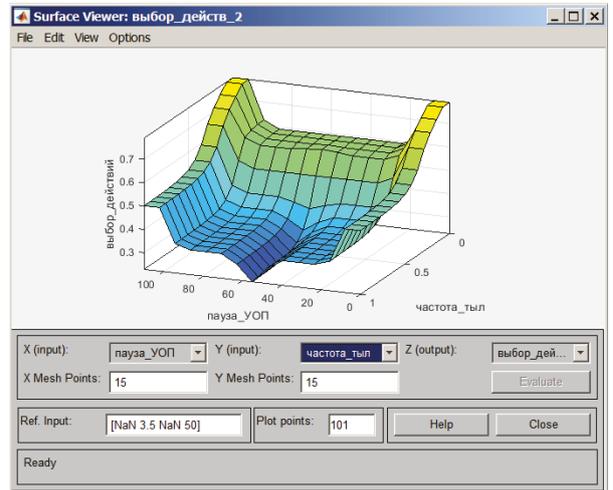
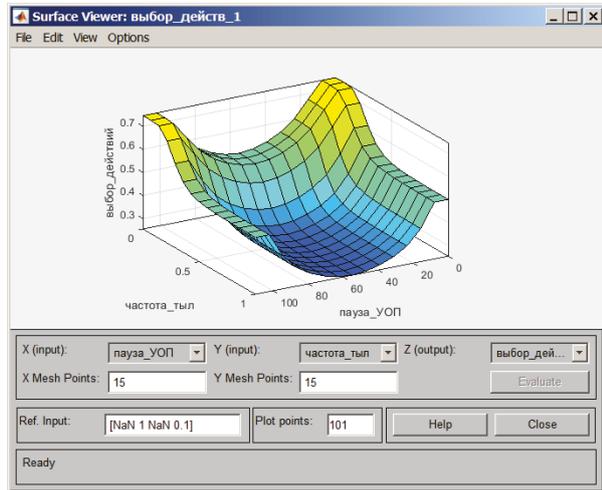
Рис. 5. Вид окон визуализации кривой результатов нечёткого вывода (зависимость «маршрут один» от «пауза УОП» (слева) и «отсутствие снайпера» (справа))

2-го маршрутов, а также вариант, предусматривающий нахождение бойца в исходном укрытии. Изменение этих величин будет происходить во времени с учетом поступающей противоречивой, неопределенной, зачастую качественной информации.

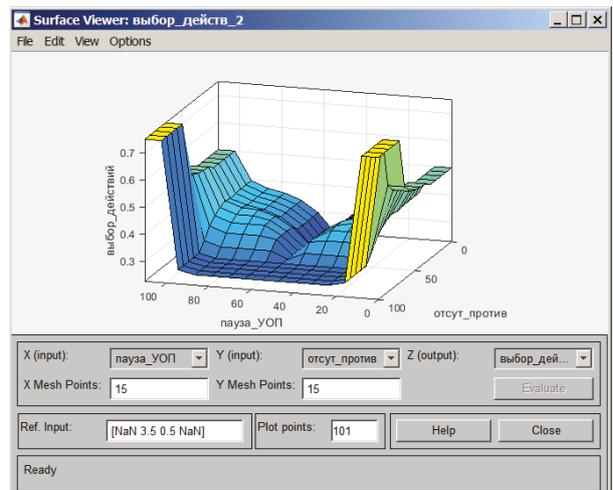
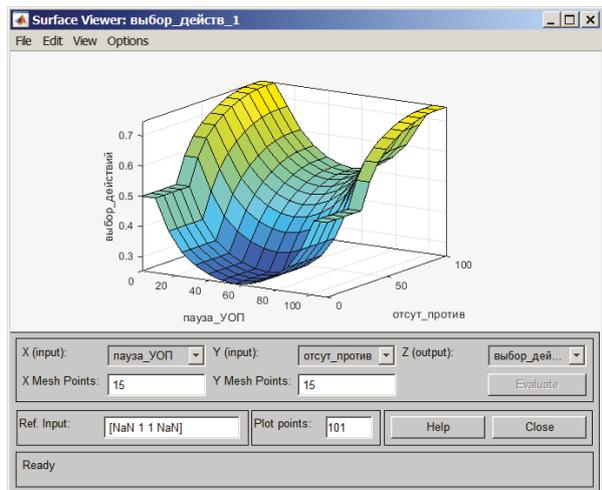
Задание правил применительно к различным тактическим ситуациям необходимо осуществлять с использованием знаний, опыта и интуиции военнослужащих, имеющих опыт участия в боевых действиях на тактическом уровне. Именно эта информация и будет составлять основу соответствующей базы знаний СНВ. При этом очевидно, что вариантов обстановки на поле боя огромное (пожалуй, бесчисленное) количество. Поэтому такая база знаний должна регулярно пополняться и составлять банк таких ситуаций, из которого всегда можно выбрать наиболее близкую к реальной. Выбор сходной ситуации возможно осуществлять с использованием искусственных нейронных сетей, которые необходимо обучать на примерах из указанного банка ситуаций. Именно нейронные сети должны позволить автоматизировать этот процесс и «подгружать» более



a

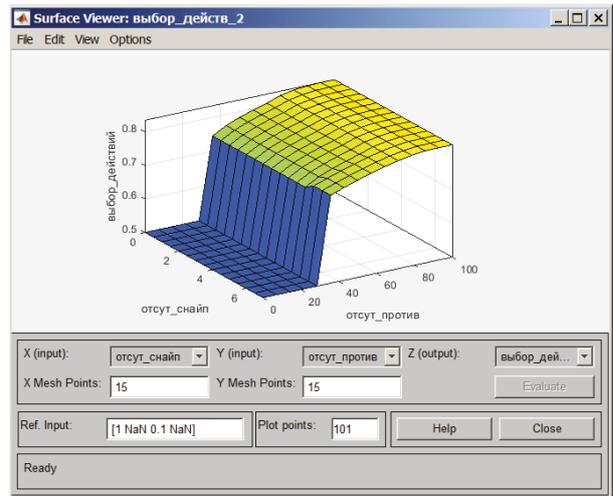
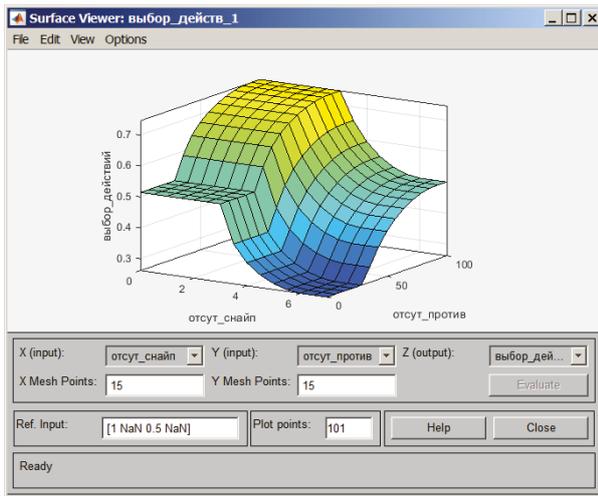


б

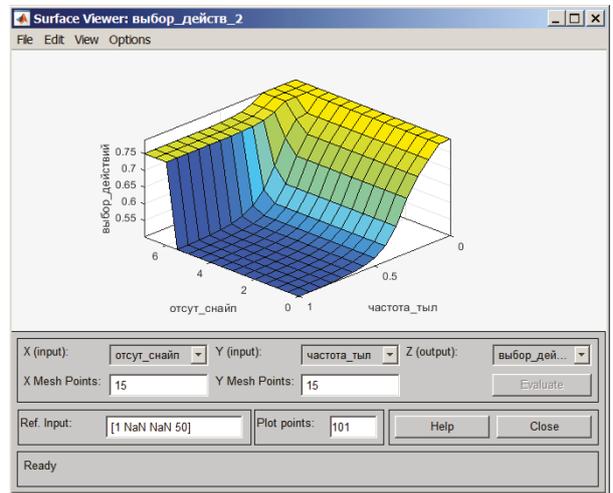
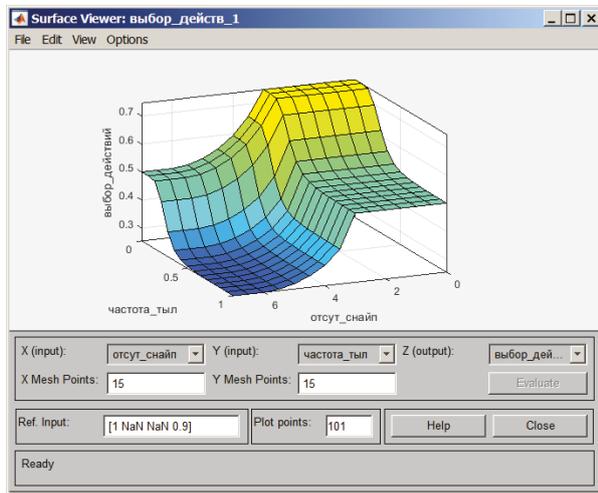


в

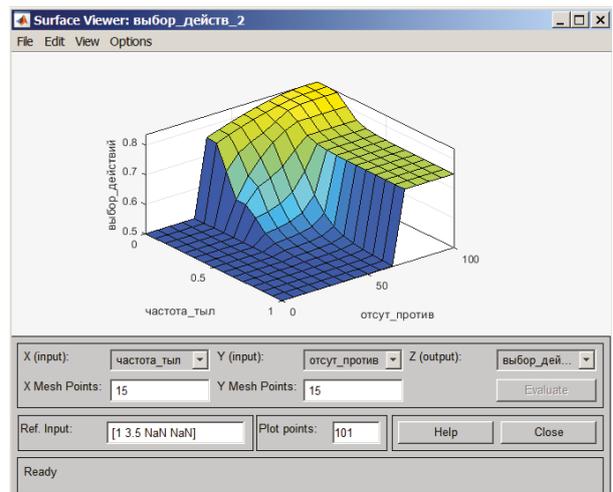
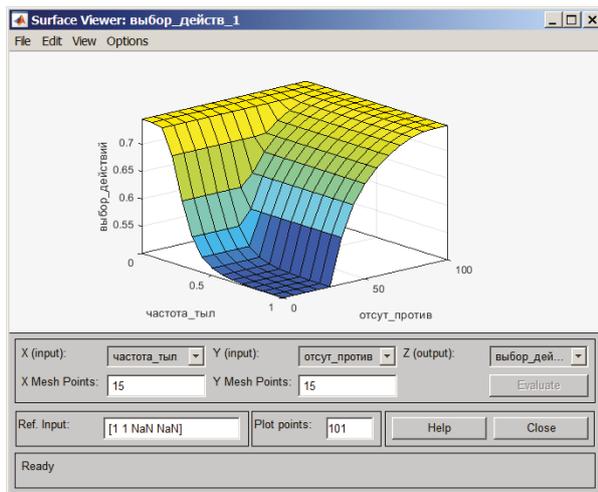
Рис. 6. Поверхности, отражающие зависимости «выбор действий» от «пауза УОП - отсутствие снайпера» (а), «пауза УОП - частота тыл» (б), «пауза УОП - отсутствие противника» (в)



а



б



в

Рис. 7. Поверхности, отражающие зависимости «выбор действий» от «отсутствие снайпера - отсутствие противника» (а), «отсутствие снайпера – частота тыл» (б), «частота тыл - отсутствие противника» (в)

соответствующей реальной обстановке информационный фон, перестраивать параметры СНВ применительно к данной обстановке и предлагать варианты рациональных тактических решений, сформированных с учетом баз знаний экспертов. При необходимости в СНВ могут использоваться и традиционные методы обоснования мероприятий, количественные модели операций, функционирования систем вооружения, расчетные задачи и многое другое, широко используемое в практике принятия решений.

Построение такой базы знаний должно иметь иерархический характер. Верхние уровни иерархии боевых ситуаций должны составлять те из них, описание которых имеет самый общий характер в связи с неопределенностью информации. По мере поступления разведывательных и иных данных возможен переход на более низкие уровни с детальным описанием возможных ситуаций на поле боя. Представляется, что указанные системы в настоящем и будущем могут быть реализованы различным образом - и на традиционных сегодня «планшетах», и на экранах шлем-масок боевой экипировки и даже с использованием компактных сканирующих устройств в касках военнослужащих, позволяющих сопрягать мыслительные процессы с внешними информационными потоками.

Использование рассмотренных экспертных систем выработки рациональных тактических действий позволит значительно повысить оперативность и обоснованность принятия решений по применению ВВСТ, а значит – увеличить ущерб и потери противника, снизив их для своих сил и средств.

Список источников

1. Дурнев Р.А., Свиридок Е.В., Маркелов Е.Б. Выработка рациональных тактических действий: методический подход к алгоритмизации. Сборник докладов научно-технической конференции "Научно-технические проблемы развития ракетно-артиллерийского вооружения Воздушно-десантных войск и пути их решения". Москва, 3 ЦНИИ Минобороны России, 2022.
2. Леоненков А.В. Нечёткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. СПб: БХВ-Петербург, 2005.
3. Штовба С.Д. Проектирование нечётких систем средствами MATLAB. М.: Горячая линия - Телеком, 2007.
4. А. Пегат. Нечеткое моделирование и управление. М., Изд. Бином, 2011.

Материал поступил в редакцию 10.11.2022 г.

УДК 519.17; 51-77

© Краснослободцев В. П., Раскин А. В., Степкин А. В., Тарасов И. В.

© V. Krasnoslobodcev, A. Raskin, A. Stepkin, I. Tarasov

ТЕХНОЛОГИИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В СОВРЕМЕННОЙ И БУДУЩЕЙ ВООРУЖЕННОЙ БОРЬБЕ

ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES IN MODERN AND FUTURE ARMED STRUGGLE

Аннотация. В статье рассмотрено состояние работ в области искусственного интеллекта в нашей стране и за рубежом. Показаны варианты использования технологий искусственного интеллекта в военном деле. Проанализированы возможные угрозы, которые могут возникнуть в связи с применением систем искусственного интеллекта. Обозначены задачи, которые требуют решения в нашей стране на пути создания систем искусственного интеллекта.

Abstract. The article examines the state of work in the field of artificial intelligence in our country and abroad. The variants of the use of artificial intelligence technologies in military affairs are shown. The possible threats that may arise in connection with the use of artificial intelligence systems are analyzed. The tasks that need to be solved in our country on the way to creating artificial intelligence systems are outlined.

Ключевые слова. Искусственный интеллект, технология, система, угроза.

Key words. Artificial intelligence, technology, system, threat.

В современных условиях разработка *технологий искусственного интеллекта* (ТИИ) относится к основным направлениям развития информационных технологий в различных сферах человеческой деятельности. Они оказывают все большее влияние в военном деле, экономике, производстве и социальной сфере. Разработка программ искусственного интеллекта становится ключевым вопросом национальной безопасности для всех ведущих стран мира. По мнению экспертов, к 2025 г. на планете будет более 40 миллиардов интеллектуальных устройств. Они станут развиваться в качестве личных помощников, а 90% этих устройств будут обладать функциями с элементами искусственного интеллекта [8].

Сегодня лидирующее положение в создании ТИИ занимают США, Китай, Франция, Англия, Израиль. Руководство этих стран уделяет пристальное внимание данному вопросу.

Например, в 2019 году президентом США был подписан Указ «О сохранении американского лидерства в области искусственного интеллекта». В нем определены основные принципы политики государства в области искусственного интеллекта, а также мероприятия по интенсификации работ в этой области. В 2022 г. заместитель министра обороны США Кэтлин Хикс подписала документ «Стратегия и реализация ответственного искусственного интеллекта», который стал следующим шагом в реализации Пентагоном принципов искусственного интеллекта, утвержденных в 2020 г. Этот документ определяет стратегический подход Минобороны США к применению ТИИ с учетом законности и этических норм.

В настоящее время Пентагон в целях совершенствования ТИИ широко использует сведения о российских Вооруженных силах, полученные в ходе боевых действий на Украине. Большие массивы данных, полученные разведкой, обрабатываются системами искусственного интеллекта с целью проанализировать тактику и стратегию России в ходе вооруженных конфликтов.

Министерство обороны США на сегодняшний день ведет около 600 проектов с применением искусственного интеллекта, а инвестиции Пентагона в такие проекты выросли с 600 млн. долларов в 2016 г. до 2,5 млрд. долларов в 2021 г. [5].

Согласно «Плану развития систем искусственного интеллекта в Китае», который был принят в 2017 г., к 2030 г. КНР должна стать мировым лидером в ТИИ.

Краснослободцев Владимир Петрович – кандидат военных наук, ведущий научный сотрудник, ФГБУ «4 ЦНИИ» Минобороны России, тел. 8-(495) –515-11-85;

Раскин Александр Владимирович – доктор военных наук, Командование космических войск Воздушно-космических сил, тел. 8-(495)-333-93-20;

Степкин Андрей Владимирович – кандидат технических наук, ФГБУ «4 ЦНИИ» Минобороны России, тел. 8-(495)-515-11-85;

Тарасов Игорь Викторович – кандидат технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник, ФГБУ «4 ЦНИИ» Минобороны России, тел. 8-(495) –515-11-85.

Vladimir Krasnoslobodtsev – candidate of military sciences, leading researcher, FGBI «4 CSRI», Russian Defense Ministry, tel. 8-(495) –515-11-85;

Alexander Raskin – doctor of Military Science, The space command forces aerospace defence forcer, tel. 8-(495)–333-93-20;

Andrey Stepkin – candidate of technical sciences, FGBI «4 CSRI», Russian Defense Ministry, tel. 8-(495)-515-11-85;

Igor Tarasov – candidate of technical sciences, assistant professor, leading researcher, FGBI «4 CSRI», Russian Defense Ministry, tel. 8-(495) –515-11-85.

С 2021 года Народно-освободительная армия Китая тратит на развитие ТИИ средства, равные вложениям Минобороны США, но более активно интегрирует эту технологию в свою военную стратегию, военное планирование и системы вооружения [7].

Несмотря на то, что в России имеется большой научный потенциал, ряд научных школ и фундаментальные результаты, наша страна в настоящее время не входит в число ведущих стран мира в сфере ТИИ.

Вместе с этим, сегодня сформирован внушительный научный задел в области методов и технологий искусственного интеллекта. Отметим некоторые из них:

- машинного обучения при решении задач обработки изображений и распознавания образов;
- методы коллективного взаимодействия роботов при решении задач в группе;
- когнитивные компьютерные модели с пониманием естественного языка;
- методы планирования и управления интеллектом в сложных неструктурированных средах;
- методы искусственного интеллекта для обеспечения информационной безопасности.

Проблемы организационной, методической и аппаратно-программной поддержки развития ТИИ в нашей стране признаны на государственном уровне.

Указом Президента Российской Федерации 2019 г. № 490 утверждена Национальная стратегия развития искусственного интеллекта на период до 2030 г.. Согласно ей на первом этапе (до 2024 г.) наша страна должна изменить свои позиции в этой области, а на втором (до 2030 г.) ликвидировать отставание от развитых стран и добиться мирового лидерства по ряду направлений развития искусственного интеллекта [1].

Необходимо отметить, что определенные в данной стратегии приоритеты развития искусственного интеллекта исходят из национальных целей и стратегических задач развития Российской Федерации на период до 2024 г..

Кроме этого, в России приняты следующие документы:

Концепция регулирования отношений в сфере технологий искусственного интеллекта и робототехники до 2024 г.;

Стратегия развития электронной промышленности Российской Федерации на период до 2030 года.

Уже сегодня полученные фундаментальные научные результаты используются в авиационной и космической промышленности, в транспортной логистике, в роботостроении, бизнесе, здравоохранении, науке и образовании и других.

Значение искусственного интеллекта в военной сфере определяется, прежде всего, необходимостью высокой оперативности (близкой к реальному масштабу времени) обработки больших массивов неструктурированных разнородных данных, что позволяет значительно сократить цикл управления войсками и оружием.

По оценкам аналитиков мирового рынка, ТИИ, используемые в военных целях, к 2025 г. продажи соответствующих сервисов составят 18,82 млрд. долларов, а ежегодный рост рынка будет измеряться 14,75% [7].

На наш взгляд, необходимо различать автоматизацию процессов управления войсками и оружием и применение для этих целей ТИИ. Основные отличия – способность компьютера принимать решения в условиях значительной неопределенности, на основе разнородной, неструктурированной, неполной информации и ситуационной неопределенности.

Основным способом реализации ТИИ в военном деле является искусственная нейронная сеть (ИНС). Такая сеть представляет математическую модель, а также её программную или аппаратную реализацию, построенную по принципу организации и функционирования биологических нейронных сетей. ИНС являются одним из методов разработки искусственного интеллекта. Это алгоритм, который примитивно имитирует работу мозга. Они не программируются, а обучаются [4].

При этом она придает технической системе способность имитировать когнитивные функции человека (включая в перспективе самообучение и поиск решений без заранее заданного алгоритма) и получать при выполнении конкретных практически значимых задач обработки данных результаты, сопоставимые как минимум с результатами интеллектуальной деятельности человека. Вместе с этим, у ИНС больше данных, чем у командира на поле боя, выше скорость принятия решений, есть возможность просчитывать миллионы комбинаций на несколько шагов вперед.

В процессе обучения нейронная сеть способна выявлять сложные зависимости между входными и выходными данными, а также выполнять обобщение.

Проведенный анализ показал, что системы с использованием ТИИ в военном деле можно использовать для решения широкого круга задач:

- развития систем поддержки принятия решения (СППР), обладающих искусственным интеллектом, которые смогут обеспечить централизованное планирование и координацию проведения операций разнородными группировками войск в воздушном, космическом, кибер-, наземном и морском пространстве;
- в различных видах разведки: распознавание типов образов; определение типа обнаруженного радиосигнала и излучающего радиосредства при ведении радиоразведки;
- при ведении радиоэлектронной борьбы: автоматическое подавление средств радиосвязи противника с одновременной непрерывной оценкой её эффективности;
- при ведении борьбы в киберпространстве с целью выявления угроз, их оценки и парирования;

- в ходе решения задач военной логистики с целью оценки потенциальных потребностей в переброске войск, вооружения и военной техники, материальных средств, выявлении наиболее рациональных по времени и стоимости маршрутов их перемещения;
- использование ТИИ в беспилотных аппаратах различного базирования как автономно, так и при групповом взаимодействии;
- использование ТИИ в различных обучающих системах.

В перспективе искусственный интеллект может быть использован в проектировании новых видов оружия, материалов, конструкций, а также новых стратегий ведения войны.

В нашей стране подобные технологии разрабатываются государственной корпорацией «Ростех». Специалистами корпорации используются технологии гибридной реальности при создании учебно-тренировочных средств для формирования ситуационных обучающих задач. В апреле 2021 г. в Минобороны России сформировано специализированное управление, отвечающее за развитие искусственного интеллекта для беспилотных летательных аппаратов и наземной техники.

К концу 2021 года объем рынка искусственного интеллекта в России достиг 17 млрд. рублей. Более 300 компаний – разработчиков в области искусственного интеллекта получили поддержку государства [3].

Вместе с этим, применение искусственного интеллекта несет большое количество новых угроз. При внедрении ТИИ в вооружение и военную технику возникают условия для самостоятельного изменения системой своего поведения и заложенных алгоритмов функционирования. Например, начальник объединенного центра искусственного интеллекта Минобороны США заявил, что ТИИ не будут оснащать центры управления стратегическими вооружениями. За запуски баллистических ракет всегда будет отвечать человек [7].

К таким угрозам можно отнести:

Кибернетические угрозы: уязвимость систем, использующих ТИИ, для специализированных атак на их аппаратно-программное обеспечение. Кроме этого, искусственный интеллект может быть специально запрограммирован на враждебность.

Пассивные угрозы: опасность использования ТИИ при принятии стратегических решений по причине отсутствия критического мышления у СППР, обладающих искусственным интеллектом.

Случайные угрозы: срыв выполнения боевой задачи в случае принятия решения на основе использования неполных, неверных или сфальсифицированных исходных данных, как это свойственно человеку.

Моральные угрозы: способность искусственного интеллекта бесконечно совершенствовать себя, что может, в конечном итоге, превысить возможности интеллекта человека. Например, обнародован «принцип этичности» для систем искусственного интеллекта военного назначения, который предполагает обязательное участие человека в принятии окончательного решения на применение оружия.

В настоящее время ряд аналитиков выступает за запрет применения ТИИ в некоторых военных проектах. Например, призывают запретить боевых роботов с искусственным интеллектом в условиях войны. Появился термин смертоносные автономные системы (САС) вооружения. Это тип военных систем, способных без участия человека находить и поражать цели на основе библиотеки образов, заложенных в базе. Такая система способна без команды человека применять оружие [5]. Остается открытым вопрос: как поведут себя такие системы, если будет потеряна связь с ними в ходе боевых действий?

Таким образом, создание и развитие систем искусственного интеллекта становится в настоящее время одним из основных направлений научно-технического прогресса. Очевидно, что искусственный интеллект может дать новое содержание военному делу. В будущем прогнозируется изменение характера вооруженной борьбы за счет улучшения показателей оперативности и точности применения оружия, минимизации ошибок, вызванных человеческим фактором при планировании и ведении военных действий, оптимизации логистики в мирное и военное время. Решение этих задач напрямую зависит от внедрения ТИИ в комплексы вооружения, военной и специальной техники. Именно поэтому сегодня ТИИ в центре почти всех достижений оборонных технологий.

Однако принятие решения на применение средств поражения в условиях применения искусственного интеллекта останется за человеком. Даже самые надежные системы, оснащенные искусственным интеллектом, вряд ли получат возможность наносить ракетно-ядерные удары. В лучшем случае они могут давать рекомендации политикам применять или нет оружие в ответ на сигналы системы предупреждения о ракетном нападении.

Специалисты в области искусственного интеллекта уверены, что уже в обозримом будущем развернется полномасштабная гонка по развитию и внедрению ТИИ среди ведущих стран мира. В этой связи промедление с развертыванием форсированной программы развития искусственного интеллекта может привести к необратимому отставанию в области критических технологий.

В заключение хочется отметить, что перспективность применения ТИИ в военном деле не подлежит сомнению. Однако, по мнению специалистов, необходимо решить ряд задач, а именно [2]:

- совершенствование нормативно-правовой базы в области искусственного интеллекта;
- переход на исключительно отечественное программное обеспечение и элементную базу;

- формирование эффективной системы разработки и испытаний образцов ВВСТ с элементами искусственного интеллекта;
 - разработка защищенной аппаратуры и криптостойкого программного обеспечения;
- наращивание научного потенциала научно-исследовательских организаций Минобороны России в этой области.

Список источников

1. Указ Президента Российской Федерации «О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации» (утвержден 10.10.2019, № 490).
2. **В. Буренок.** Искусственный интеллект в военном деле – «Арсенал отечества», №3, 2021 г.
3. **С. Птичкин.** Робот сообразит за троих – «Российская газета», №2, 2020 г.
4. **М. Рахметуллаев, Л. Алтынбекова.** Искусственные нейронные сети в военной сфере. – Молодой ученый. – № 19, 2020.
5. <https://www.kommersant.ru/>**Е. Хвостик.** У военных развился искусственный интеллект – декабрь, 2020 г.
6. <https://www.zvezdaweekly.ru/>Искусственный интеллект: новое содержание военной мощи – сентябрь, 2022 г.
7. <https://www.tadviser.ru/>Искусственный интеллект ВПК– TAdviser – июнь, 2022 г.
8. Материалы Международной конференции по искусственному интеллекту. Москва, 04.12.2020 г.

Материал поступил в редакцию 10.11.2022 г.

УДК 004.89

© Захарова А. А., Климаков В. С.,
Кутахов В. П., Мещеряков Р. В., Смолин А. Л.

© A. Zakharova., V. Klimakov, V. Kutakhov, R. Meshheryakov, A. Smolin

**ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ РЕАЛИЗАЦИИ МОДЕЛИ
БЕСПИЛОТНОЙ АВИАЦИОННОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА****STATEMENT OF THE TASK OF IMPLEMENTING A MODEL
OF AN UNMANNED AVIATION TRANSPORT SYSTEM
USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES**

Аннотация. В статье представлена постановка задачи применения технологий искусственного интеллекта для предметной области беспилотной авиационной транспортной системы. Рассматриваются существующие подходы и решения. Предлагается формализованная постановка задачи для беспилотной авиационной транспортной системы и алгоритм мультиагентного решения.

Abstract. The article presents the formulation of the problem of using artificial intelligence technologies for the subject area of an unmanned aviation transport system. The existing approaches and solutions are considered. A formalized formulation of the problem for an unmanned aviation transport system and a multi-agent solution algorithm are proposed.

Ключевые слова. Авиационная система, искусственный интеллект, мультиагентные системы.

Key words. Aviation system, artificial intelligence, multi-agent systems.

Создание транспортных систем сопряжено с рядом проблем, требующих решения как во время проектирования, так и на этапе их эксплуатации. Следует отметить, что переход к беспилотной авиации позволяет, с одной стороны, повысить степень автоматизации логистических операций, а с другой стороны, исключает человека как оператора указанной системы и требует разработки новых подходов и методов решения, в том числе на основе методов искусственного интеллекта. В связи с этим требуется не только реализация частных решений, но и формализация постановки задач маршрутизации транспорта, как это приведено в работе [1].

Определим параметры задачи маршрутизации транспорта (ЗМТ), применимые к маршрутизации беспилотных авиационных транспортных средств из состава беспилотной авиационной транспортной системы. Беспилотная авиационная транспортная система (БАТС) – это совокупность совместно действующих комплексов с транспортными летательными аппаратами (ТБЛА), комплексов наземных средств по подготовке и обеспечению применения комплексов с ТБЛА, личного состава, занятого применением комплексов с ТБЛА, обеспечивающей инфраструктуры, а также системы управления процессом применения транспортной системы [2]. Исходя из предполагаемых условий применения БАТС, следует выделить ряд условий и ограничений, имеющих значение для решения ЗМТ: применяемая модель транспортной задачи – «транспортировка по запросу»; однородный парк и грузоподъемность ТБЛА ограничены; заявки на перевозку груза случайны по времени и месту возникновения, количественно не ограничены и заявки распределены в пространстве;

Смолин Андрей Леонидович – ведущий специалист проектного комплекса «Роботизированные авиационные системы», ФГБУ «НИЦ «Институт имени Н.Е. Жуковского»;

Кутахов Владимир Павлович – доктор технических наук, профессор, директор проектного комплекса «Роботизированные авиационные системы», ФГБУ «НИЦ «Институт имени Н.Е. Жуковского»;

Захарова Алёна Александровна – доктор технических наук, доцент, главный научный сотрудник лаборатории 80 Киберфизических систем, ФГБУ науки «Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова» Российской академии наук;

Мещеряков Роман Валерьевич – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории 80 Киберфизических систем, ФГБУ науки «Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова» Российской академии наук;

Климаков Виталий Сергеевич – кандидат технических наук, профессор, гвардии п-к, Федеральное государственное казённое военное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Рязанское гвардейское высшее воздушно-десантное командное училище имени генерала армии В.Ф. Маргелова» Министерства обороны Российской Федерации.

Andrej Smolin – leading specialist of the project complex «Robotic Aviation Systems», FSBI «SIC «Zhukovsky Institute»;

Vladimir Kutakhov – doctor of technical sciences, professor, director of the project complex «Robotic Aviation Systems», FSBI «SIC «Zhukovsky Institute»;

Alyona Zakharova – doctor of technical sciences, associate professor, chief researcher of the laboratory of 80 cyberphysical systems, FSBI of Science «V. A. Trapeznikov Institute of Management Problems» of the Russian Academy of Sciences;

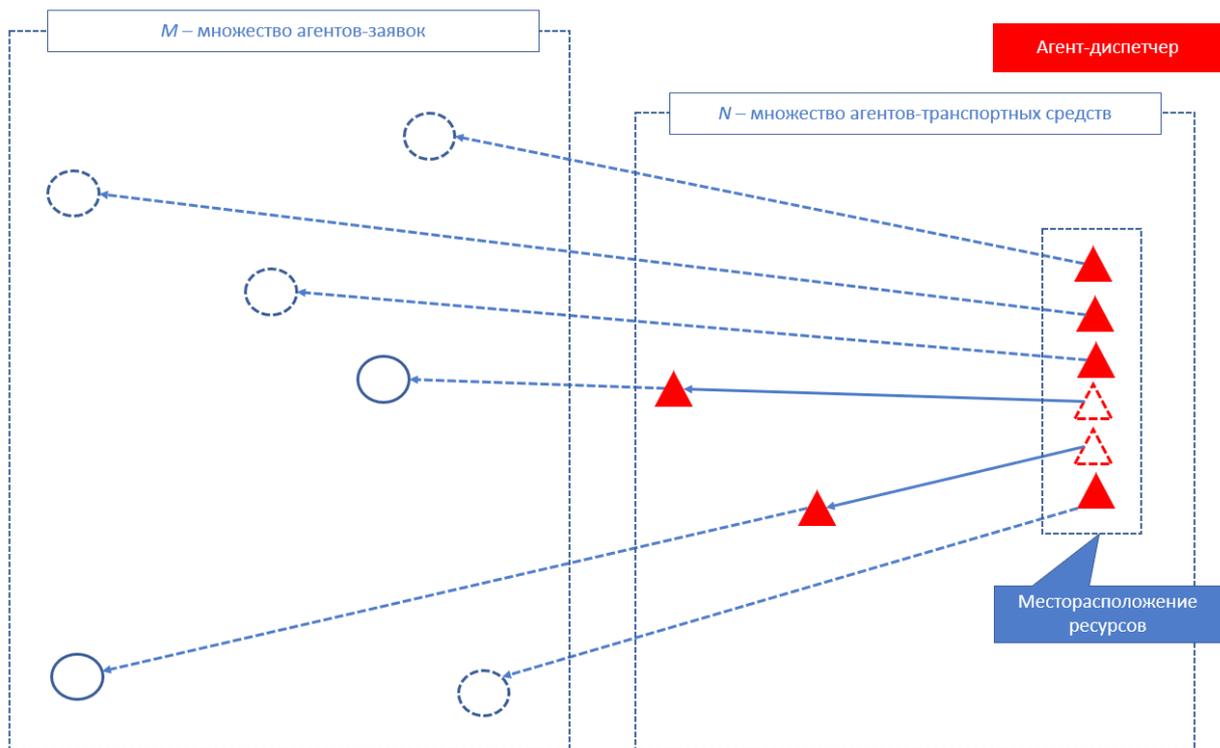
Roman Meshheryakov – doctor of technical sciences, professor, chief researcher of the laboratory of 80 cyberphysical systems, FSBI of Science «V. A. Trapeznikov Institute of Management Problems» of the Russian Academy of Sciences;

Klimakov Vitalij – candidate of technical sciences, professor, Colonel, Federal State Military Educational Institution of Higher Professional Education «Army General V.F. Margelov Ryazan Guards Higher Airborne Command School» of the Ministry of Defense of the Russian Federation.

место расположения ресурсов и базирования ТБЛА принимается единственным; каждый маршрут ТБЛА должен начинаться и заканчиваться на месте расположения ресурсов; обратный маршрут ТБЛА производится без груза, так называемый «нулевой рейс»; маршруты доставки строятся «напрямую» от транспортного средства к заявке; основной критерий эффективности применения БАТС – оперативность доставки грузов, с минимальным временем реакции транспортной системы, мобильность транспортных средств понимается, как их способность к быстрому перенацеливанию, если этого требует обстановка. При этом присутствует динамичность и стохастичность характера заявок на экстренную перевозку грузов [3].

Таким образом, ЗМТ для БАТС можно охарактеризовать как динамическую и стохастическую задачу маршрутизации транспорта с ограничением грузоподъемности транспортных средств (ДСЗМТ). Принимается, что каждой заявке соответствует объем груза к перевозке, время поступления и местоположение заявок неизвестно и определяются с течением времени, время обслуживания заявок являются случайной переменной и реализуется динамически при выполнении транспортной задачи.

Постановка задачи для маршрутизации в формате мультиагентной модели представлена на рисунке.



Структура мультиагентной модели маршрутизации беспилотной авиационной транспортной системы.

Пусть существует транспортная сеть, представленная ориентированным графом G , узлы графа представлены множеством точек, обозначающих местоположение ТБЛА, и местом назначения заявок, а дуги – маршруты между ними, ассоциированные с расстояниями предполагаемых маршрутов. Обозначим M – как множество заявок, N – множество ТБЛА. При этом каждая заявка ($m \in M$) определяется параметрами $(point_m, capacity_m, time_m, urgency_m)$, где $point_m$ – местоположение заявки; $capacity_m$ – объем заявки; $time_m$ – время возникновения заявки, $urgency_m$ – срочность удовлетворения заявки. Каждое транспортное средство $i \in N$ определяется параметрами $(point_i, speed_i, capacity_i)$, где $point_i$ – местоположение ТБЛА; $speed_i$ – скорость перевозки грузов; $capacity_i$ – грузоподъемность ТБЛА. Кроме того, следует ввести параметры $price$ – сумма, которую заявка может «заплатить» за доставку груза и wt – время ожидания транспорта. Тогда целевую функцию запишем в виде

$$-\alpha \sum_{i=1}^M reward_i + \beta \sum_{i=1}^N length_i + \gamma \sum_{i=1}^m wt_i \rightarrow \min, \quad (1)$$

$$\forall i \in N, \forall t g_i(t) \leq capacity_i$$

где α, β, γ – коэффициенты; $length_i$ – путь пройденный i -м ТБЛА; $reward_i$ – «доход» i -го ТБЛА; $g_i(t)$ – объем груза в i -м ТБЛА в момент времени t .

Задача МТ применительно к БАТС может быть представлена в мультиагентном виде. Выделим следующие два типа агентов:

- ТБЛА (описываются профилем $(point_i, speed_i, capacity_i)$);
- заявки на доставку груза, которые описываются профилем $(point_m, speed_m, capacity_m)$.

При этом образуется конкурентная среда, в которой агенты ТБЛА должны добиваться права обслужить агентов-заявки с максимальной выгодой. Предпочтением для агентов-заявки является получение грузов в кратчайшие сроки. Таким образом, пожелания агентов объединяются целевой функцией (1).

Далее для решения задачи необходимо выбрать механизм, который позволяет организовать обмен информацией между агентами, передача такой информации позволяет использовать оперативно полученные данные в процессе оптимизации. В качестве такого механизма выберем механизм аукционного распределения. Для этого в модель вводится третий тип агентов – диспетчер-аукционист как агент, отвечающий за распределение заявок между ТБЛА на основе механизма аукциона. В указанном случае получаем, что размерность задачи с использованием указанных механизмов при реальном рассмотрении стремится к NP-полным задачам. Это дает простор для использования технологий искусственного интеллекта, в том числе метаэвристик и мультиагентных системы.

Метод и алгоритм решения задачи маршрутизации транспорта

Аукционные методы оптимизации лучше всего работают, когда применяются к задачам, характеризующимся однородностью и/или асимметрией. Реальные транспортные задачи не всегда однородны и часто затраты выводятся путем вычисления нормированного значения. Отсутствие рациональной взаимосвязи между весами и затратами имеет решающее значение, поскольку существующие методы аукциона накладывают ограничения на основе целых чисел на данные о стоимости и весе. Аргументы, которые используются существующими методами аукциона, требуют, чтобы стоимость каждого сопоставления была целым числом. Поэтому, когда требуются рациональные (или рационально связанные) затраты, они преобразуются в целые числа с применением к ним нормирования. Это влияет на время выполнения алгоритма.

В 2018 г. Д. Уолш и Л. Диечи (J. Walsh & L. Dieci) [4], развивая метод аукционов, предложенный Дмитрисом Берцекасом (D.P. Bertsekas) [5, 6], предложили более общий метод аукциона, разработанный специально для решения транспортной задачи и способный обрабатывать действительные затраты и веса. В исследовании была доказана сходимости метода и предоставлены оценки ошибок для транспортных задач с вещественными данными. Общий метод аукциона использует в качестве основы транспортную задачу с вещественными значениями, а не целочисленную задачу присваивания. Общий аукцион использует альтернативную форму торгов по лотам, аналогичную торгам «умножение денег» (выигравший должен забрать все лоты по цене, которую он предложил, умноженную на количество лотов). В базовом случае можем принять, что время является затратами для функции (1).

Математически опишем задачу маршрутизации транспорта при доставке груза.

Рассмотрим N предложений (транспортных средств), которые хотят разделить между собой M заявок на доставку груза. Пронумеруем предложения как $1, 2, \dots, N$ и заявки как $1, 2, \dots, M$.

Пусть G – это ориентированный сетевой граф, у которого множество вершин V состоит из M узлов заявок $\{v_1, \dots, v_M\}$, соответствующих весам $(v_i) = d_i > 0$ и N узлов предложений $\{v_{(M+1)}, \dots, v_{(M+N)}\}$, соответствующих весам $(v_{(M+j)}) = s_j > 0$. Предположим, что $M \leq N$, тогда:

$$L := \sum_{i=1}^M d_i = \sum_{j=1}^N s_j > 0,$$

где L – общий вес транспортной задачи.

Предположим, что для каждой заявки получаем непустое множество предложений, к которым она при-
мыкает. Множество всех возможных пар равно:

$$A = \{(i, j) | (v_i, v_{M+j}) \in E\},$$

где E – множество ребер графа G и определяет множество пар узлов.

Пусть базовая стоимость для всех пар $(i, j) \in A$ будут $c_{ij} > 0$ и тогда затраты на транспортировку будут определяться

$$C = \max_{(i,j) \in A} c_{ij}.$$

Найдем минимальную стоимость транспортировки

$$P^* = \min_{\pi} \sum_{(i,j) \in A} c_{ij} f_{ij},$$

по всем возможным транспортным планам $\pi = \{f_{ij} | \forall (i, j) \in A\}$ при

$$0 \leq f_{ij} \leq \min(d_i, s_j); \quad d_i = \sum_{j | (i,j) \in A} f_{ij};$$

$$s_j = \sum_{i | (i,j) \in A} f_{ij}; \quad \forall (i, j) \in A;$$

$$\forall i \in \{1, \dots, M\}; \quad \forall j \in \{1, \dots, N\},$$

где f_{ij} – поток вдоль ребра (i, j) , как транспортируемое количество от предложения j к заявке i .

Применение общего транспортного аукциона

Общий транспортный аукцион использует альтернативную форму торгов по лотам, аналогичную торгам «умножение денег». Участник торгов i имеет неудовлетворенный спрос D_i , поэтому участник торгов i делает ставку на сумму ставки b_{ij} по лоту (b_{ij}, q_{ij}) . Желаемое количество из лота устанавливается равным $q_{ij} = \min\{D_i, S_j\}$. Можем записать ставку в виде пары. Фактическая ставка понимается как цена b_{ij} за q_{ij} товаров при общей стоимости предложения b_{ij}, q_{ij} .

Предположим, что лот j имеет доступный запас S_j . Если $q_{ij} \leq S_j$, требуемое количество доступно в полном объеме, поэтому участнику торгов i присуждается заявка на лот j количеством q_{ij} по цене b_{ij} . Данное требование, которое можно представить тройкой параметров (i, b_{ij}, q_{ij}) добавляется в список заявок на лот j , который обозначим через C_j .

Такие заявки еще могут быть перекуплены. Если $q_{ij} > S_j$, сравниваем предложение i -го участника торгов с теми, которые уже есть в списке заявок. Разница между q_{ij} и S_j компенсируется путем взятия требуемой суммы из заявки (заявок) с самой низкой ценой, цена предложения которой меньше b_{ij} . Только при наличии недостаточного количества заявок по низкой цене участник торгов i заявит меньше, чем q_{ij} .

Тем не менее, до тех пор, пока гарантируется, что b_{ij} превышает самую низкую цену предложения в текущем списке заявок лота j , получаем, что участник торгов i сможет претендовать на некоторое количество в лоте j . Чтобы гарантировать возникновение такой претензии, для каждого лота j необходимо определить цену лота p_j , определяемую как

$$p_j := \min_{(i; b_{ij}, q_{ij}) \in C_j} (b_{ij}).$$

Если C_j пусто, пусть p_j будет равным некоторой начальной цене p_j^0 . При проведении торгов требуется, чтобы цены предложения удовлетворяли $b_{ij} \geq p_j + \varepsilon$ для некоторого фиксированного $\varepsilon > 0$.

Вектор цены лота $p = \{p_j\}_{j=1}^N$ соответствует вектору цены, используемому в уравнении двойной прибыли.

Пошаговый алгоритм общего транспортного аукциона включает следующие пункты:

Примем $\varepsilon > 0$. Пусть $p = (0, \dots, 0)$, $D_i = d_i$ для всех $i \in \{1, \dots, M\}$, и S_j для всех $j \in \{1, \dots, N\}$.

1. Выбрать $i \in \{1, \dots, M\}$, с $D_i = 0$ и вычислить

$$j_0 = \arg \min \{c_{ij} + p_j | (i, j) \in A\}, \quad j_1 = \arg \min \{c_{ij} + p_j | (i, j) \in A \setminus \{j_0\}\}.$$

2. Создать ставку (i, q_{ij_0}, b_{ij_0}) с $q_{ij_0} = D_i$ и $b_{ij_0} = p_{j_1} + c_{ij_1} + c_{ij_0} + \varepsilon$.

3. Пока $q_{ij_0} > S_{j_0}$ и $b_{ij_0} > b_{kj_0}$ для некоторых $k \in \{1, \dots, N\}$ с b_{kj_0} с самой низкой ценой в L_{j_0} :

- установить $q_{kj_0} = q_{kj_0} - r$, $S_{j_0} = S_{j_0} + r$, где $r = \min\{q_{ij_0} - S_{j_0}, q_{kj_0}\}$;
- если $q_{kj_0} = 0$, удалить (k, q_{kj_0}, b_{kj_0}) из L_{j_0} .

4. Установить $q_{ij_0} = t$, $S_{j_0} = S_{j_0} - t$ и $D_i = D_i - t$, где $t = \min\{q_{ij_0}, S_{j_0}\}$,

если $q_{kj_0} > 0$, добавить (i, q_{ij_0}, b_{ij_0}) в L_{j_0} и обновить p_{j_0} .

5. Если $\exists i \in \{1, \dots, N\}$ такой, что $D_i > 0$, перейти к пункту 2.

Представленный алгоритм определяет основной подход к реализации мультиагентного поведения беспилотных летательных аппаратов в БАТС.

Тем не менее, следует отметить некоторые ограничения, которые необходимо учитывать при реализации в конкретных приложениях, например, при реализации операций ВДВ по обеспечению необходимыми грузами. Очевидно, что массогабаритные размеры грузов существенны для формирования типовых операций, как и ограничение энергетических возможностей БЛА.

Проведенные практические эксперименты по отработке реализации БАТС на различных типах БЛА показали, что характеристики внешней среды также существенно влияют на реализацию БАТС, к очевидным характеристикам типа скорости ветра (попутного, встречного, порывистого и пр.) существенна влажность, атмосферное давление, облачность, время суток и тип подстилающей поверхности.

Заключение

Представленный подход к реализации беспилотной авиационной транспортной системы для решения задачи маршрутизации транспорта позволяет формализовать и определить критерии качества БАТС. Следует отметить, что формализация задачи как мультиагентной системы (относящейся к технологии искусственного интеллекта) позволяет использовать не только аналитические методы расчета и планирования эффективных маршрутов на этапе составления расписания, но использовать технологии искусственного интеллекта при эксплуатации БАТС за счет перераспределения задач между БЛА. Перспективным направлением развития представленной теории является проведение вычислительного и натурального эксперимента, которые проводятся в настоящее время.

Список источников

1. Мещеряков Р.В., Кутахов В.П. Управление групповым поведением беспилотных летательных аппаратов: постановка задачи применения технологий искусственного интеллекта // Проблемы управления. 2022. № 1. С. 67-74.
2. Скобелев П.О. Открытые мультиагентные системы для оперативной обработки информации в процессах принятия решений // Автометрия. - 2002. - №6. - С. 45-61.
3. Бабенков В.И., Смолин А.Л. Обоснование перспективных способов доставки материальных средств в системе тылового обеспечения с применением транспортных беспилотных летательных аппаратов // Научные проблемы материально-технического обеспечения ВС РФ: сборник научных трудов. – 2020. – № 3 (17). – С. 15-23.
4. Walsh J., and L. Dieci (2018), General auction method for real-valued optimal transport, Statistical Analysis and Data Mining, CoDA 2018 special issue.
5. Bertsekas, D.P.: Network Optimization: Continuous and Discrete Models. Athena Scientific, Belmont, Massachusetts (1998).
6. Bertsekas, D.P., Castanon, D.A.: The auction algorithm for the transportation problem. Annals of Operations Research 20(1), 67-96 (1989).

Материал поступил в редакцию 10.11. 2022 г.

© Силантьев А. Ю.

© A. Silantsev

РАЗВИТИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ DEVELOPMENT AND MODELING OF COMPLEX SYSTEMS

Аннотация. В статье рассмотрена гипотеза о развитии сложных систем, распространяющая оптимизационный принцип на поведение как материальных, так и сложных информационных процессов.

Abstract. The article considers the hypothesis about the development of complex systems, which extends the optimization principle to the behavior of both material and complex information processes.

Ключевые слова. Сложные системы, структуры, информация, динамика нейрона, социальные организмы.

Key words. Complex systems, structures, information, neuron dynamics, social organisms.

Введение

Классическое рассмотрение (термодинамика) приводит к выводу о неизбежном увеличении энтропии и диссипации энергии в замкнутых макроскопических системах со слабыми взаимодействиями [1]. Однако на уровне подсистем с небольшим числом элементов (до 20 элементов) ситуация иная. Отклонения от средних значений значительны. Равновесия нет. Такие подсистемы приходится рассматривать как открытые, со значительным внешним энергетическим обменом [2].

Иначе ведут себя и системы с сильными нелинейными взаимодействиями [2]. В них возникают квазиустойчивые структуры, а диссипация (если она имеет место быть) происходит на микроуровне.

Исследование сложных систем с сильными нелинейными взаимодействиями всегда сложно и индивидуально. Количество степеней свободы (уравнений) огромно, а их полный анализ практически невозможен. Даже анализ многомерных линейных систем с невыпуклыми ограничениями оказался трудным из-за разнообразия возникающих топологических структур.

Предложить подходы к описанию сложных открытых систем пытался Пригожин [3], но его попытки оказались не очень продуктивными.

Высокую значимость исследование сложных систем приобрело с ростом интереса к искусственному интеллекту. Вопрос оптимизации структуры CNN сетей стал одним из основных в рамках решения множества прикладных задач: распознавание образов, улучшение изображений и звука, сжатия информации, управления динамическими системами [4,5,6].

В настоящей работе предлагается гипотеза о распространении оптимизационного принципа на поведение сложных систем с информационными объектами.

Структуры и информация

Основная причина неуспешных попыток описания сложных систем состоит в традиционном желании увязать свойства сложных систем со свойствами элементов нижнего (базового) уровня. Ошибка заключается в предположение, что макроскопические (осредненные) характеристики этих элементов однозначно задают и все свойства сложных систем.

Это не так. Макроскопические свойства сложных систем определяются связями и процессами между элементами высших уровней, а свойства этих элементов определяются их собственной структурой и процессами. С переходом от уровня к уровню свойства элементов нижних уровней сказываются на свойствах элементов верхних уровней с логарифмически уменьшающимся влиянием. По этой причине уже через два системных уровня связей влияние свойств элементов нижнего уровня становится ничтожным и в большинстве случаев им можно пренебречь.

Свойства сложных систем определяются их структурой, по-другому, «полезной информацией», заключенной в структурах. А структуры сложных систем формируются на уровне далеком от «усредненных» решений. То есть структуры (связи) и формируют суть сложных систем. Они же и есть та «полезная информация», которая значимо влияет на макроскопические свойства.

Набор всех возможных состояний (комбинаций с элементами нижних уровней) есть информационный потенциал системы. Но ее «полезный потенциал» практически определяется числом вариантов связей двух верхних уровней (при условии устойчивости связей нижних уровней).

При таком подходе моделирование искусственного интеллекта состоит не в формировании «образов понятий», а в создание структур (нейронных сетей), моделирующих « типовые процессы ». Действие искусственного интеллекта (впрочем, как и работа естественного интеллекта) состоит в применении « типовых процессов » к разным ситуациям. То есть интеллект в ходе познания (обучения, формирования) настраивает « свои типовые процессы », а в ходе действий применяет их. Чем больше моделей действий, тем больше « полезной условной информации », тем более развит интеллект.

Моделирование сложных систем

Описать сложную систему, значит описать процесс ее структурирования. Как пример рассмотрим нейронную сеть. Однако все рассуждения и выводы будут верны для структур произвольной сложной системы.

С системной точки зрения будем считать, что информационные объекты (нейроны) в системе являются элементами, а структурные связи между ними – полезной информацией, определяющей материальные и информационные потоки между объектами.

Информационные объекты могут быть структурированы (представлены в виде более мелких объектов и связей между ними) и интегрированы (объединены в более крупный объект в рамках системы).

Для начала опишем динамику формирования отдельного нейрона (по-другому, квантовое локальное структурирование) [7]. Заметим, что в работе [7] введено понятие « дуальности » материальных и информационных процессов. Следовательно, процессы структурирования могут быть описаны как в материальных терминах, так и в терминах информационного наполнения.

Классическому материальному описанию роста нейрона можно сопоставить нормированное логистическое уравнение Ферхюльста [8]:

$$\frac{dn}{dt} = n(1 - an), \quad (1)$$

с решением

$$n = \frac{e^t}{1 + \alpha(e^t - 1)}, \quad (2)$$

где n – число входных синапсов (дендритов) или число сигнальных входов (нейронов нижнего уровня), t – время, а коэффициент a – характеризует максимальное число синапсов, которое ограничено геометрией нейрона или энергетическими возможностями системы питать сигнальные нейроны.

Таким образом, рост нейрона (как системного элемента) с материальной точки зрения определяется двумя процессами – появлением новых сигнальных каналов и ограничениями, накладываемыми на их количество. Ограничения эти исключительно материальны, и возникают вследствие проявления свойств элементов текущего и нижнего уровня организации.

В частных случаях, когда чувствительность нейрона должна быть предельно высокой, такой подход оправдан и дает динамический (структурный) переход от состояния рождения к состоянию с максимальным (характерным) числом связей.

Однако в общем случае число связей не стремится к возможному максимуму. Нейрон успешно « работает » с меньшим числом синапсов, а определяется это частотой его « использования », числом проходящих возбуждений. Чем реже возбуждается нейрон, тем меньше он нужен, тем меньше он стимулируется к росту синапсов. Таким образом, модель роста нейрона должна содержать параметр, характеризующий его роль в системе, частоту его использования верхними уровнями системы. Другими словами, рост нейрона зависит от полезности информации, которую он вырабатывает.

В работе [7] сделаны оценки для полной и полезной (активной, рефлексивной) информации (энергии) структур. Первая пропорциональна количеству элементов, вторая растет нелинейно. Можно предположить, что с информационной точки зрения рост числа синапсов будет продолжаться до тех пор, пока сложность рефлекторной сети не сравняется с объемом поступающей информации. Тогда в безразмерном виде

$$\frac{dn}{dt} = n - n \ln(n) = n(1 - \ln(n)), \quad (3)$$

где n – число входных синапсов (число структурных элементов), число нейронных выходов – 1.

С позиций материальных эффектов уравнение (3) можно интерпретировать как рост числа элементов нового уровня, обеспечиваемый синергетическими эффектами, проявляющимися через нелинейные взаимодействия. По-другому, связи (структуры) обеспечивают выделение энергий, которые и идут на построение систем.

Нормированное решение уравнения (3):

$$n = e^{1 - e^{-t + const}} \quad (4)$$

Уравнения (1) и (3) отличаются только характером ограничивающих процессов, а их решения качественно подобны. Они приводят к локально оптимальному структурированию. Причем в первом случае конечная структура будет определяться материальными факторами (возможностями роста) и может оказаться избыточной, а во втором случае оптимальным использованием (целевой информацией) полученной сети.

Информационную сеть можно рассматривать как наложенную на материальную сеть. Часть физических синапсов может не использоваться или дублировать друг друга, если число физических синапсов больше необходимого числа функциональных информационных каналов. Природа создает системы с запасом прочности, статистически повышая устойчивость протекающих процессов. Биологические системы (мозг), обладающие устойчивым интеллектом (рефлексами), должны иметь избыточное число базовых элементов (нейронов) и связей. С позиций материальной оптимизации мозг используется не эффективно. Но «повышение эффективности использования» мозга снижает устойчивость и может привести к нежелательным процессам выпадения части ранее наработанных реакций и процессов (болезням, перегрузке или раннему старению).

Таким образом, *оптимальное информационное (содержательное) структурирование слабо зависит от базовой материальной реализации*. Сильная зависимость проявляется на стадии роста и развития, когда число задействованных материальных каналов меньше информационно требуемого значения. В этот период системы интенсивно адаптируются и обучаются, выстраивая необходимые связи и базовые процессы.

Полезная информация рождается на новом нейронном слое в ходе адаптивной обработки поступающей информации. Содержательный характер процессов и результатов больше зависит от структуры обрабатываемых слоев, а не от огромного числа входных нейронов (точнее число, структура слоев и объем исходной информации должны быть согласованы).

Из-за логарифмического характера убывающей эффективности нейроны с большим числом синапсов не рациональны. Они потребляют большие потоки данных и много энергии в обеспечивающем их слое нейронов, а на выходе выдают меньше полутора бит информации.

Сверхвысокая избыточность нейронов может оказаться «системно вредной» из-за шумов и паразитных самовозбуждающихся циклов (связей), которые могут привести к неадекватным (случайным) реакциям не связанным с наработанной полезной информацией. Система будет реагировать на свои многочисленные состояния, а не на поступающую информацию.

Для сложных живых систем кроме внешних реакций существует первичный вопрос о поддержании собственного внутреннего функционирования. Нейронная система, управляющая внутренними состояниями, должна быть автономна (слабо связана) от системы внешнего реагирования. Таким образом, приходим к выводу о необходимости существования как минимум двух нейронных подсистем в рамках автономных организмов: одна должна поддерживать собственную организацию, вторая возможность реагировать на внешнюю обстановку.

Мозг живых организмов должен содержать два отдела – центральный (отвечающий за самоорганизацию) и внешний (связанный с центральным отделом, но реагирующий на внешние раздражители). Первый должен быть максимально устойчив и отвечать за «безусловные» внутренние рефлексы, второй максимально адаптивный и отвечать за «условные» рефлексы и анализ ситуативной обстановки. Обе подсистемы в своих реакциях связаны, но вторая подсистема зависима от первой, так как ее вариативная часть для собственной устойчивости должна опираться на регулярно повторяющиеся базовые процессы, которые может обеспечить только первая половина.

Мозг высокоорганизованных животных и человека так и устроен [9]. Есть центральная крупноблочная часть, которая отвечает за взаимодействие внутренних органов и «разумно» не контролируется (слабо зависит от внешних воздействий). Наше мышление сосредоточено во внешней слоистой коре, которая реагирует на внутренние и внешние сигналы, и управляет в основном мышечной активностью. Причем «базовое» управление осуществляет именно центральная часть. В зависимости от ее импульсной активности «разумная» часть отключается (рефлексы) или переходит в подсознательные режимы (сон).

Кора головного мозга, отвечающая за внешние «сознательные» реакции, содержит страты по 3-4 нейронных слоя [9], что достаточно для организации внешних реакций.

«Разумное поведение» человека формируется в рамках социальных процессов [7]. И если на персональном уровне поведение человека во многом определяется инстинктами и условными рефлексами, фиксируемыми мозгом [9], то *поведение крупных социальных организмов определяется более их структурами, чем способностями отдельных людей*. Правда, до тех пор, пока социальные модели выстраиваются в виде пирамиды, на вершину которой возводится отдельный человек со своими инстинктами, это утверждение спорно.

Практика показывает, что мир постоянно развивается, пирамидальные (древовидные) структуры замещаются сетевыми, более эффективными в части сложных реакций структурами. В среде социальных организмов выживают те, структура которых оптимизируется под интересы этих организмов, а не под

интересы отдельных людей. Поэтому, возможно, уже в этом веке мы увидим и признаем искусственно созданный интеллект, способный управлять сложными социальными структурами (а не только техническими системами) эффективней людей.

Стоит успокоить сторонников появления «вероломного античеловеческого искусственного интеллекта» двумя фактами.

Во-первых, социальные ценности различны, и любая социальная позиция всегда имеет антагонистическую ей этическую или ресурсную точку зрения [7]. Задача любого социального организма свести к минимуму противоречия внутри него самого (обеспечить согласование позиций). Управляющие социальными организмами люди делают это не оптимально и совершают огромное число ошибок в силу ограниченных способностей и личных интересов. Этическая позиция на согласование поведения частей социальных организмов, реализуемая искусственным интеллектом может оказаться значительно эффективней, чем человеческое управление. Собственно, мы уже веками создаем такие искусственные структуры (например, разделение на законодательную, исполнительную и судебную власти) и опробуем их эффективность. Важно, чтобы социальные структуры не реализовались в интересах одной единственной доминирующей позиции или цели. Это приводит к истощению и развалу систем.

Во-вторых, внешние условия меняются, социальные системы развиваются. Постоянно возникают пограничные задачи, которые не исследованы, не согласованы и не могут быть статистически оптимизированы. В рамках этих задач человек имеет преимущество перед искусственным интеллектом, реализуя этап первичного осознания и поиска решений локального развития. В целях и модификациях будущего социума человек и искусственный интеллект партнеры, решающие связанные задачи развития.

Что видим в итоге? Развивающиеся (живые и разумные) системы постоянно усложняются, реагируя на окружающий мир. На каждом из уровней возникает свое видение мира, связанное с продлением существования. Виды взаимодействий различны. Структурное описание (модели процессов) может быть универсально. Объем реализованных структур (полезная информация) растет. Тепловой смерти не будет. Развитие, каждый раз натываясь на ограничения, будет находить способы структурировать системы в новом направлении (на новых уровнях) и в новых ресурсах.

Как описывать развитие сложных систем?

- Сначала необходимо определиться с уровнем описания. Понять, что является объектом моделирования.
- Для этого объекта нужно поставить глобальную цель. Это может быть функциональная цель, определяемая системой более высокого порядка, или просто цель существования.
- В рамках поставленной цели определяются ценности (критерии существования или функциональной эффективности).
- Затем систему нужно структурировать по протекающим процессам. Задача динамическая. Структуры могут меняться со временем (в зависимости от достижения критериев ценности).
- Следующий этап – натурное или модельное тестирование, который выявляет эффективность текущего структурного решения. Реализация этапа происходит в динамическом режиме до достижения кризисных (критических) состояний.
- Далее идут новые итерации структур до возникновения системного кризиса (глобального минимума), из которого невозможно выйти структурными трансформациями.
- Для разрешения системного кризиса меняются ценности.
- Если смена ценностей невозможна, система меняет глобальную цель или гибнет.

Объем значимой информации

В этом разделе рассмотрим структурное дерево, состоящее из оптимизированных разными способами нейронных слоев. Отдельный нейрон состоит из нескольких входных синопсисов и одного выхода. Входной сигнальный слой считается нулевым, а внутренние нейронные слои нумеруются, начиная с первого.

Объем значимой (полезной) информации (по принципу относительности [7]) зависит от точки зрения (в нашем случае от номера слоя). Если рассматривать локальные процессы (выходом являются нейроны следующего слоя), то объем полезной информации будет определяться межслойной структурой, и как показано в работе [10], составит для одного слоя

$$V_{i+1} = N_i \frac{\ln(n)}{n}, \quad (5)$$

где V_{i+1} – объем полезной информации $i+1$ слоя, N_i – число элементов i слоя, n – число входных синопсисов нейрона (если число используемых выходов у нейрона больше 1, то n – отношение числа входов и выходов одного нейрона). После оптимизации по n

$$V = (N_0 - N_k) \frac{\ln(n)}{n-1},$$

При структурной обработке объем информации для нового слоя сократится и составит около 37% от исходного объема. В этом и заключается «полезность» информации. Адаптированная структура фильтрует и уменьшает начальный объем информации за счет ее агрегирования и удаления менее важной части.

Если рассмотреть полностью согласованное дерево из локально оптимизированных слоев нейронов и считать полезной информацию всех внутренних слоев, то ее объем составит [10]

$$V = (N_0 - N_k) \frac{\ln(n)}{n-1}, \quad (6)$$

где V – полный объем полезной информации всех внутренних слоев; N_0, N_k – число элементов входного и последнего k -го слоев; n – отношение числа входов и выходов нейрона. После оптимизации по n

$$V = \frac{(N_0 - N_k)}{e-1}.$$

Если $N_0 \gg N_k$, то объем полезной информации составит около 58%. При этом нужно понимать, что эта информация во многом зависима, а «полезна» она с совокупной позиции всех внутренних нейронов.

Как пример антагонистического построения системы можно привести регулярную структуру с локальной оптимизацией, в которой нейронные слои дерева «конкурируют» через один в «полезности» своей информации. По-другому, можно считать, что информация четных внутренних слоев имеет отрицательное значение.

В такой постановке «полезность» существенно снижается [10]

$$V = (N_0 - N_k) \frac{\ln(n)}{n+1} = \frac{(N_0 - N_k)}{e+1}, \quad (7)$$

и составит всего 28% от начального объема. За конфликтность в сложных системах всегда приходится платить эффективностью.

«Полезность» информации, как уже было отмечено, зависит от «выходного» множества нейронов, которые участвуют во внешних взаимодействиях. Если такой нейрон один, или заранее фиксировано целевое состояние выходных нейронов, то в системе появляется постановка для глобальной оптимизации структуры всей системы.

Глобальное решение отличается от решения с локальной оптимизацией. Если последнее направлено на максимально эффективное структурирование отдельных нейронов, то глобальная оптимизация направлена на максимально эффективную обработку потока поступающей информации. Каждый отдельный нейрон при этом может работать менее эффективно и даже находиться на грани критического состояния (бесполезности или порога выживания), но удельная эффективность обрабатываемой информации будет предельной.

В послойно согласованном дереве глобальная оптимизация достигается при $n \rightarrow 1$ (см. (6) и работу [10]), а полезность обрабатываемой информации стремится к 100%. При глобальной оптимизации системы с высокой эффективностью элементов заменяются системами с предельным общим выходом. Однако последние неустойчивы. Малые структурные возмущения приводят такие системы к распаду (структурному кризису).

Выше были рассмотрены системы, изменяющие свою локальную структуру (нейрон) по определенным правилам оптимизации. Для сложных систем с заданными структурными свойствами также можно рассчитать эффективность преобразования информации. Это будет сделано в отдельной статье, так как подразумевает описание подхода, позволяющего рассматривать локальные структуры как свойство непрерывных пространств.

Математический смысл структурной динамики

Переопределение связей между элементами структур и динамика их функционального состояния тесно связаны с групповыми математическими операциями (отображениями).

Две простых операции: сложение (аддитивная группа, сдвиг) и \exp (мультипликативная проекция и поворот) на комплексном пространстве аргументов полностью определяют динамику структур.

Посмотрим для начала на выражение (4). В нем преобразования от понятия времени (причинно-следственной связи, t) последовательно проходят сдвиг на константу (комплексная величина), проекцию и поворот (\exp), опять сдвиг на единицу и еще одну проекцию и поворот (\exp). В итоге получаются понятия нижнего (третьего) уровня (число элементов). Таким образом, каждый уровень иерархии (новое понятие или локальная структура) образуется парой операций. Первая переводит понятия одного уровня в аддитивные понятия следующего уровня, а сдвиг закрепляет структурные изменения.

Структуру формируют обратные \exp преобразования, так как они имеют особую точку 0, которая и обеспечивает расслоение в результате поворота в комплексной плоскости.

В зависимости от начальных условий выражение (4) имеет два действительных решения

$$t = t_0, n(t_0) > e, \text{const} = i\pi \cdot (2m+1),$$

где m – целое число – решение монотонно убывает от начального значения до e – форма кривой напоминает exp ,

$$t = t_0, n(t_0) \leq e, const = i\pi * 2m,$$

m – целое число – решение монотонно возрастает от начального значения до e – форма кривой напоминает кривую Ферхюльста с переходом от одного уровня к другому (см. рис. 1).

Для произвольной комплексной константы ($const$) набор решений уравнения (3) представляет воронку, сходящуюся к действительному устойчивому решению $n=e$ (см. рис. 2).

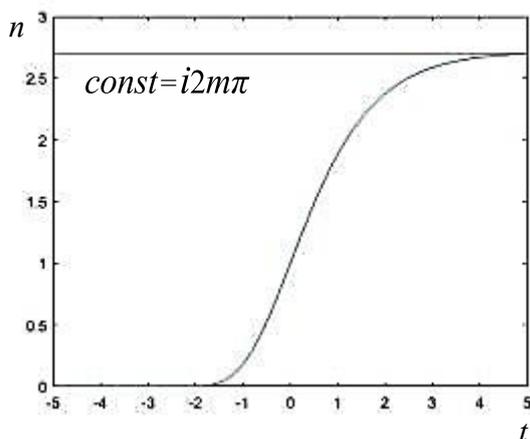


Рис. 1. Типовое решение уравнения (3) с $const = i2m\pi$.

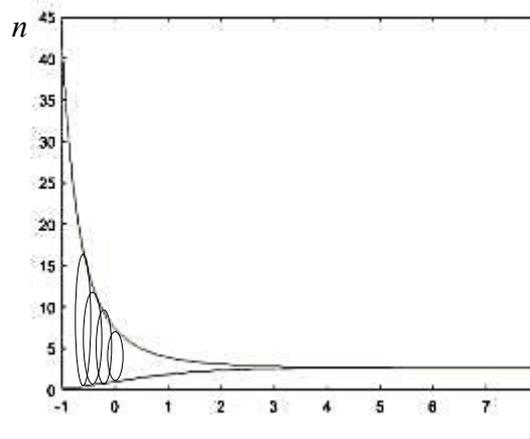


Рис. 2. Воронка решений уравнения (3) с произвольным комплексным смещением по времени.

Таким образом, математические процессы структурирования можно рассматривать как предельные по времени состояния, которые формируются в функциональных динамических процессах, описываемых циклическими перестановками (вращениями) и сдвигами относительно центра симметрии.

Выводы

Представлена динамическая модель структурирования сложных систем, важная для обоснования поведения социальных организмов, в которых процессы иерархического структурирования происходят на фоне циклических процессов функционального взаимодействия. Модель будет так же полезна, как элемент для разработки систем искусственного интеллекта с быстрым обучением.

В статье затронут фундаментальный вопрос взаимосвязи материи (инвариантных объектов) и информации (структур) через энергетическое представление, требующий дальнейшего обоснования и изучения.

Список источников

1. Сивухин Д. В. Общий курс физики. Т. II. Термодинамика и молекулярная физика. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. - 544 с. ISBN 5-9221-0601-5.
2. Стратонович Р. Л. Нелинейная неравновесная термодинамика. М.: Наука, 1985. - 480 с.
3. Пригожин И., Кондепуди Д. Современная термодинамика. От тепловых двигателей до диссипативных структур. - М.: Мир, 2002. - 461 с. ISBN 5-03-003538-9.
4. Y. LeCun, B. Boser, J. S. Denker, D. Henderson, R. E. Howard, W. Hubbard and L. D. Jackel: Backpropagation Applied to Handwritten Zip Code Recognition, Neural Computation, 1(4):541-551, Winter 1989.
5. Л. Шапиро, Дж. Стокман. Компьютерное зрение\Computer Vision. - М.: Бином. Лаборатория знаний, 2006. - 752 с. - ISBN 5-947-74384-1.
6. Уоссермен Ф. Нейрокомпьютерная техника. - М.: Мир, 1992. - 88 с.
7. Силантьев А.Ю. Социальные законы и мировая модель развития - М: ЦСОиП, 2019. - 210 с. ISBN975-5-906661-23-4.
8. Дроздюк А. Логистическая кривая. Торонто: Choven, 2019. - 271 с. ISBN 978-0-9866300-2-6.
9. Савельев В.С. Происхождение мозга. М.: Веди, 2005. – 379 с. ISBN: 5-94624-025-0.
10. Силантьев А.Ю., Акатова Н.А. Квантование социальных энергий. - Информационные войны, 2(50), 2019. – с. 23-26.

© Матвиенко Ю. А.

© Yu. Matvienko

**О НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМАХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА
В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ****ABOUT SCIENTIFIC AND TECHNICAL PROBLEMS OF USING ARTIFICIAL
INTELLIGENCE TECHNOLOGIES IN AUTOMATED MILITARY SYSTEMS**

Аннотация. Рассмотрены проблемы использования в различных автоматизированных системах военного назначения технологий искусственного интеллекта и искусственных нейронных сетей для обработки больших массивов данных. Предложены возможные пути их решения с целью повышения эффективности функционирования такого типа автоматизированных систем в ожидаемых условиях функционирования.

Abstract. The problems of using artificial intelligence technologies and artificial neural networks for processing large amounts of data in various automated military systems are considered. Possible ways of their solution are proposed in order to increase the efficiency of functioning of this type of automated systems in the expected operating conditions.

Ключевые слова. Автоматизированная система военного назначения, технология, искусственный интеллект, искусственная нейронная сеть, проблема.

Key words. Automated military system, technology, artificial intelligence, artificial neural network, problem.

В современных Вооружённых силах Российской Федерации всё шире используются высокие технологии. Одной из составляющих системы вооружения ВС РФ являются различные автоматизированные системы военного назначения (АС ВН). Это и автоматизированные системы управления войсками и оружием, и системы охраны и обороны, и системы планирования, учёта, разведки, оценки технического состояния и надёжности вооружения и военной техники, и многие другие. При разработке и создании таких автоматизированных систем всё шире находят своё применение и технологии искусственного интеллекта.

Данная тенденция обусловлена тем, что в условиях роста общей динамики боевых действий, связанной с появлением современных средств поражения, противодействия и разведки, средств автоматизации управления, связи и телекоммуникации, многообразия факторов, оказывающих влияние на ход и исход решения в современных условиях АС ВН своих функциональных задач, возрастания объёмов информации, которую необходимо учитывать при их решении, на первое место выходит проблема повышения качества и оперативности вырабатываемых органами военного управления решений с использованием имеющихся автоматизированных систем в складывающейся обстановке [1]. При этом информация, необходимая для принятия таких решений и собираемая из разных источников, с одной стороны, имеет достаточно большой объём и слабо структурирована, а с другой стороны, имеет высокую неопределённость, может быть противоречивой, а порой и заведомо искажённой противником.

Одним из путей решения указанной проблемы и является повышение уровня автоматизации процессов принятия решений и оперативности управления, в том числе за счёт использования в автоматизированных системах военного назначения технологий искусственного интеллекта и нейросетевых технологий обработки больших объёмов противоречивых и слабо структурированных данных. Реализуемость такого подхода основывается на высокой эффективности данных технологий, продемонстрированной при их использовании в нашей стране и за рубежом в системах распознавания образов, инфотелекоммуникационных системах и при решении задач адаптивного управления динамическими системами [2-4].

Поэтому анализ и оценка перспектив применения технологий искусственного интеллекта в автоматизированных системах военного назначения и связанных с этим научно-технических проблем является актуальной задачей.

Под технологиями искусственного интеллекта (ИИ), согласно работе [5], понимаются технологии, основанные на использовании искусственного интеллекта, включая компьютерное зрение, обработку естественного языка, распознавание и синтез речи, интеллектуальную поддержку принятия решений и перспективные методы искусственного интеллекта.

Что касается технологии искусственных нейронных сетей (ИНС), то под ними понимаются технологии проведения вычислений на основе алгоритмов, устройств и структур, имитирующих работу биологических нейронных систем [6-8]. При этом сама ИНС представляет собой математическую модель, построенную по

принципу организации и функционирования биологических нейронных сетей, а также её программное или аппаратное воплощение. Фактически искусственные нейронные сети являются частью технологии искусственного интеллекта, так как то, что мы под ним понимаем, в большинстве случаев представляет собой многослойные нейронные сети, которые в состоянии решать слабоструктурированные задачи и самостоятельно обучаться [8, 9].

При создании автоматизированных систем военного назначения на основе технологий ИИ и ИНС для ВС РФ необходимо учитывать ряд присущих этим технологиям особенностей.

Так, важнейшей особенностью технологии ИИ является алгоритмизация решаемых задач [6]. Но в большинстве случаев проблема алгоритмизации заключается не в разработке и не в описании определенного алгоритма решения разнородных задач, а в обучении систем ИИ на прецедентах (обучающих выборках исходных данных) с помощью технологии ИНС. Принимая во внимание, с одной стороны, высокую неопределённость ожидаемых условий функционирования АС ВН, а с другой - важность решаемых с их помощью задач, обучающая выборка должна иметь достаточно большой объём, чтобы обеспечить необходимый уровень доверия органов военного управления к решениям, получаемым с использованием технологий ИИ и ИНС.

Вместе с тем, для интеллектуальных задач, которые должны решаться АС ВН, будут характерны высокая изменчивость исходных данных и их подверженность преднамеренным искажениям. В этом случае могут возникать непредвиденные ситуации, которые просто невозможно предусмотреть на этапе обучения системы. В результате возрастает вероятность того, что АС ВН с технологиями ИИ и ИНС допустит ошибку первого или второго рода. Поэтому такое развитие событий необходимо учитывать при определении круга задач, решаемых органами военного управления с использованием технологий искусственного интеллекта.

В настоящее время различают два типа автоматизированных систем с элементами искусственного интеллекта [10]:

1. Интеллектуальные системы обработки информации, обеспечивающие эффективное решение прикладных задач, традиционно достаточно хорошо решавшихся человеком.
2. Системы, предназначенные для решения задач, не свойственных естественному интеллекту человека, но эффективность решения которых, тем не менее, может быть существенно повышена за счёт применения методов интеллектуальной обработки информации.

Рассматривая возможные варианты использования в АС ВН технологий управления и обработки данных, основанных на ИИ и ИНС, важно уметь оценить эти технологии на их соответствие функциональным требованиям, предъявляемым к таким автоматизированным системам Заказчиком. Подобная оценка должна обеспечить доверие Заказчика и Пользователя к используемым технологиям ИИ и ИНС. Вместе с тем, процедуры подтверждения соответствия заданным требованиям для систем с элементами ИИ первого и второго типа существенно различаются.

В частности, для программно-аппаратных систем первого типа, в которых предполагается участие и человека-оператора, подтверждение соответствия технологий ИИ и ИНС функциональным требованиям предполагает наличие у Заказчика Квалифицированных Пользователей, проводящих испытания. Такие испытания должны проводиться в соответствии с группой стандартов, устанавливающих требования к результату интеллектуальной обработки информации. При этом должна быть создана специальная система сертификации, обеспечивающая оценку соответствия созданной АС с элементами ИИ установленным требованиям.

В группе таких стандартов, в частности, должны быть определены:

- объём статистически значимой выборки исходных данных, обеспечивающей проведение состоятельной оценки. При этом объём, вариабельность и ограничения на такую тестовую (обучающую) выборку должны соответствовать условиям решаемой интеллектуальной задачи обработки информации;
- критериальные значения состоятельной оценки, которые должны быть определены экспериментально с привлечением операторов, практический опыт которых позволяет использовать их способности в качестве доверенных;
- условия достижения критериальных значений состоятельной оценки в ходе испытаний и сертификации, которые должны позволять квалифицировать программно-аппаратную систему как средство интеллектуальной обработки информации, которое может быть использовано для замены человека-оператора при решении конкретной прикладной задачи.

Для технических систем с элементами ИИ второго типа, решающих задачи обработки информации, не свойственные человеку, требования должны предъявляться не к результату, а к процессу обработки информации посредством достижения его прозрачности, объяснимости, робастности и контролируемости.

До настоящего времени необходимые стандарты, предъявляющие требования как к системам ИИ первого типа (требования к результату обработки), так и к системам второго типа (требования к процессу обработки), в необходимом объёме не разработаны [11]. Особенно остро проблема отсутствия стандартов стоит в таких задачах, как дешифровка изображений, обработка речевой информации, управление автономными робототехническими комплексами (РТК), информационная поддержка жизненного цикла вооружения, военной и специальной техники.

За последнее время качество решения интеллектуальных задач с использованием разного рода программно-технических систем существенно возросло, однако отсутствие в России соответствующей системы сертификации таких систем является существенным сдерживающим фактором полноценного внедрения технологий ИИ и ИНС в автоматизированные системы военного назначения.

Кроме того, системная работа по созданию и внедрению технологий ИИ и ИНС предполагает также разработку классификатора задач интеллектуальной обработки информации в разного рода автоматизированных системах военного назначения, эффективность функционирования которых может быть существенно повышена с применением систем ИИ [9, 11].

В частности задачи, отражающие области применения технологий ИИ и ИНС в интересах АС ВН, могут быть объединены в следующие группы:

1. Задачи управления сетями связи и их оптимизация, в том числе задачи нахождения оптимального трафика между узлами сети с учетом её текущего и прогнозного состояния в ожидаемых условиях обстановки.

2. Задачи обеспечения информационной безопасности АС ВН, ориентированные на заранее заданные классы угроз в условиях возрастающей сложности и динамики развития разнородного программного обеспечения с применением технологий идентификации и аутентификации, антивирусной защиты, обнаружения и предупреждения вторжений, управления рисками информационной безопасности, выявления уязвимостей, а также задачи управления информационной безопасностью на основе анализа событий безопасности (инцидентов) и поведенческой аналитики пользователей.

3. Задачи автоматизированного проектирования для получения эффективных решений при проектировании систем безопасности, телекоммуникационных сетей позиционных районов с учётом длительного переходного периода и ожидаемых условий функционирования.

4. Задачи поддержки принятия решений органами военного управления разных уровней в интересах повседневной деятельности и оперативного боевого управления.

5. Задачи охраны (в том числе охранного видеонаблюдения) и обороны как стационарных, так и подвижных объектов системы управления ВС РФ, видео разведки и распознавания, охраны и обороны маршрутов патрулирования подвижных комплексов оружия, инженерной разведки местности, в том числе с использованием БПЛА и робототехнических комплексов.

6. Задачи биометрической аутентификации и интеллектуального анализа поведенческих признаков, в том числе с целью выявления людей с девиантными (противоправными) намерениями и поведением.

7. Задачи обработки сигналов с датчиков, связанных с прогнозированием временных зависимостей, характеризующих надёжность вооружения и военной техники ВС РФ на основе применения нелинейных адаптивных экстраполирующих фильтров, реализованных в виде сложных нейронных сетей.

8. Задачи распознавания и анализа вводимой в АС ВН информации, в том числе распознавание образов, с целью выявления дезинформации и противоречий.

В интересах использования технологий ИИ и ИНС в автоматизированных системах военного назначения требует завершения и системная работа по включению полученных в этих областях результатов как в состав Российского программного обеспечения (ПО), так и в сферу обороны и безопасности.

При этом, учитывая сложившуюся в настоящее время ситуацию с введёнными против Российской Федерации санкциями, в том числе и в области информационных технологий, при формировании реестра отечественного ПО необходимо принимать во внимание дополнительные ограничения, наложенные на закупки программного обеспечения для государственных и муниципальных нужд.

Таким образом, с целью преодоления указанных выше научно-технических проблем, развёртывание полномасштабных работ по созданию и внедрению в отечественные автоматизированные системы военного назначения технологий искусственного интеллекта и искусственных нейронных сетей должно осуществляться по следующим приоритетным направлениям:

1. Формирование перечней и обоснование требований к задачам интеллектуальной обработки данных.

2. Создание инфраструктуры формирования обучающих наборов исходных данных, в том числе:

- создание средств математического моделирования;
- использование результатов полигонных и полунатурных испытаний;
- создание средств сбора и обработки статистических данных;
- эксплуатируемых систем и комплексов для прогнозирования их применения в будущем;
- создание платформ для ручной разметки исходных данных.

3. Создание аппаратных средств для реализации интеллектуальных методов обработки данных, в том числе:

- мобильных специализированных процессоров (компактных, лёгких, энергоэффективных);
- кластерных специализированных вычислительных комплексов.

4. Создание системы оценки соответствия оборонных интеллектуальных технологий предъявляемым требованиям, в том числе:

- разработке стандартов, устанавливающих требования к оборонным технологиям ИИ и их испытаниям;
- формированию системы подтверждения соответствия (сертификации).

5. Совершенствование системы подготовки кадров, в том числе:

- подготовка специалистов в области разработки оборонных интеллектуальных технологий;
- подготовка специалистов по эксплуатации в войсках оборонных интеллектуальных технологий.

Список источников

1. Буренок В.М., Ивлев А.А., Корчак В.Ю. Развитие военных технологий XXI века: проблемы, планирование, реализация. – Тверь: Издательство ООО «Купол», 2009. – 624 с.
2. Сборник докладов и выступлений научно-деловой программы Международного военно-технического форума «АРМИЯ – 2018». – М.: МО РФ, 2018. – 287 с.
3. Петров И. 5 технологий искусственного интеллекта, которые изменят бизнес в ближайшем будущем. Статья на ресурсе https://cnews.ru/articles/2019-11-12_chno_ozhidat_ot_razvitiya_tehnologij. 13.11.2019г. Дата обращения 20.03.2022г.
4. Душкин Р.В. Искусственный интеллект. – М.: ДМК Пресс, 2019. – 280 с.
5. Национальная стратегия развития искусственного интеллекта на период до 2030 года. Утверждена Указом Президента РФ от 10.10.2019 г. №490 «О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации».
6. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс, 2-е издание: Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2006. – 1104 с.
7. Ясницкий Л.Н. Нейронные сети – инструмент для получения новых знаний: успехи, проблемы, перспективы // Нейрокомпьютеры: разработка, применение, №5, 2015. С. 48-56.
8. Комашинский В.И., Смирнов Д.А. Нейронные сети и их применение в системах управления и связи. – М.: Горячая линия – Телеком, 2003. – 94 с.
9. Таулли Т. Основы искусственного интеллекта: нетехническое введение: Пер. с англ. – СПб.: БХВ-Петербург, 2021. – 288 с.
10. Гарбук С.В. Применение технологий искусственного интеллекта при разработке и эксплуатации ВВСТ. Сборник докладов и выступлений научно-деловой программы Международного военно-технического форума «Армия 2018», стр. 278-283.
11. Гарбук С.В. Об оценке соответствия в области технологий искусственного интеллекта. Сборник трудов VIII Международной конференции «ИТ-Стандарт 2017» – М.: Проспект, 2017. – 600 с. С. 21-32.

Материал поступил в редакцию 10.11. 2022 г.

© Никитин Ю. В., Хорошилов А. А

© Yu. Nikitin, A. Khoroshilov

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ ТЕКСТОВЫЙ ПРОЦЕССОР**INTELLIGENT WORD PROCESSOR**

Аннотация. В статье описывается современный инструмент смыслового анализа текстовой информации – интеллектуальный текстовый процессор (ИТП), ориентированный на использование методов искусственного интеллекта для решения широкого спектра задач автоматизации процессов обработки, формализации, семантического анализа и поиска документов на естественном языке в различных областях науки, образования и высокотехнологичных производств.

В статье на основе анализа различных подходов к решению проблемы «понимания» и порождения текстов на естественном языке сделаны выводы о необходимости создания перспективных текстовых процессоров с использованием гибридных технологий автоматической смысловой обработки текстов, в которых должны сочетаться современные технологии интеллектуального фразеологического концептуального анализа текстов и нейросетевые модели глубокого обучения с одновременным использованием онтологий и баз знаний предметных областей, выполняющих роль динамической модели мира в рамках этих предметных областей.

Abstract. The article describes a modern tool for the semantic analysis of textual information - an intelligent word processor (ITP), focused on the use of artificial intelligence methods to solve a wide range of tasks of automating the processing, formalization, semantic analysis and search for documents in natural language in various fields of science, education and high-tech productions.

In the article, based on the analysis of various approaches to solving the problem of "understanding" and generating texts in natural language, conclusions are drawn about the need to create promising word processors using hybrid technologies for automatic semantic text processing, which should combine modern technologies of intelligent phraseological conceptual analysis of texts and neural network models deep learning with the simultaneous use of ontologies and knowledge bases of subject areas that act as a dynamic model of the world within these subject areas.

Ключевые слова. Интеллектуальный текстовый процессор, естественный язык, проблема искусственного интеллекта, моделирование процессов понимания и генерации текстов на естественном языке, машинные грамматики, семантико-синтаксический и концептуальный анализ текстов.

Key words. Intelligent word processor, natural language, the problem of artificial intelligence, modeling the processes of understanding and generating texts in natural language, machine grammars, semantic-syntactic and conceptual analysis of texts.

Введение

Решение проблемы цифровизации экономики Российской Федерации требует значительного расширения спектра задач, ориентированных на автоматизацию процессов обработки, формализации, анализа и поиска документов на естественном языке в различных областях науки, образования и высокотехнологичных производств. Так, например, в сфере научно-технической и производственной деятельности необходимо обеспечить автоматизацию процессов подготовки и оценки результатов НИР, оформления РИД, выполнения патентного поиска, валидации и верификации требований на технологические решения, подготовки и проведения сертификации сложных инженерных объектов и т. д.; в сфере высшего образования и науки – создание и оценка образовательных программ, учебных и методических пособий, экспертиза заявок на гранты, рассмотрение диссертаций, дипломных и курсовых работ; в сфере государственных, муниципальных и корпоративных закупок, инновационных инвестпроектов – автоматизация таких процессов, как рассмотрение конкурсных заявок на соответствие требованиям и ТЗ, контроль соответствия контрактной и конкурсной документации, приемка результатов исполнения контракта, контроль соответствия отчетных материалов и ТЗ и т. д.; в сфере организационно-правовой деятельности – подготовка и согласование контрактных, регламентирующих документов (положений, инструкций); гармонизация стандартов и рубрикаторов, унификация

¹ В начале 1980-х гг. ученые в области теории вычислений Барр и Файгенбаум предложили следующее определение термина искусственного интеллекта: Искусственный интеллект – это область информатики, которая занимается разработкой интеллектуальных компьютерных систем, обладающих возможностями, которые традиционно связаны с человеческим разумом, – понимание языка, обучение, способность рассуждать, решать сложные логические задачи и т. д.

Никитин Юрий Викторович – научный сотрудник, руководитель группы разработки лингвистического ПО, ФИЦ ИУ РАН;
Хорошилов Александр Алексеевич – доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник, ФИЦ ИУ РАН.

Yurij Nikitin – researcher, head of the linguistic software development group, FRC IU RAS;
Alexander Khoroshilov – doctor of technical sciences, professor, leading researcher, FRC IU RAS.

НСИ и нормативно-правовых документов; в сфере мониторинга интернет-пространства – мониторинг СМИ, мониторинг отраслевых интернет-ресурсов, информационных потоков текстовой информации (донесений, аналитических отчетов), мониторинг деловой и конкурентной активности, поведения потребителей, оценка общественного мнения и эффективности маркетинговых и PR-кампаний, выявление угроз национальной и общественной безопасности, деловой репутации, развитию бизнеса и т. д.

Для обеспечения автоматизации этого спектра задач необходимо ориентироваться на применение современных технологий автоматической смысловой обработки неструктурированной текстовой информации. Такие технологии должны базироваться на применении методов искусственного интеллекта (ИИ)¹.

Одной из ключевых проблем ИИ при решении задач смысловой обработки текстов является проблема «понимания» смыслового содержания текстов, представленных на естественном языке (ЕЯ), и проблема генерации (порождения) грамматически согласованного осмысленного текста. Решение этих проблем неразрывно связано с исследованиями и моделированием процессов обработки, формализации, анализа и порождения текстовой информации, представленной на ЕЯ.

Общеизвестно, что ЕЯ является универсальным средством общения между людьми – средством восприятия, накопления, хранения и передачи информации. Более того, он является инструментом мышления человека. В соответствии с базовой концепцией психологии когнитивных процессов человека ЕЯ представляет собой вторую сигнальную систему человека, функционирующую на основе первой сигнальной системы. Языковые сигналы инициируют мыслительные процессы, происходящие в сознании человека. Интерпретация речевых сигналов (их понимание) происходит с учетом жизненного опыта и профессиональных знаний, накопленных человеком в течение всей его жизни. Этот комплекс знаний представляет собой некоторую динамическую модель мира, которая в процессе речевого общения выполняет роль пресуппозиций [1].

Известный отечественный лингвист проф. В.А. Звегинцев считал, что пресуппозиции образуют смысловой каркас, на котором строится текст (дискурс) [2]. Другими словами, *пресуппозиции* – это некоторый подтекст (некоторые «умолчания»), с которыми в связной речи должен согласовываться видимый или слышимый текст. Без учета «пресуппозиций» в письменных текстах описание явлений реального или абстрактного мира всегда будет неполным, так как предполагается, что часть информации уже известна и нет необходимости излагать ее в тексте.

Традиционные лингвистические методы «понимания» текстов на ЕЯ были направлены на исследование языковых закономерностей, осложненных большим числом исключений. Большой проблемой в рамках таких исследований являлась проблема вариативности представления смыслового содержания текстовых конструкций. Лингвистические модели, основанные на жестких лингвистических правилах, дополненных статистическими закономерностями, не смогли в полной мере отобразить все многообразие грамматических и семантических ситуаций в тексте. Основной причиной неадекватности этих моделей являлось их недостаточное признаковое пространство, включающее ограниченное число признаков. При этом расширение признакового пространства требовало значительного изменения всей языковой модели.

Все эти проблемы привели к появлению такой дисциплины, как математическая лингвистика, базовым компонентом которой является теория формальных грамматик. Эта теория изучает формальные аспекты функционирования языка, наиболее существенным из которых являются процессы извлечения смысла из текстов и трансформацию смыслов в автоматически сгенерированные тексты. В рамках этой теории разработан ряд формальных грамматик, с помощью которых возможно реализовать описания множества грамматически правильных предложений языка. Предложения при этом моделируются цепочками (словами) в конечном алфавите, элементы которого интерпретируются как слова ЕЯ.

Лингвистические концепции, лежащие в основе формальных методов описания строения языка, базируются на представлении о языке как о «системе чистых отношений», сближающее язык с абстрактными системами, изучаемыми в математике. Это представление конкретизируется в концепции функционирования языка как преобразования некоторых абстрактных объектов – «смыслов» – в объекты другой природы – «тексты» – и обратно.

Таким образом, исходя из вышесказанного, становится понятно, что процессы понимания и генерации ЕЯ, с одной стороны, должны отражать сложнейшие процессы мыслительной деятельности человека при восприятии им окружающей действительности, с другой стороны, процесс познания ЕЯ во всей его сложности необходимо подчинить строгим математическим правилам. Поэтому при решении проблемы ИИ должны быть учтены важнейшие моменты мыслительной деятельности человека в процессе формализации текстов, представленных на ЕЯ.

Ключевым инструментом, предназначенным для решения вышеперечисленных задач, являются лингвистические процессоры¹ (ЛП). Основной задачей ЛП является извлечение смыслового содержания текста и его интерпретация при помощи набора формальных средств для реализации различных прикладных задач. В основу существующих ЛП положены различные формальные языковые модели. Рассмотрим основные подходы, положенные в основу этих языковых моделей.

¹Под термином лингвистический процессор понимается формальная лингвистическая модель, реализованная на ЭВМ, которая способна понимать и производить тексты на ЕЯ.

1. Традиционный лингвистический подход

Одной из наиболее удачных попыток моделирования процесса «понимания» ЕЯ является формальная модель языка, предложенная И. А. Мельчуком – «Смысл \Leftrightarrow Текст» [3]. На основе этой модели был разработан ЛП, представленный его авторами «...как устройство («система правил»), обеспечивающее переход от смысла к тексту («говорение» или построение текста) и от текста к смыслу («понимание» или интерпретация текста)...» [4].

Теоретическая концепция Мельчука постулирует многоуровневую модель языка, в которой построение текста на основе заданного смысла происходит не непосредственно, а с помощью серии переходов от одного уровня представления к другому. При этом выделяются несколько уровней описания языка: фонологический, поверхностно-морфологический, глубинно-морфологический, поверхностно-синтаксический, глубинно-синтаксический и семантический уровни. Каждый уровень характеризуется набором собственных лексических единиц и правил их представления, а также набором лингвистических правил перехода от одного уровня представления к соседним.

Синтаксический уровень предусматривает существование двух синтаксических уровней – поверхностного и глубинного. Для описания синтаксических отношений используется аппарат синтаксиса и противопоставления актантов и сирконстантов. Выделяется большое число так называемых поверхностно-синтаксических отношений и небольшое число глубинно-синтаксических. Синтаксис модели в большой степени проникнут семантикой, в рамках которой задается модель управления лексемы и перечисляются ее сочетаемостные свойства.

Семантическое представление представляется неупорядоченным графом («сетью»), синтаксические представления являются графическим деревом («деревом зависимостей»), морфологическое и фонологическое представления линейны.

Базовым компонентом этой модели являлся толково-комбинаторный словарь. В каком-то смысле можно сказать, что языковая модель по Мельчуку вообще имеет тенденцию представлять язык как совокупность словарных статей с огромным количеством разнообразной информации. Грамматические правила при таком словаре играют скорее второстепенную роль.

Рассматривая проблему ИИ в технологиях автоматической обработки текстов (АОТ), нельзя не коснуться широко используемых нейросетевых технологий NLP (Natural Language Processing)¹.

2. Нейросетевой анализ текстов и машинное обучение

В рамках теоретической концепции коннекционистской теории сознания, в которой моделирование мыслительных или поведенческих процессов человека осуществлялось с использованием нейросетей, возникло предположение, что моделирование процессов обработки ЕЯ также возможно реализовать на основе нейросетевых моделей [5, 6]. Широкому применению нейросетей способствовала их всеядность и универсальность, заключающаяся в том, что в качестве исходных данных нейросеть может принять множество различных видов данных, а полученная модель может реализовать значительно более сложные функции по отношению к методам, основанным на традиционных правилах. Нейросетевые модели, обученные на больших объемах исходных данных с большим признаковым пространством, позволяют получить достаточно гибкие функциональные модели, являющиеся универсальными аппроксиматорами реализуемых функций, применимые к разным предметным областям.

В основу реализации нейросетевых моделей был положен метод глубокого обучения, ориентированный на извлечение большого числа признаков из необработанных данных. Глубокая модель обучения представляет собой нейросеть, состоящую из входного и выходного слоев, а также скрытых слоев в середине. Скрытые слои реализуют извлечение полезных признаков из необработанных данных. В рамках этой модели используется сквозная модель обработки данных (end-to-end model), обеспечивающая процесс непрерывной обработки – от необработанных данных до прогнозных решений.

Одно из решений проблемы «понимания» ЕЯ в этой модели обеспечивается разрешением многозначности слов, смысл которых определяется их контекстным окружением. В нейросетевых моделях NLP смыслы слов и фраз представлены в форме векторов, над которыми возможно производить вычислительные операции. При этом прогресс в обработке языка связан с постоянным расширением признакового пространства анализируемого контекста.

Обученные модели показывают высокие результаты при решении ряда типовых семантических задач вычислительными методами. Так, например, нейросетевые модели NLP обеспечили возможность выявления неявно выраженных языковых закономерностей представления слов в составе множества различных текстовых конструкций в огромных корпусах текстов. При этом следует учитывать, что несмотря на определенную гибкость для реализации практического решения с использованием нейросетевых моделей в каждом

¹ В настоящее время под NLP понимается общее направление ИИ и математической лингвистики, в рамках которого производится исследование проблем компьютерного анализа и синтеза текстов на ЕЯ. Применительно к ИИ анализ означает понимание языка, а синтез – генерацию грамотного текста.

отдельном случае требуются специально подготовленные обучающие выборки. Полученные модели реализуют строго заданный в этих выборках функционал для конкретных типовых задач. Соответственно в этих моделях не будут выявлены закономерности, связи и признаки, которые не присутствовали в исходных обучающих выборках. Нейросетевые модели неразрывно связаны с постановкой задачи и разметкой в обучающем наборе данных. Для реализации задач другого типа, а также в случае существенного изменения критериев принятия решения для аналогичных задач требуется либо переобучение (дообучение) модели, либо поиск новой преобученной модели. Для решения комплексных задач необходимо создавать новые модели или выстраивать иерархию из существующих моделей и надстройки моделей верхних уровней.

Первоначальное создание моделей (по полному циклу) с характеристиками, приближенными к результатам анализа человеком, требует огромных вычислительных ресурсов, а также – технологий и специализированных компьютерных систем, которые доступны преимущественно таким гигантам в области информационных технологий, как Google и Microsoft, поскольку количество параметров в таких моделях при учете всех необходимых признаков резко возрастает. По оценкам экспертов, при необходимости увеличения параметров признакового пространства в N раз рост вычислительных издержек увеличится в N^4 раз. По этой причине, ввиду значительной ресурсозатратности и высокой стоимости постоянного дообучения и эксплуатации систем, некоторые компании вынуждены отказываться от использования нейросетей, несмотря на то, что использование подобных систем более эффективно для решения ряда целевых задач.

Несмотря на очевидные успехи реализации отдельных видов типовых задач с применением нейросетевых технологий и большое число доступных программных решений, необходимо отметить, что особенностью этих технологий является невозможность прослеживания причинно-следственных связей в процессе сквозной обработки текстов при их реализации в технологиях смысловой обработки потоков текстовых/речевых данных, т.е. фактически нейросетевые технологии предполагают использование «интеллектуального черного ящика»¹. Именно это обстоятельство может стать серьезным препятствием при их применении в задачах принятия стратегических решений, которые требуют полного понимания и обоснованности результатов на всех этапах смыслового анализа.

Как было выше сказано, стремление разработчиков нейросетевых технологий NLP к получению результатов АОТ с более высокой точностью часто требует создания моделей с большей глубиной нейросети (большим числом промежуточных слоев). Такое повышение вычислительной точности также не повышает обоснованность и проверяемость результатов обработки, так как не изменяется общий принцип сквозной обработки «end-to-end», не позволяющий обеспечить получение данных объективного контроля процессов принятия решений в «черном ящике» нейросети.

Большое количество доступных открытых технологических решений, построенных на технологиях нейросетевых NLP, обусловило их широкое применение в задачах интеллектуальной обработки данных и породило иллюзию возможности с помощью этих технологий решить проблему моделирования мыслительной деятельности человека. Но при этом необходимо учесть, что когнитивная деятельность человека гораздо сложнее и многообразнее и она ни в коей мере не сводится к текстовому представлению ЕЯ. Текстовое представление ЕЯ в большей степени ориентировано на его поверхностное представление и слабо затрагивает его глубинные семантические уровни, связанные с мыслительной деятельностью человека, оперирующего в процессе этой деятельности с огромным числом накопленных в течение всей его жизни и профессионального обучения мыслительных образов и их сложнейших ассоциативных взаимосвязей. Также необходимо учитывать, что огромный пласт этой информации находится в зоне пресуппозиций и недоступен на поверхностном уровне ЕЯ.

3. Фразеологический концептуальный анализ текстов

Основные положения теории *фразеологического концептуального анализа текстов* (ФКАТ) были разработаны проф. Г.Г.Белоноговым в 50–70-х годах прошлого столетия в 27 ЦНИИ МО СССР. Эти положения базируются на современных теоретических представлениях о смысловой структуре языка и речи. Теоретические представления показывают, что в языке объективно существует *иерархия смысловых единиц* и в ряде случаев смысловое содержание вышестоящих единиц смысла не всегда сводимо к смыслу составляющих его нижестоящих единиц. Фразеологические понятия являются наиболее устойчивыми единицами смысла. Они также являются теми базовыми строительными блоками, на основе которых формируются смысловые единицы более высоких уровней – предложения, сверхфразовые единства и тексты [7].

Нужно отметить, что в рамках теоретической концепции фразеологического концептуального анализа текстов предполагается, что *устная и письменная речь имеет линейную структуру и состоит из ряда дискретных элементов – единиц смысла, в результате восприятия которых человеком в его сознании формируется некий целостный мыслительный образ. При этом в качестве еди-*

¹ В настоящее время разработаны технологии частичного раскрытия содержания «черного ящика», но эти технологии требуют дополнительных ресурсоемких затрат, что также в полной мере не решает эту задачу.

ниц смысла в линейной структуре текста могут выступать единицы различного уровня: слова, словосочетания, фразы, сверхфразовые единства. Минимальной единицей, обозначающей понятие, является слово, но большинство понятий обозначается устойчивыми словосочетаниями и фразами [8]. Поэтому для реализации процедур автоматической обработки текстов необходимо иметь механизмы работы с этими единицами смысла, наиболее устойчивыми из которых являются слова и словосочетания, выражающие понятия. Особенно важно иметь эффективные механизмы извлечения таких словосочетаний из текстов. Сложность задачи заключается в том, что в текстах такие словосочетания формально не обозначены и только человек – специалист в данной предметной области, обладающий всей системой знаний об этой предметной области, может выделять и идентифицировать *фразеологические и терминологические словосочетания-понятия* [9].

Следующей не менее важной единицей смысла является предложение. Основной чертой предложений является их предикативность – то есть свойство утверждения наличия у объектов определенных признаков и отношений. Свойством предикативности обладают и высказывания, формулируемые на формализованных языках. Это позволяет сделать вывод, что в основе и предложений на ЕЯ, и формализованных логических высказываний лежит предикатно-актантная структура, компонентами которой являются понятия-предикаты (признаки и отношения) и понятия-актанты, выступающие в роли описываемых объектов [7].

В ЕЯ предикатно-актантные структуры являются теми смысловыми инвариантами, которые позволяют осуществлять автоматическое преобразование текста на ЕЯ к его формализованному представлению, обеспечивая возможность выявления формализованного смыслового содержания текста в виде фразеологических и терминологических конструкций и предикатно-актантной структуры.

В рамках этой теории была разработана уникальная машинная грамматика, базирующаяся на системе *флективных классов русского языка* и ориентированная на широкое применение принципов *лингвистической аналогии*¹ при реализации процедур морфологического анализа [10]. Заложенное в модели флективных классов слов русского языка жесткое соответствие между формой представления слов и их грамматической информацией позволило создать на этой основе новые классы – *классы слов, имеющие одинаковые наборы грамматических признаков, соответствующие их формам представления в сходных контекстных окружениях* [11].

4. Гибридные технологии смысловой обработки текста

Анализ смыслового содержания текстов часто ориентирован на решение когнитивных или интеллектуальных задач, с которыми сейчас хорошо справляется только человек – специалист соответствующей квалификации. Этот класс задач невозможно выполнить автоматически, без привлечения механизмов моделирования мыслительной деятельности человека, т. е. методов ИИ. Для этого нужно выяснить, насколько каждый из рассмотренных подходов способен решать эти задачи.

Нейросетевой подход рассматривает ЕЯ как формальную знаковую систему, состоящую из большого числа токенов и их характеристик, механизмов порождения и распознавания «правильно построенных» цепочек токенов текста и конечного множества правил их соотношения.

Одной из особенностей решений с использованием нейросетевых технологий NLP является обучение модели, в значительной степени направленное на решение частных задач и, как следствие, сложность выполнения задач, ориентированных на решение комплексной разноплановой обработки текстов. Для одновременного решения нескольких функциональных задач в одном сквозном процессе разрабатываются новые модели глубокого обучения, например, единая многозадачная модель глубокого обучения, или совместная многозадачная модель верхнего уровня, которые обеспечивают возможность связывания моделей нижнего уровня и уже способны решать одновременно множество задач [5].

В классическом лингвистическом подходе на базе концепции ФКАТ ЕЯ рассматривается как понятийная многоуровневая знаковая система, состоящая из понятий-знаков и средств их связывания в осмысленный текст. Многослойная смысловая модель текста более глубоко (по отношению к модели нейросети) отражает смысловую структуру текста. Но в этом подходе в процессе обучения языковых моделей различных уровней недостаточно используются вычислительные методы и технологии машинного обучения.

Таким образом, очевидно, что каждый из рассмотренных подходов имеет определенные достоинства и недостатки, обусловленные различными подходами к моделированию процессов функционирования ЕЯ. Взаимную компенсацию ряда недостатков этих подходов возможно обеспечить путем создания гибридных систем АОТ, совмещающих модели смыслового представления текста и их машинную (математическую) интерпретацию, а также методы обобщения результатов обработки больших корпусов текстов. Такой гибридный подход позволяет, с одной стороны, дополнить понятийные формальные модели мощным вычислительным аппаратом и технологиями глубокого обучения, с другой стороны, использовать для обучения нейросе-

¹ Под лингвистической аналогией в рамках ФКАТ понимается процесс переноса некоторой системы признаков с одних объектов на другие объекты, которые изначально имеют систему сходных признаков, например, перенос грамматических признаков с одних слов на другие, осуществляется при условии, что конечные буквосочетания этих слов совпадают.

тевых моделей формальное представление текста, дополненное цифровыми понятийными моделями.

Такая интеграция может быть реализована на различных стадиях разработки гибридных систем АОТ как на стадии обучения моделей и подготовки декларативных средств, так и в процессе выполнения технологических операций АОТ в готовом программном продукте.

Для обучения нейросетевых моделей могут использоваться предварительно обработанные в технологическом режиме программными средствами ФКАТ исходные данные (корпуса текстов). Также в свою очередь результаты обработки нейросетевыми программными средствами могут использоваться для настройки декларативных средств ФКАТ.

Также результаты обработки текстов методами ФКАТ на различных стадиях процесса АОТ в готовом программном продукте могут быть использованы как исходные данные для методов, использующих обученные нейросетевые модели. Обобщенные с помощью нейросетевых моделей результаты обработки текстов на различных стадиях процесса АОТ могут, в свою очередь, использоваться в качестве исходных данных для средств ФКАТ на последующих стадиях процесса АОТ.

5. Процесс автоматической обработки текстов

Целевая архитектура современных систем, реализующих задачу АОТ и ориентированная на реализацию вышеуказанных принципов, состоит из нескольких базовых компонентов: модуля токенизации текстов, модуля морфологического и постморфологического анализа, модуля семантико-синтаксического анализа, модуля концептуального анализа, модуля формирования многослойной модели метаданных текста, модуля прагматического анализа и прикладных функций. Такая архитектура системы обеспечивает оптимальную реализацию процесса АОТ при его анализе и формализации смыслового содержания текстовой информации. Используемая формальная модель метаданных реализует возможность смыслового связывания системы понятий и их отношений в единое целое в пределах всего текста.

Реализация подхода ФКАТ так же, как и нейросетевого подхода NLP основана на предобученных языковых моделях. Отличием этих моделей является только то, что нейросетевые модели базируются на представлении текста в виде формальной знаковой модели, состоящей из бесконечного числа токенов и неограниченного числа их характеристик, в основе которой заложены «вычислительные» модели текста, в отличие глубинного семантического (смыслового) представления текста в виде моделей «Смысл \Leftrightarrow Текст» или формальной (смысловой) модели метаданных ФКАТ. Между тем, ЕЯ, являясь инструментом мышления человека, выражает, прежде всего, понятийную систему, не всегда полностью отображающуюся на его поверхностном уровне. Именно понятийная составляющая лежит в основе ЕЯ.

Система АОТ в процессе многоступенчатой обработки исходного текста формирует ряд моделей различных уровней иерархии: графематическую и морфологическую модель слов (токенов) текста, семантико-синтаксическую модель предложений текста, концептуальную модель системы понятий текста и их отношений. Вся совокупность моделей аккумулируется в многослойной модели метаданных текста.

Процесс АОТ можно условно разделить на следующие частные технологические процессы:

1. Процесс формирования *графематической модели* реализует структурирование символического представления текста в последовательность текстовых информационных объектов – токенов. Этот процесс включает два этапа: этап сегментирования однородных последовательностей символов и этап токенизации (сборка токенов из контактно расположенных и позиционно связанных сегментов).

2. Процесс построения *морфологической модели* слов текста реализует назначение грамматических и семантических характеристик слова вне зависимости от его контекстного окружения. Этот процесс обеспечивается предобученной морфологической языковой моделью (комплексом декларативных (словарных) языковых средств).

3. Процесс формирования обобщенной *семантико-синтаксической модели* реализует извлечение и классификацию синтаксических конструкций предложения, а также устанавливает их роль в предложении и определяет их структуру. При выполнении этих задач механизмами анализа контекстного окружения токенов выявляется смысловой каркас предложения и устанавливаются отношения между его элементами. Результатом обработки предложений является формирование нескольких логически связанных формальных представлений: в виде смыслового каркаса («скелета») предложения, в виде *предикатно-актантной структуры* и в виде совокупности *центроидно-контекстных моделей* главных членов предложения. Все эти представления синтаксических структур предложения могут быть трансформированы в обобщенную аналитическую модель (ОАМ) предложения, представляющую собой двухмерную матрицу, в которой позициям токенов предложения соответствуют их расширенные цифровые модели [11].

4. Процесс формирования концептуальной формальной модели текста реализует выявление текстовой системы понятий и их взаимосвязей, их унификацию и формирование *смысловой структуры текста*. Также в рамках этой модели устанавливаются *парадигматические и синтагматические* связи между понятиями. Все полученные в рамках этой модели смысловые характеристики понятий текста преобразуются в цифровой вид.

5. На конечном этапе формализации текста в процессе АОТ грамматические, синтаксические и семантические характеристики всей иерархии моделей исходного текста преобразуются в многослойную *формализованную модель метаданных* (ФММ) текста.

Нужно отметить, что в результате поэтапной обработки текста процесса АОТ символьная последовательность текста преобразуется в его цифровое представление – иерархическую формальную модель метаданных. При этом для обеспечения рубежного контроля на каждой стадии АОТ возможно преобразование цифрового машинного представления элементов формальной модели к человекочитаемому виду, обеспечивающему возможность экспертной оценки итоговых и промежуточных результатов АОТ.

Морфологическая модель слова представляет собой упорядоченную структуру характеристик слова (токена). Состав характеристик имеет различную природу и четкое распределение между грамматическими и семантическими признаками слов. В модели также обозначены их словообразующие и формообразующие характеристики, а также определен набор формальных характеристик, отображающих смысл слов и характеристики их конкретных форм [10]. Семантико-синтаксическая модель предложения также представляет собой матрицу характеристик входящих в него токенов, содержащую унифицированные центроидно-контекстные модели синтаксических конструкций предложения [11]. Концептуальная (понятийная) модель текста связывает воедино смысл входящих в состав текста сверхфразовых единств¹. Формализованная модель метаданных сводит воедино все уровни формального представления текста – в виде уровней текстовой структуры документа и в виде иерархической понятийной структуры документа.

Процессы обучения моделей целевого языка полностью разделены и могут выполняться независимо. Единственным условием для обучения моделей каждого уровня является достаточная степень обученности каждой нижестоящей модели, на основе которой должно производиться обучение вышестоящей модели. Каждая из этих моделей обучается в рамках технологий *автоматизированной словарной службы* (АСС) на базе унифицированных моделей машинных грамматик.

В основу обучения моделей положен *принцип лингвистической аналогии*, позволяющий выявить закономерности извлечения характеристик языковой многоуровневой модели и перенести их на всю исследуемую совокупность объектов ЕЯ.

Участие лингвистов в процессе обучения требуется в минимальной степени только на его завершающем этапе. Вся «черновая» работа по предобучению моделей производится в полностью автоматическом режиме. Для обучения моделей возможно использования размеченных текстов, изначально предназначенных для обучения моделей NLP. Результатом обучения языковых моделей является *комплекс декларативных средств* для целевого языка. Этот комплекс может быть представлен как в цифровом, так и в текстовом представлении.

Необходимо отметить, что задачи, решаемые в рамках базовых процессов АОТ, в значительной части аналогичных систем совпадают, однако подходы, методы и модели, положенные в их основу, а также технологические решения кардинально отличаются. Поэтому кратко рассмотрим модели представления данных, положенные в основу базовых процедур АОТ на принципах ФКАТ.

6. Модели представления данных процесса АОТ

6.1. Графематический анализ текстов

В процессе графематического анализа (ГА) осуществляется преобразование символьного представления текста в последовательность текстовых объектов (токенов) и назначения им графематических классов. В качестве отдельных токенов в тексте выступают слова, числа и знаки, буквенно-цифровые последовательности и цифровые последовательности, разделенные знаками.

Исходными данными является множество $Chars = \{x_i | x_i \in Text\}$ различных символов x_i текста $Text$, i – порядковый номер символа в тексте, другими словами, множество $Chars$ является символьным представлением текста. Различимым символом можно считать букву, цифру, знак препинания или пунктуации, специальный символ, пробел и т. д. Множество $Chars$ является подмножеством универсального множества U символов «Юникод»

$$U = \{uni_v\}, v = 1, \dots, w, \quad (1)$$

где uni_v – символ таблицы «Юникод», w – количество символов этой таблицы.

Сегментация

Для того чтобы иметь возможность анализировать текст, его необходимо определенным образом подготовить. Существует дискретная функция

¹Под сверхфразовым единством (СЕ) понимается совокупность контактно-расположенных предложений, объединенных общей темой. Обычно в текстах СЕ представлены в виде абзацев или в структурированном тексте в виде отдельных параграфов.

$$CharClass:Chars \rightarrow Cls, \quad (2)$$

с помощью которой сопоставляются символы текста, выступающие в роли аргументов функции, и соответствующие им графематические классы – значения функции, представляющие собой элементы множества Cls

$$Cls = \{L, l, K, k, D, \dots\}. \quad (3)$$

Примеры графематических классов и их обозначений показаны в табл. 1.

Таблица 1

Графематические классы символов в ЛП	
Обозначение графем. класса	Графематический класс символа
L	Латиница (uppercase)
l	Латиница (lowercase)
U	Расширенная и дополнительная латиница (uppercase)
u	Расширенная и дополнительная латиница (lowercase)
K	Кириллица (uppercase)
k	Кириллица (lowercase)
E	Расширенная кириллица (uppercase)
...	...

После классификации каждый элементарный символ заменяется на символ соответствующего ему графематического класса, после чего элементарные символы, графематические классы которых однородны, объединяются в сегменты. Под *однородностью* графематических классов нужно понимать возможность их сочетания в одном сегменте (настраиваемый параметр). Например, однородными классами можно считать L и l (основная латиница), K и k (кириллица), G и g (греческий). Существует функция $CheckHg$, с помощью которой осуществляется проверка на однородность

$$CheckHg(CharClass(x_i), CharClass(x_j)) = \begin{cases} 1, & \text{если } x_i \text{ и } x_j \text{ однородны;} \\ 0, & \text{если } x_i \text{ и } x_j \text{ неоднородны} \end{cases} \quad (4)$$

Формирование сегмента осуществляется следующим образом. Пусть элемент $x_j \in Chars$ входит в сегмент $segm_i$, т.е. $segm_i = \{\dots, x_j\}$, тогда если

$$segm_i = \begin{cases} segm_i \cup \{x_{j+1}\}, & CheckHg(CharClass(x_j), CharClass(x_{j+1})) = 1, \\ segm_i, & CheckHg(CharClass(x_j), CharClass(x_{j+1})) = 0, \end{cases} \quad (5)$$

В первом случае процесс продолжается для $segm_i$ и x_{j+2} , во втором случае $segm_{i+1} = \{x_{j+1}\}$ и процесс продолжается для $segm_{i+1}$ и x_{j+2} .

Формально-логический контроль и подстановки

Для каждого сегмента $segm_i$ применяется функция $fRef$, приводящая $segm_i$ к эталонному значению $r.segm_i$, посредством замены букв «ё» на «е», а омогифов (букв, имеющих совпадающее написание в разных алфавитах) – на буквы «родного» алфавита:

$$fRef(segm_i) = r.segm_i. \quad (6)$$

Далее с помощью функции $fLen$ для каждого сегмента вычисляется его длина

$$fLen(segm_i) = s_i. \quad (7)$$

где s_i – количество символов в сегменте.

Токенизация

Роль токенизации заключается в объединении элементарных сегментов текста в составные – токены. Необходимость «склеивания» элементарных сегментов обусловлена наличием слов, содержащих в своем составе цифры, дефисы, специальные символы и т.д. Например: «вице-президент», «Д'Артаньян», «#Москва», «Яндекс.Карты», «postbox@mail.ru», «09:30», «10.02.2010». Без токенизации подобные слова распадутся на части, вследствие чего смысл текста может быть искажен, а значит, повысится вероятность появления ошибок в его дальнейшем анализе.

Каждый сегмент $segm_i$ можно описать простейшей формулой на основе его графематического класса и длины (по следующему принципу: «одна буква», «две цифры», «один дефис», «много букв», «одна точ-

ка», «много цифр» и т.п.). Тогда всю конструкцию можно описать составной формулой всех ее сегментов. Например: формула «много букв, один дефис, много букв» (9L 1-9L) – соответствует словам вида «вице-президент»; формула «две цифры, одна точка, две цифры, одна точка, четыре цифры» (2D 1. 2D 1. 4D) – соответствует цифровому формату даты «12.07.2012».

По первому символу класса сегмента $r.segm_i = \{x_1^i, x_2^i, \dots, x_{s_i}^i\}$ (здесь верхний индекс означает, что этот символ находится в i -м сегменте, нижний индекс – порядковый номер символа в сегменте, s_i – количество символов в сегменте) и по его длине можно получить формулу сегмента по таблице диапазонов длин строк графематических классов символов. Формула сегмента получается с помощью функции $fForm$

$$fForm: Segms \rightarrow Forms, \quad (8)$$

где $Segms = \{r.segm_i\}_{i=1}^s$ – множество сегментов, $Forms$ – множество форм. В табл. 2 диапазонов длин строк графематических классов символов для каждого класса определены диапазоны длин подстрок, играющих разные роли в шаблонах. В предпоследнем столбце можно видеть элементы множества $Forms$.

Таблица 2

Фрагмент «Таблицы диапазонов длин строк графематических классов символов»

Графематический класс	Диапазон длин строк (в символах)		Формула последовательности	Символ формулы
D	1	1	1D	D
D	2	2	2D	D
D	3	3	3D	D
D	4	4	4D	D
D	5	9999	9D	D
N	1	1	1N	N
N	2	9999	9N	N
...				
L	1	1	1L	L
L	2	9999	9L	L
l	1	1	1L	L
l	2	9999	9L	L
K	1	1	1L	L
K	2	9999	9L	L
k	1	1	1L	L
k	2	9999	9L	L
...				
,	1	9999	1,	,
;	1	9999	1;	;
.	1	1	1.	.
.	2	2	2.	.
.	3	3	3.	.
.	4	9999	9Z	Z
-	1	2	1-	-
-	3	9999	9Z	Z
*	1	3	1*	*
*	4	9999	9Z	Z
...				
t	1	9999	9Z	Z
(пробел)	1	1	1Z	Z
(пробел)	2	9999	9Z	Z
z	1	9999	9Z	Z
Z	1	9999	9Z	Z
...				

Полученная последовательность сегментов $\{r.segm_i\}_{i=1}^S$ разбивается на фрагменты (будущие токены) $\{pretoken_i\}_{i=1}^k$ с помощью функции *Frag*:

$$Frag: Segms \rightarrow \{pretoken_i\}_{i=1}^k. \quad (9)$$

Разбиение на фрагменты меняется: перебираются все возможные варианты по следующему правилу:

$$\begin{aligned} S_1 &= \{[r.segm_1, \dots, r.segm_{N_{max}}], [r.r.segm_1, \dots, r.segm_{N_{max}-1}], \dots, [r.segm_1]\}; \\ S_2 &= \{[r.segm_2, \dots, r.segm_{N_{max}}], [r.segm_2, \dots, r.segm_{N_{max}-1}], \dots, [r.segm_2]\}; \\ &\dots \\ S_{N_{max}-1} &= \{[r.segm_{N_{max}-1}, r.segm_{N_{max}}]\}; \\ S_{N_{max}} &= \{[r.segm_{N_{max}}]\}. \end{aligned} \quad (10)$$

Здесь $pretoken_i = [\cdot]$, N_{max} – заранее заданное максимальное число сегментов в токене, S_i – последовательность из фрагментов.

Далее для элементов последовательности S_1 ищется составная формула с помощью формулы *fFCF*

$$fFCF: \{pretoken_i\}_{i=1}^k \rightarrow ComplexForms. \quad (11)$$

Здесь *ComplexForms* – множество составных формул, примеры элементов этого множества можно видеть в первом столбце табл. 3. Составная формула, полученная для фрагмента $[r.segm_1, \dots, r.segm_{N_{max}}]$, сравнивается с составными формулами из словаря шаблонов, составленного вручную с учетом специфики конкретного текста (пример такого словаря представлен в табл. 3). Если в словаре находится такая составная формула, то этот фрагмент становится первым токеном

$$token_1 = \{r.segm_1, r.segm_2, \dots, r.segm_{N_{max}}\}, \quad (12)$$

иначе процедура повторяется для $[r.segm_1, \dots, r.segm_{N_{max}-1}]$ и т.д., пока составная формула некоторого фрагмента последовательности S_1 не совпадет с составной формулой из словаря шаблонов (для фрагмента, состоящего из одного сегмента, всегда найдется составная формула). Пусть составная формула фрагмента $[r.segm_1, \dots, r.segm_p]$ первой нашлась в словаре шаблонов, тогда

$$token_1 = \{r.segm_1, r.segm_2, \dots, r.segm_p\}. \quad (13)$$

Первый токен найден. Второй же токен ищется уже не среди элементов последовательности S_1 и не среди элементов последовательности S_2 , а среди элементов последовательности S_{p+1} . Для последовательности S_{p+1} проводится аналогичная процедура поиска $token_2$.

Таблица 3

Пример словаря формул составных сегментов

Формула составного сегмента	Тип токена	Класс токена (в пределах типа)	Примечание (тип + класс)
9L1-9L	Word	2	Сложносоставное слово
2D1.2D1.4D	Number	12	Цифровой формат даты
1D	Number	0	Цифра
2D	Number	1	Положительн. число без разделителя разрядов
3D	Number	1	Положительн. число без разделителя разрядов
4D	Number	1	Положительн. число без разделителя разрядов
9D	Number	1	Положительн. число без разделителя разрядов
1L	Word	0	Буква
9L	Word	1	Простое слово
1-	Punct	0	Знак препинания
9-	Delimiter	0	Пробельный делимитер (не токен!)
1,	Punct	0	Знак препинания
1Z	Delimiter	0	Пробельный делимитер (не токен!)
9Z	Delimiter	0	Пробельный делимитер (не токен!)

Вышеописанная процедура повторяется до тех пор, пока последовательности S_i не закончатся. В результате получается текст, представленный в виде токенов

$$\text{Text} = \{\text{token}_1, \text{token}_2, \dots, \text{token}_t\}. \quad (14)$$

Здесь t – количество токенов в тексте.

6.2. Морфологический анализ

В процессе морфологического анализа (МА) выполняется определение структуры слов и назначения им наборов грамматических и семантических характеристик. Под грамматическими характеристиками понимаются признаки структуры и формы слова, также такие базовые характеристики, как грамматический и флективный класс слова, характеристики склонения и спряжения слов, полная или краткая форма и т. д. Под семантическими характеристиками понимаются признаки, характеризующие слова как текстовые информационные объекты с определенными свойствами, такими как принадлежность к фамильно-именной группе, должность, профессия, одушевленность, принадлежность к географическим объектам и др.

Модель морфологического внеконтекстного анализа текстов обеспечивает возможность автоматического назначения наборов грамматических и семантических характеристик точными и предиктивными методами. Точные методы базировались на соотношении буквенного кода текстовых слов и слов морфологических словарей с назначенной информацией. Предиктивные методы обеспечивали только назначение грамматических характеристик словам, имеющим регулярную систему словоизменения и словообразования по методу лингвистической аналогии. Семантические признаки назначаются по их формальным формам по словарю семантических характеристик слов русского языка.

Процесс обработки словоформы посредством МА может быть представлен в виде блок-схемы (см. рис. 1):

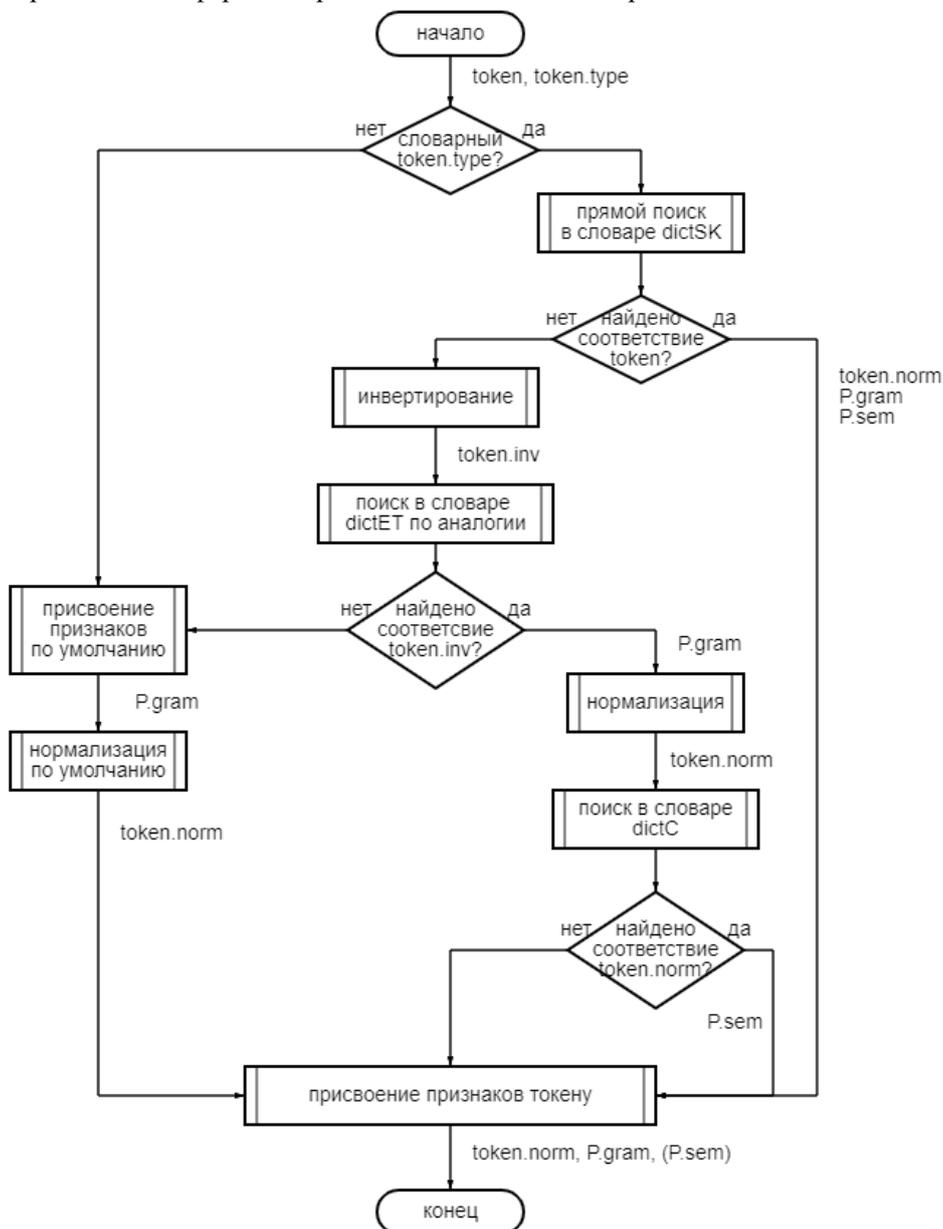


Рис. 1. Блок-схема морфологического анализа

Здесь $token$ – словоформа (буквенный код); $token.norm$ – нормальная форма $token$; $token.type$ – класс токена; словарь $dictSK$ содержит в себе частые словоформы, омонимы с доминантными признаками и слова-исключения; $dictET$ – инвертированный словарь для назначения грамматической информации по аналогии; $dictC$ содержит в себе набор семантических признаков; $P.gram = \{Pg_i\}_{i=1}^{|P.gram|}$ – множество грамматических признаков, $P.sem = \{Ps_i\}_{i=1}^{|P.sem|}$ – семантические признаки; $|\cdot|$ – мощность множества.

Присвоение грамматических и семантических признаков для частых слов и слов-исключений

Словарь частых словоформ и слов-исключений $dictSK$ задан множеством словоформ и соответствующих им признаков

$$dictSK = \{token.s_i\}_{i=1}^S. \quad (15)$$

Существует функция fS

$$fS: dictSK \rightarrow P.sem \cup P.gram. \quad (16)$$

Если поданная на вход функции fS словоформа $token$ содержится в словаре $dictSK$, то выводом функции является набор признаков $\{Pg_i, Ps_i\}$.

Далее словоформа $token.s_i$ подается на вход функции fSN , которая преобразует ее к нормальной форме, используя набор грамматических признаков Pg_i

$$fNS(token.s_i) = token.norm_i, i = 1, \dots, S. \quad (17)$$

Результатом морфологического анализа является нормальная форма исходной словоформы $token.norm_i$ и соответствующий ей набор грамматических и семантических признаков $\{Pg_i, Ps_i\}$.

Присвоение грамматических признаков по аналогии

В случае, если словоформа не найдена в словаре $dictSK$, т. е. не является частой или словом с нерегулярным словоизменением (исключением), $token$ обрабатывается методом лингвистической аналогии при помощи словаря $dictET$, заданного множеством инвертированных словоформ и соответствующих им признаков

$$dictET = \{inv.token_i\}_{i=1}^E. \quad (18)$$

Функция $fE.inv$ инвертирует исходную словоформу $token$ в $inv.token$

$$fE.inv(token) = inv.token, \quad (19)$$

а функция $fE.sort$ реализует поиск минимальных различий между инвертированной словоформой $inv.token$ и словоформами, входящими в словарь $dictET$:

$$fE.sort(inv.token) = \underset{\substack{inv.token_i \in dictET \\ i=1, \dots, E}}{\operatorname{argmin}} fSim(inv.token, inv.token_i). \quad (20)$$

Здесь $fSim(a, b)$ – функция, которая сравнивает два вектора следующим образом

$$fSim(a, b) = i, \text{ если } \forall k \in \{1, \dots, i\} a_k = b_k \text{ и } a_{i+1} \neq b_{i+1}. \quad (21)$$

Если значение $fE.sort$ для $fE.inv(token)$ существует, то срабатывает функция fE , которая присваивает словоформе из словаря $dictET$ набор грамматических признаков

$$fE(fE.sort(inv.token)) = Pg_i. \quad (22)$$

В ином случае набор грамматических признаков присваивается исходя из класса исходного токена $token.type$ с помощью функции $fEdef$

$$fEdef(token.type) = Pg_i. \quad (23)$$

Нормализация

Функция $fN.cut$ приводит исходную словоформу $token$ к нормальной форме $token.norm$, используя грамматическую информацию $P.gram$

$$fN.cut: dictK \cup dictE \xrightarrow{P.gram} dictC. \quad (24)$$

На вход функции поступает флективный класс FK , длина окончания исходной словоформы $OK.length$ (содержащиеся во множестве $P.gram$) и исходная словоформа $token$. В результате получим нормальную форму слова $token.norm_i$.

Назначение семантических признаков

Словарь $dictC$ представлен множеством нормальных форм слов

$$dictC = \{token.norm_i\}_{i=1}^C. \quad (25)$$

Существует функция fC

$$fC: dictC \rightarrow P_{sem}, \quad (26)$$

результатом которой является множество семантических признаков Ps_i для нормальной формы слова $token.norm_i$ (соответствующей исходной словоформе $token$), если $token.norm_i$ содержится в словаре $dictC$.

Эти семантические признаки (если они были получены), полученные ранее грамматические признаки и нормальная форма слова являются результатом морфологического анализа.

6.3. Семантико-синтаксический анализ

В процессе семантико-синтаксического анализа (ССА) реализуется формирование семантико-синтаксической структуры предложения в виде обобщенной аналитической модели и ряда обеспечивающих моделей: модели грамматических классов слов, модели дерева зависимостей, модели каркаса предложения, модели членов предложения, модели предикатно-актантной структуры предложения и др. Эти модели опираются на формализованное представление текстовой структуры предложения, к которым можно отнести позиционный порядок следования слов и их грамматические формы, а также порядок расстановки знаков препинания и их роль в пределах предложения. К смысловой структуре нужно отнести различные отображения смысловой структуры синтаксических конструкций предложения. Одним из таких отображений являются предикатно-актантная структура (ПАС) предложения. В связи с этим основной задачей ССА при установлении смысловой структуры текстов является выявление синтаксических конструкций, определение элементов ПАС и их отношений. При этом в процессе ССА важную роль должны играть модели, устанавливающие синтаксические и семантические свойства выявленных конструкций предложений. Все модели должны опираться как на иерархию текстовых представлений синтаксических конструкций, так и на контекстные окружения их опорных элементов. В качестве основных обеспечивающих моделей предложения могут быть следующие:

модель грамматических классов слов (ГКС) предложения представляет вектор грамматических классов, дополненный рядом характеристик слов: длина грамматического окончания, номер флективного класса, набор грамматических признаков слова (род, число, падеж, лицо), обобщенная грамматическая синтагма и др., с указанием их позиций в предложении;

модель дерева зависимостей представлена в виде бинарных связей между словами предложения с указанием их позиций в предложении;

модель каркаса предложения представлена в виде главных слов словосочетаний и их синтагматических связей с указанием их позиций в предложении;

модель членов предложения представлена в виде главных и второстепенных членов предложения с указанием их позиций в предложении;

модель предикатно-актантной структуры (ПАС) предложения, представлена в виде предикат–субъект–объект с указанием их позиций в предложении;

центроидно-контекстная модель представляет собой инструмент однозначного разрешения неоднозначной текстовой ситуации.

На вход ССА подается последовательность слов, которая входит в состав предложения. Слово имеет набор информации, полученной на этапе МА. В процессе ССА строится модель ГКС, происходит деление на простые предложения, выделяются именные и глагольные словосочетания и главные слова в них, а также строится модель ПАС.

Центроидно-контекстная модель (ЦКМ)

На вход ЦКМ подается упорядоченное множество объектов $Sem = \{s_i\}_{i=1}^n$. Каждому объекту множества (синтагме) Sem ставится в соответствие элемент упорядоченного множества $Pr = \{p_i\}_{i=1}^n, s_i \leftrightarrow p_j$, где p_j – модель признаков элемента s_i .

Задается радиус r , выбирается целевой токен (центроид) s_k , составляется позиционная модель, которая задается упорядоченной последовательностью

$$PM = \{P_1, \dots, P_{nk}, s_k, s_{k+1}, s_{k-1}, s_{k+2}, s_{k-2}, \dots, s_{k+r}, s_{k-r}\}, \quad (27)$$

где $\{P_1, \dots, P_{nk}\}$ – множество дополнительных заранее заданных элементов каркаса; nk – количество элементов в каркасе. Если множество элементов каркаса не пусто, то ЦКМ называется каркасной.

К упорядоченной последовательности PM применяется вектор-функция fPR , которая каждому токenu из PM ставит в соответствие признаки из множества Pr

$$fPR(s_i) = \begin{cases} p_i, s_i \in Sem; \\ p_0, s_i \notin Sem, \end{cases} \quad (28)$$

где p_0 – фиктивный признак фиктивного элемента.

В результате применения функции получается упорядоченная последовательность моделей признаков

$$fPR(PM) = PMp = \{p_k, p_{k+1}, p_{k-1}, p_{k+2}, p_{k-2}, \dots, p_{k+r}, p_{k-r}\}. \quad (29)$$

Пусть существует функция $fSim(similar function)$, которая проверяет, насколько два вектора схожи между собой

$$fSim(a, b) = i, \text{ если } \forall k \in \{1, \dots, i\} a_k = b_k \text{ и } a_{i+1} \neq b_{i+1}. \quad (30)$$

Задается порог совпадения начальной части модели bv и во множестве MOD шаблонов синтагм ЦКМ из словаря шаблонов ищется наиболее схожая структура, наиболее схожая в смысле максимума процента покрытия $CovPer$

$$\begin{aligned} PMpMod &= \operatorname{argmax}_{m \in MOD} CovPer(PMp, m) = \\ &= \begin{cases} 0\%, fSim(PMp, m) < bv \\ \left(\frac{fSim(PMp, m) - fHam(PMp, m)}{l} + 1 \right) \cdot 50\%, fSim(PMp, m) \geq bv', \end{cases} \end{aligned} \quad (31)$$

где $fHam(\cdot, \cdot)$ – функция, которая считает расстояние Хемминга (количество не совпавших элементов); l – количество элементов синтагмы. Для обычной модели $PM l=2r+1$, для каркасной модели $PM l>2r+1$.

Множество MOD содержит в себе шаблоны синтагм ЦКМ из словаря шаблонов синтагм. Каждый элемент $m \in MOD$ имеет признак, который принимает значение 0 или 1.

Пусть функция $fTakePR$ – функция взятия признака элемента $m \in MOD$.

В результате ЦКМ содержится ответ на вопрос: «Является ли проверяемая структура той структурой, на соответствие которой она проверяется или нет?» Если значение функции $fTakePR(PMpMod)$ равно 1 то проверяемая структура является той структурой, на соответствие которой она проверяется, если значение этой функции равно нулю, то не является.

Деление на предложения

В модели деления на предложения проверяется, является ли конкретный токен из последовательности $Sem = \{s_i\}_{i=1}^n$ делителем на предложения. Для этой проверки используется модель ЦКМ. В роли последовательности $Sem = \{s_i\}_{i=1}^n$ выступает текст, разбитый на токены, радиус $r=5$, во множестве признаков содержится графематический класс токенов $Pr = \{GF\}$. В качестве множества MOD выступает словарь синтагм для деления на предложения.

Модель последовательности грамматических классов слов (ГКС)

На вход подается предложение. Предложение представляет собой последовательность токенов $Sem = \{s_i\}_{i=1}^n$. У каждого слова имеется грамматическая признак, который содержится во множестве GK

$$GK = \{N, A, F, V, W, I, L, O, O, i, g, m, s, k, l, \&, \dots\}.$$

Имеется функция fGK , которая каждому слову в предложении присваивает грамматическую информацию, полученную на этапе МА:

$$fGK(Sem) = \begin{pmatrix} fGK(token_0) \\ \dots \\ fGK(token_n) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} gk_0 \\ \dots \\ gk_n \end{pmatrix}, gk_i \in GK, i = 0, \dots, n. \quad (32)$$

Деление на простые предложения

В модели деления на простые предложения проверяется, является ли конкретный токен из последовательности $Sem = \{s_i\}_{i=0}^n$ делителем на простые предложения («,» или сочинительный союз). Для этой проверки используется модель ЦКМ. В роли последовательности $Sem = \{s_i\}_{i=0}^n$ выступает предложение, радиус $r=5$, во множестве признаков содержится грамматическая информация $Pr = \{GK\}$. В качестве множества MOD выступает словарь синтагм деления на простые предложения.

Модель глагольных словосочетаний

Имеется вектор-функция $fVWC$ (*function Verb Word Combination*), которая составляет глагольные словосо-

четания по грамматической информации GK

$$fVWC(fGK(Sen)) = \{verb. word. comb_i\}_{i=1}^{k_v}. \quad (33)$$

Имеется функция $fVWC(VWC)$, которая определяет главные слова и связи в глагольных словосочетаниях

$$fMWV(VWC) = \begin{pmatrix} fMWV(verb. word. comb_1) \\ \dots \\ fMWV(verb. word. comb_{k_n}) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} MWCV_1 \\ \dots \\ MWCV_{k_v} \end{pmatrix}, \quad (34)$$

где $MWCV_i$ – главные слова и связи. Множество $VWC = \{V, k, L, I, Y, n\}$ упорядочено по приоритету поиска, и функция $fMWV(VWC)$ ищет главное слово следующим образом: если есть V , то в качестве главного слова берется первое слева V , если V нет, то берется первое слева k и т.д. В глагольной конструкции обязательно должен содержаться один из первых пяти элементов множества VWC , иначе изучаемая конструкция не является глагольной.

Модель именных словосочетаний

Имеется вектор-функция $fNWC$ (*function Noun Word Combination*), которая составляет именные словосочетания по грамматической информации GK

$$fNWC(fGK(Sen)) = \{name. word. comb_i\}_{i=1}^{k_n}. \quad (35)$$

На $name_word_comb_i$ имеются ограничения

$$\begin{cases} name. word. comb_i \in NWC, \\ name. word. comb_{k_n} \neq A, s, k, i, l, \&. \end{cases} \quad (36)$$

Функция $fMWN(NWC)$ определяет главные слова и связи в именных словосочетаниях

$$fMWN(NWC) = \begin{pmatrix} fMWN(name. word. comb_1) \\ \dots \\ fMWN(name. word. comb_{k_n}) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} MWCN_1 \\ \dots \\ MWCN_{k_n} \end{pmatrix}, \quad (37)$$

где $MWCN_i$ – главные слова и связи, $NWC = \{N, A, i, g, m, s, k, e, \theta, o\}$.

Построение вектора потенциальных подлежащих

На потенциальные главные члены предложения наложены ограничения:

у потенциального подлежащего обязательно должен быть именительный падеж; если сказуемое (предикат) выражено L или K , то у него с потенциальным подлежащим (и контекстным окружением) обязательно должны совпадать число и род; если сказуемое (предикат) выражено V , то у него с потенциальным подлежащим (и контекстным окружением) должны совпадать число и лицо.

На вход подается простое предложение, представленное в виде упорядоченной последовательности $Set = \{s_i\}_{i=1}^n$.

Существует функция fSL (*sense link function*), которая проверяет наличие связи между объектами

$$fSL(a, b) = \begin{cases} 0, & \text{если связь отсутствует,} \\ 1, & \text{если связь есть.} \end{cases} \quad (38)$$

По результатам модели глагольных сочетаний выбираем сказуемое s_k , и строим для него вектор потенциальных подлежащих в соответствии со следующей процедурой.

Задаем радиус поиска потенциальных подлежащих r_0 . Для каждого слова, расстояние до которого от s_k меньше r_0 , вычисляем значение функции fSL

$$fSL(s_j, s_k) = q_j, j = k - r_0, k + 1 - r_0, \dots, k - 1, k + 1, \dots, k + r_0. \quad (39)$$

Если $q_j = 1$, добавляем s_j в вектор потенциальных подлежащих, который и является результатом этого процесса

$$PotSub = (o_1, \dots, o_l), l < n. \quad (40)$$

Усеченная модель предикатно-актантной структуры (ПАС)

В этой модели строится усеченная ПАС, то есть среди потенциальных подлежащих для конкретных сказуемых выделяются «настоящие» подлежащие. Для построения усеченной ПАС используется каркасная ЦКМ.

В качестве множества $Sem = \{s_i\}_{i=1}^n$ берется множество сказуемых с соответствующими им потенциальными подлежащими, радиус $r=5$, во множестве признаков содержится информация о флексивном классе FK и грамматическом окончании OK : $Pr = \{OS\}$, в качестве дополнительных элементов каркаса P выступают предикаты (сказуемые). В качестве множества MOD берется словарь определения синтагм подлежащих. В результате получаем все сказуемые с соответствующими им подлежащими.

Составление именных конструкций

Все элементы из вектора потенциальных подлежащих $PotSub = (o_1, \dots, o_l)$, полученного на этапе построения вектора потенциальных подлежащих, признанные подлежащими в усеченной модели ПАС, помечаются маркером S , остальные – маркером O и вносятся в упорядоченное множество именных конструкций $NAME.kons$.

Полная модель предикатно-актантной структуры (ПАС)

На этом этапе проверяется, является ли полученная на предыдущем этапе конструкция именной. Проверка проводится с помощью применения ЦКМ. В качестве множества $Sem = \{s_i\}_{i=1}^n$ берется множество именных конструкций $NAME.kons$, радиус $r=5$, во множестве признаков содержится информация о флексивном классе FK и грамматическом окончании OK : $Pr = \{OS\}$, в качестве дополнительных элементов каркаса P выступают предикаты (сказуемые). В качестве множества MOD берется словарь определения синтагм подлежащих. Модель ПАС примет вид $PSOO$, где O – именные конструкции.

6.4. Концептуальный анализ текстов

В процессе концептуального анализа на основе данных, полученных на этапах МА и ССА, из предложения выделяются смысловые конструкции с помощью *эталонного концептуального словаря* (точный концептуальный анализ) и шаблонов представления текстовой формы словосочетаний – *концептуальных синтагм* (предиктивный концептуальный анализ).

Модель концептуального анализа текстов обеспечивает возможность автоматического выявления понятийного текстового состава точными и предиктивными методами. Точные методы базировались на соотношении буквенного кода нормализованных текстовых конструкций и конструкций эталонного концептуального словаря. Предиктивные методы базировались на соотношении форм представления наименований понятий в анализируемых текстах с формами понятий, представленных в виде модели последовательности обобщенных синтагм на предложения в рамках следующего утверждения: *представление синтаксической структуры текстов в виде последовательности контактно расположенных двухсимвольных элементов обобщенных синтагм, обладающих грамматическими свойствами конкретных слов-эталонов, позволяет фиксировать грамматические и синтаксические свойства различных отрезков реальных текстов, а также дает возможность в ряде задач распознавать аналогичные по заданным свойствам отрезки текстов.*

Модель точного концептуального анализа

На вход точному концептуальному анализу подается предложение в виде множества слов $Pred = \{word_i\}_{i=1}^{|Pred|}$.

Пусть существует функция fN , которая преобразует слово $word_i$ к нормальной форме

$$fNS(word_i) = word.norm_i. \quad (41)$$

Предложение разбивается на фрагменты $\{word.frag.norm_i\}_{i=1}^k$ с помощью функции

$$Frag: Pred \rightarrow \{word.frag.norm_i\}_{i=1}^k, k \geq |Pred|. \quad (42)$$

Разбиение на фрагменты меняется: перебираются все возможные варианты по следующему правилу

$$[word_1, word_2], \dots, [word_1, \dots, word_{|Pred|}], [word_2, word_3], \dots$$

Здесь $word.frag_i = [\cdot]$.

Далее $word.frag_i$ сравниваются с нормализованными понятиями из эталонного концептуального словаря (ЭКС), при совпадении добавляем $word.frag_i$ во множество $CONCEPT = \{concept_i\}_{i=1}^{|Concept|}$.

Модель предиктивного концептуального анализа

Имеется множество шаблонов $TEMP = \{t_i, \dots, t_n\}$, $t_i = \{OS_i, GK_i, GF_i\}$ представления текстовой формы словосочетаний ЭКС (форма каждого слова – 4 симв.: $OS(FK + OK) = 2$ симв., $GK = 1$ симв., $GF = 1$ симв.).

На вход приближенному концептуальному анализу подается предложение в виде множества слов $Pred = \{word_i\}_{i=1}^{|Pred|}$. Каждому $word_i$ ставим в сопоставление набор признаков (определенных на этапе МА)

$$p_i = \{Pb_i, Pa_i\}, \{OS_i, GK_i, GF_i\} \subset Pb_i \cup Pa_i.$$

Полученная синтагма разбивается на фрагменты $\{word.frag_i\}_{i=1}^k$ с помощью функции

$$Frag: Pred \rightarrow \{word.frag_i\}_{i=1}^k, k \geq |Pred| \quad (43)$$

Разбиение на фрагменты меняется: перебираются все возможные варианты по следующему правилу:

$$[word_1, word_2], \dots, [word_1, \dots, word_{|Pred|}], [word_2, word_3], \dots$$

Здесь $word.frag_i = [\cdot]$.

Проверяется вхождение признаков p^i в $TEMP$ для каждого набора фрагментов $word.frag_i$, если $\exists j: p_i = t_j$, то добавляем текстовое представление наименования понятия во множество $CONCEPT = \{concept_i\}_{i=1}^{|CONCEPT|}$. Существует также словарь стоп-слов $STOP = \{stop_i\}_{i=1}^{|STOP|}$ (в нем содержатся служебные слова). Если $concept_i \in STOP$, то это понятие исключается из множества $CONCEPT$:

$$CONCEPT = CONCEPT \setminus \{concept_i\}. \quad (44)$$

6.5. Формализованная модель метаданных

В подходе ФКАТ отображение понятийной составляющей текста заложено в его формализованной модели метаданных (ФММ) (рис. 2), которая представляет собой многослойную структуру иерархии уровней

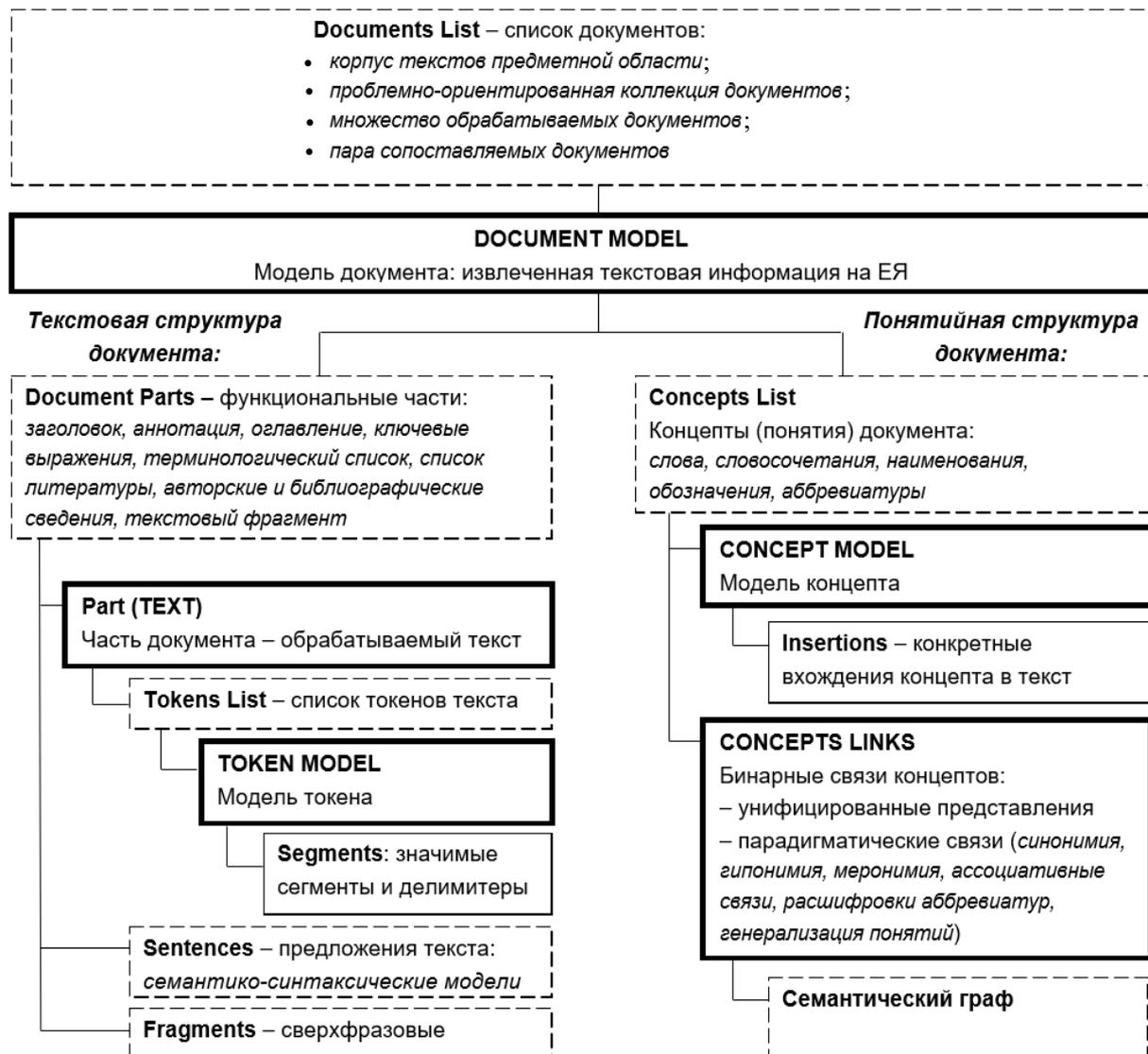


Рис. 2. Формализованная модель метаданных документа

смысловых единиц языка и речи и включает значительное число характеристик. На каждом уровне формирования модели производится выявление ее новых характеристик путем их логического вывода из уже известных характеристик, которые были получены на предыдущих этапах АОТ. Сформированная модель метаданных исходного текста реализует возможность передачи достаточной информации об анализируемом исходном тексте для решения ряда прикладных задач технологий ИИ.

Разработанная авторами статьи многослойная модель представления уровней понятийной структуры документа включает значительное число характеристик, относящихся к различным уровням иерархии текстовой структуры документа, и в значительной степени решает проблему адекватного отображения смысловой структуры текста. [8–11].

7. Интеллектуальный текстовый процессор

Авторы на основе анализа существующих средств смыслового анализа текстовой информации [3] и консультаций с потенциальными заказчиками предложили *концепцию интеллектуального текстового процессора* (ИТП), базирующуюся на теоретической концепции фразеологического анализа текстов. В рамках этой концепции основной задачей ИТП является задача формализации и анализа смысловой структуры текстов, решение которой необходимо для последующего использования в ряде прикладных задач на базе технологий искусственного интеллекта (ТИИ). При разработке ИТП авторы руководствовались следующими основополагающими принципами:

- программно-алгоритмический комплекс ИТП должен базироваться на относительно простых быстросрабатывающих алгоритмах, не требующих специального дорогостоящего оборудования;
- декларативные средства должны быть простые по своей структуре, но обладать большой «интеллектуальной мощностью»¹, позволяющей обрабатывать тексты любой тематической области с высокой степенью глубины их семантической обработки;
- автоматизированные технологии формирования декларативных средств должны обеспечивать выявление фундаментальных закономерностей функционирования ЕЯ в письменной речи и разрабатывать средства разрешения неоднозначных текстовых ситуаций на основе использования принципа лингвистической аналогии;
- структура декларативных средств должна позволять оперативно модернизировать состав лингвистических моделей, расширять их признаковое пространство, а также включать в их состав дополнительные грамматические таблицы и словарные ресурсы;
- программное обеспечение не должно использовать в своем составе сторонние (особенно зарубежные) программные библиотеки, что обеспечит возможность быстрой и малозатратной сертификации ПО для использования в структурах МО РФ;

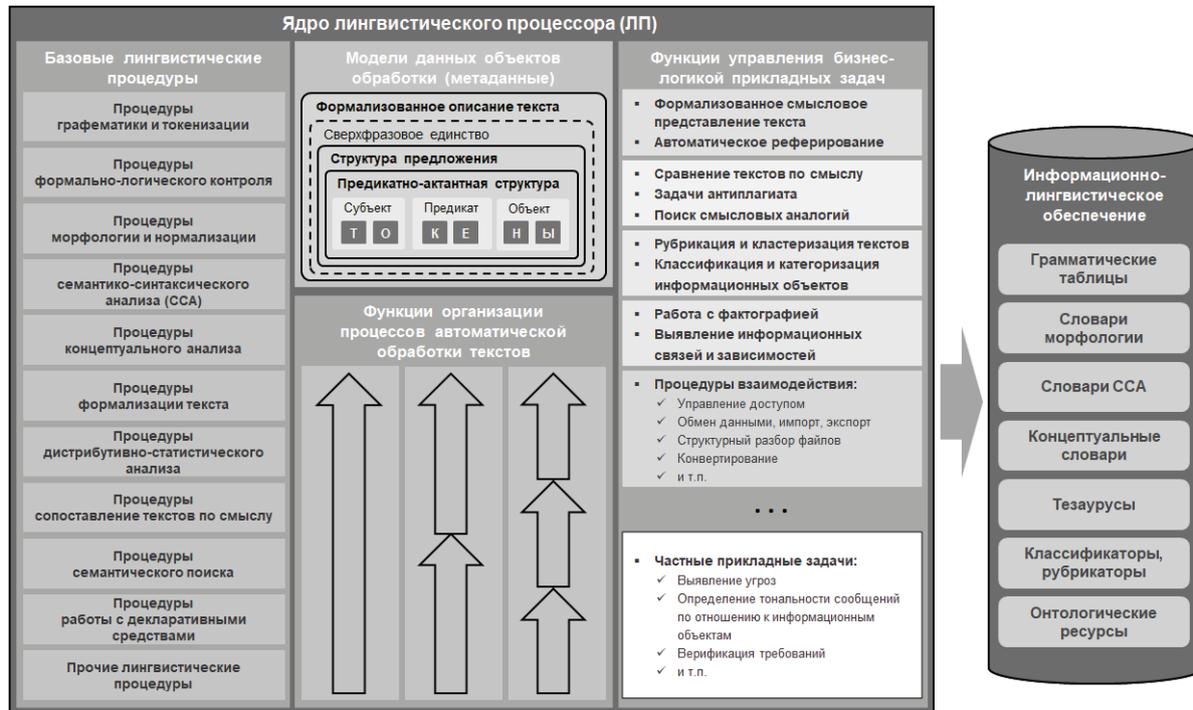


Рис. 3. Функциональная архитектура ядра ИТП

- функциональная архитектура разрабатываемого ИТП, ориентированная на реализацию вышеуказанных принципов, должна состоять из нескольких функциональных модулей (рис. 3):
 - модуля управления процессом АОТ и бизнес-логикой прикладных задач;

¹ Под термином «Интеллектуальная мощность» декларативных средств понимается их способность обеспечить формализацию смыслового содержания научно-технических текстов по любой тематической области. Такая способность обеспечивается автоматизированными технологиями формирования словарей для семантико-синтаксического и концептуального анализа текстов по тематическим корпусам текстов.

- модуля формализации текста и построения его формализованной модели метаданных;
- модуля иерархических текстовых моделей;
- модуля конфигурирования декларативных средств;
- модуля информационно-лингвистического обеспечения.

Модуль управления процессом АОТ и бизнес-логикой прикладных задач должен обеспечить с помощью технологической карты процессов реализацию конкретного процесса АОТ для решения конкретной прикладной задачи.

Модуль формализации текста реализует базовый процесс АОТ в соответствии с картой процесса и обеспечивает построение формализованной модели метаданных текста.

Модуль иерархических текстовых моделей используется при формализации текстовых объектов в процессе АОТ.

Модуль конфигурирования декларативных средств обеспечивает виртуальное формирование многослойной словарной структуры для решения конкретной прикладной задачи.

Модуль информационно-лингвистического обеспечения обеспечивает хранение, ведение словарей в исходных текстовых формах представления и формирование машинных представлений для использования в модулях обработки текстов.

Предлагаемая многомодульная архитектура ИТП (см. рис.4) обеспечивает оптимальную реализацию процесса сквозной обработки всего текста процесса АОТ и обеспечивает возможность выполнения ряда прикладных задач. Разработанная технология сквозной обработки текстов реализует возможность смыслового связывания их системы понятий и формирования формализованной модели метаданных (ФММ) текста.

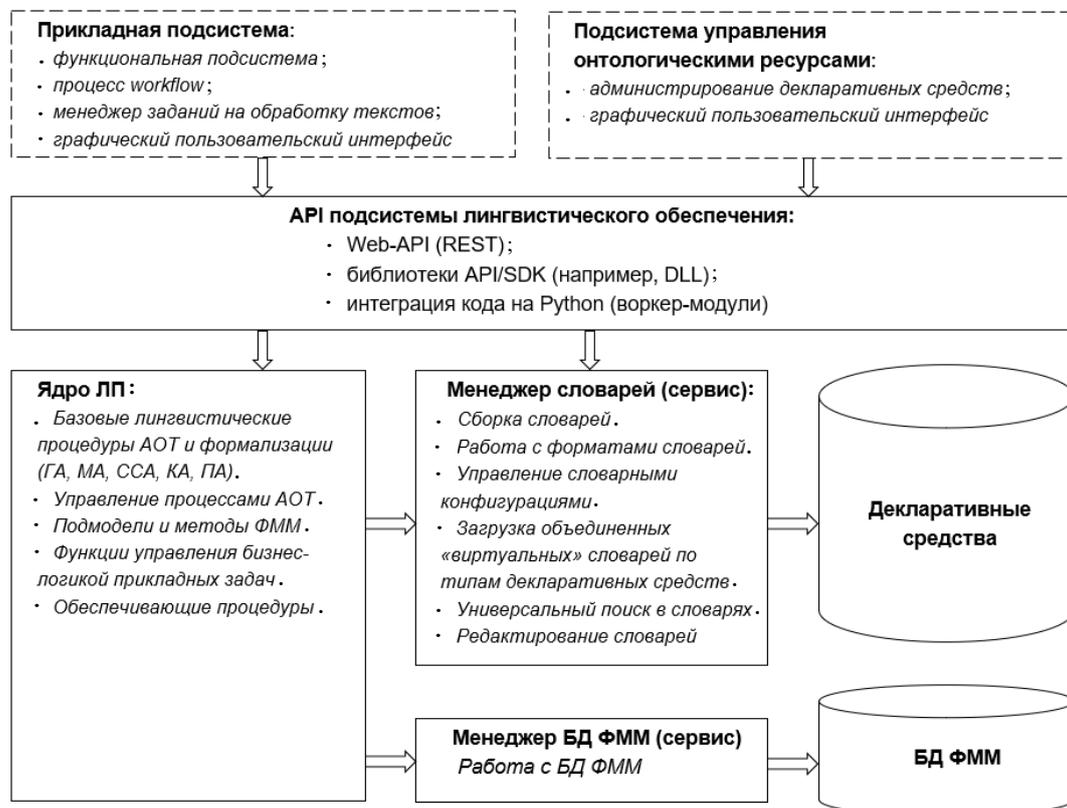


Рис. 4. Общая архитектура ИТП

Ключевые архитектурные решения ИТП основаны на следующих краеугольных элементах и принципах:

- комплексном подходе к организации АОТ, основанном на применении метода лингвистической аналогии на всех стадиях АОТ, распределении вычислительной сложности между предобработкой корпусов текстов (на этапе обучения и настройки декларативных средств систем АОТ в процессе разработки таких систем) и их обработкой на различных стадиях АОТ (в процессе функционирования систем), а также на взаимодополняющих моделях формализации текста, получаемых на каждой стадии АОТ;

- принципах организации процесса АОТ и процесса разработки программно-лингвистического обеспечения (процедурных средств) и информационно-лингвистического обеспечения (декларативных средств) систем АОТ, позволяющих существенно ускорить процесс разработки систем АОТ (за счет минимизации программного кода процедур и автоматизации создания декларативных средств) и одновременно обеспечить необходимый уровень формализации текста для решения прикладных задач в промышленных системах АОТ.

- информационно-технологической модели процесса АОТ и формализованной модели метаданных (ФММ) текста, создаваемой в результате АОТ, позволяющих организовать как полную сквозную АОТ, так

и по запросу частичную АОТ (в том числе включающую непоследовательные стадии АОТ), а также параллельную обработку текста несколькими гетерогенными средствами АОТ (на отдельных стадиях) с возможностью сопоставления и суммирования их результатов.

Заключение

В заключение необходимо отметить, что решение проблемы ИИ в технологиях смысловой обработки текстов может оказаться значительно сложнее, чем это представляет большинство отечественных и зарубежных разработчиков. Сложность этой проблемы обусловлена сложностью и многообразием смысловых представлений, заложенных в текстовой структуре ЕЯ. Поэтому сейчас речь может идти только о создании предпосылок для решения проблемы ИИ в АОТ, которые потребуют значительных усилий большого числа ученых и специалистов. Эти предпосылки связаны с разработкой интеллектуальных текстовых процессоров, обеспечивающих возможность выявления и формализации смыслового содержания текстов, порождения грамматически согласованного осмысленного текста, разработкой тематических онтологий и созданием баз знаний предметных областей, выполняющих роль динамической модели мира в рамках предметных областей.

С нашей точки зрения для обеспечения качественного прорыва в смысловой обработке текстов необходимо сопряжение мощного математического аппарата и технологий глубокого обучения NLP с лингвистическими моделями ФКАТ, так как лингвистические модели ФКАТ в большей степени ориентированы на понимание природы ЕЯ как инструмента мышления человека и средства сохранения его знаний о реальном мире.

В заключение необходимо сделать следующие выводы.

Концепция ИТП в ряде положений согласуется с определением систем ИИ ГОСТ Р 59276-2020, согласно которому эти системы должны обеспечивать способность технической системы имитировать когнитивные функции человека (включая самообучение и поиск решений без заранее заданного алгоритма) и получать при выполнении конкретных практически значимых задач обработки данных результаты, сопоставимые как минимум с результатами интеллектуальной деятельности человека, кроме того, эта концепция также обеспечивает понятность и объяснимость алгоритмов, предсказуемость и доверие к полученным результатам.

Концепция современного ИТП позволяет реализовать базовые процедуры обработки, формализации текстового представления и выявления смысловой структуры текстов, построить формализованную модель метаданных текста и выполнить на ее основе ряд прикладных задач: классификации, кластеризации, смыслового сравнения документов и ряда других прикладных задач.

Интеллектуальные информационные системы смысловой обработки текстов, разработанные на основе предлагаемой концепции, могут функционировать как автономно, так и совместно с другими подсистемами обработки информации (например, нейропроцессорами), при этом интеграция может быть реализована на различных стадиях разработки гибридных систем АОТ: как на стадии обучения моделей и подготовки декларативных средств, так и в процессе выполнения технологических операций АОТ в готовом программном продукте.

Гибридный подход позволяет, с одной стороны, дополнить понятийные формальные модели мощным вычислительным аппаратом и технологиями глубокого обучения, с другой стороны, использовать для обучения нейросетевых моделей формальное представление текста, дополненное цифровыми понятийными моделями.

Список источников

1. Колин К. К. Искусственный интеллект в технологиях машинного перевода / Колин К.К. и др. // Социальные новации и социальные науки. ИНИОН РАН, 2021. № 2.
2. Звегинцев В. А. Предложение и его отношение к языку и речи. М.: Изд-во Московского университета, 1976.
3. Мельчук И. А. Опыт теории лингвистических моделей «Смысл \Leftrightarrow текст». М.: Наука, 1974.
4. Лингвистический процессор для сложных информационных систем / Ю.Д. Апресян и др. М.: Наука, 1992.
5. Ганегедара Т. Обработка естественного языка с TensorFlow. М.: ДМК Пресс, 2020.
6. Хобсон Л. Обработка естественного языка в действии / Л. Хобсон, Х. Ханнес, К. Ховард. СПб.: Питер, 2020.
7. Белоногов Г.Г. Компьютерная лингвистика и перспективные информационные технологии. Теория и практика построения систем автоматической обработки текстовой информации / Г.Г. Белоногов, Ю.П. Калинин, А.А. Хорошилов. М.: Русский мир, 2004.
8. Хорошилов А. А. Фразеологический машинный перевод текстов: теоретические основы и технологические решения / А. А. Хорошилов, А.В. Кан, Алексей. А. Хорошилов. М.: Директ-Медиа, 2019.
9. Белоногов Г. Г. Единицы языка и речи в системах автоматической обработки текстовой информации / Г.Г. Белоногов, А.А. Хорошилов, Алексей. А. Хорошилов // Научно-техническая информация. Сер. 2. ВИНТИ РАН, 2005. № 11.
10. Морфологический анализатор МетаФраз нового поколения / А. А. Хорошилов и др. // Научно-техническая информация. Сер. 2. Информационные процессы и системы. ВИНТИ РАН, 2021. № 5.
11. Кан А.В. Автоматическое формирование синтаксической модели языка для задач машинного перевода и информационного поиска / А.В. Кан и др. // Научно-техническая информация. Сер. 2. ВИНТИ РАН, 2018. № 12.

© Русяева Е.Ю., Полтавский А.В.

© E. Rusaeva., A. Poltavsky.

**ЭНТРОПИЙНЫЙ АНАЛИЗ МАШИНЫХ ПЕРЕВОДОВ
В КОМПЬЮТЕРНОЙ СЕТИ****ENTROPY ANALYSIS OF MACHINE TRANSLATIONS
ON A COMPUTER NETWORK**

Аннотация. Представлены энтропийный анализ знаковых систем для формирования информационно-аналитических проектов и формализованная модель лингвистического анализа корпусов текстов. Приводится алгоритм по оценке качества преобразования информации в компьютерной сети. Получен технологический и технический результат на основе вычислительного эксперимента, включения в информационный процесс сетевых вычислительных ресурсов.

Abstract. An entropy analysis of sign systems for the formation of information and analytical projects and a formalized model of linguistic analysis of text corpora are presented. An algorithm for assessing the quality of information transformation in a computer network is given. A technological and technical result is obtained on the basis of a computational experiment, the inclusion of network computing resources in the information process.

Ключевые слова. Конструкция, язык, знаковая система, канал связи, вычислительная система, модель, информация, алгоритмы, информационная модель, связь, энтропия, символ, лингвистика, идентификация, информационная система.

Key words. Construction, language, sign system, communication channel, computer system, model, information, algorithms, information model, connection, entropy, symbol, linguistics, identification, information system.

Введение

В процессе эволюционного развития не просто повышается уровень информатизации человеческого общества, а создается иная виртуальная (цифровая) реальность. В сложной нынешней ситуации в России и мире, в условиях нового геополитического передела, смены расстановки сил в мировом противостоянии систем внимание к совершенствованию информационно-управленческих средств многократно увеличивается. Теме развития современных цифровых технологий уделяется большое внимание в управлении различными системами. Востребованы в России именно отечественные (импортозамещение) теоретические и прикладные программно-аппаратные средства для сетевых вычислительных систем (ВС), а также телекоммуникационных и информационных технологий. Они создаются в том числе и в целях обеспечения требуемых (заданных или желаемых) траекторий образования для нового поколения работников ИТ-сферы, переводчиков и т.д.

Цифровые инновационные проекты и современные технологии направлены на создание, прежде всего, автоматизированных процедур с разработкой новых адаптивных алгоритмов для сетевых информационных систем (ИС) и информационно-аналитических систем (ИАС), которые, как правило, должны учитывать и неопределенность - энтропийные составляющие для передачи и обработки информации по различным каналам связи. Данное обстоятельство, а также и сам такой случайный (и стохастический) процесс непосредственно связаны с потерей качества передачи информации по каналу связи и управления в сетевых ИС и ИАС, которая может быть утрачена, частично утеряна или преобразована (получила недопустимое ее искажение) с большими ошибками [1,2]. Проблема, которая требует решения, кроется, на наш взгляд, в нарастающей актуальности анализа лингвистической информации, идентификации перевода оригиналу, мониторингу подобия и соответствия, адекватности и полноте данных. На поиск решения этих задач и направлено данное исследование. Выработан подход к энтропийному анализу для знаковых систем и символической информации в сетевых структурах для формирования современных информационно-аналитических проектов. Создан алгоритм по оценке качества преобразования информации в компьютерной сети на основе основных положений и понятия энтропии по теоремам Кл. Шеннона и формализованная модель энтропийного анализа. Для примера приводится информационное моделирование и анализ знаковой системы в компьютерной сети. Цели были следующие: получить характеристики компьютерного контент-анализа из известных песен китайского исполнителя Lu Nan, раскрыть семантику для контента произведений на примере анализа иероглифов и получить сравнительные оценки характеристик данных произведений по признакам.

Русяева Елена Юрьевна – кандидат философских наук, старший научный сотрудник, Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, e-mail: eur5@mail.ru;

Полтавский Александр Васильевич – доктор технических наук, ведущий научный сотрудник, Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, e-mail: lab-54@bk.ru, тел. 8(495)335-78-07.

Elena Rusaeva – candidate of philosophical sciences, senior research fellow, V.A. Trapeznikov Institute of Management Problems of RAS, e-mail: eur5@mail.ru;

Alexander Poltavskiy – doctor of technical sciences, leading researcher, V.A. Trapeznikov Institute of Management Problems of RAS, e-mail: lab-54@bk.ru, tel. 8(495)335-78-07.

1. Краткий экскурс в историю проблемы

Большинство разрабатываемых и вновь создаваемых сетевых объектов в ИС и ИАС исторически и изначально ориентированы на математическую обработку информации в символьной форме. Особенным в данном процессе является то, что для обеспечения желаемого уровня качества обработки информации и идентификации текстовых сообщений осуществляется преобразование данных с помощью программ текстовых переводчиков с одного языка на другой. Методы и модели, алгоритмы и программы такого преобразования являются достижением для всей вычислительной техники. В процессе эволюции они впервые появились в Нью-Йорке (в 1954 г.), когда была проведена первая публичная демонстрация машинного перевода с русского языка на английский с помощью первых вычислительных систем, в частности, с помощью цифровой электронной вычислительной машины IBM-701. Для проведения испытаний (постановки вычислительного эксперимента) автоматического перевода текста был подготовлен словарь объемом в 250 русских слов, часто применяемых в области политики, юстиции и математики, записанных латинскими буквами. Слова для их математической обработки в ЭВМ были подобраны так, чтобы каждое русское слово имело один или два английских эквивалента. Каждому слову из разработанной программы были приспаны в электронном словаре три цифровых дополнительных кода. Программа машинного перевода этих символов и слов подготовленного текста для первых цифровых ЭВМ IBM-701 содержала всего 2400 одноадресных команд, была затем введена непосредственно в электронную цифровую вычислительную машину [3-5]. Далее после этого в цифровую электронную вычислительную машину вводились слова выбранных русских предложений, непосредственно подлежащие переводу в ЭВМ. Предложения из текста пробивались непосредственно на перфокартах стандартным для машины цифровым кодом, а для ввода переводимого текста в цифровую вычислительную машину каждая буква из латинского алфавита заменялась определенным набором цифр. При этом каждое английское слово заменялось соответствующим ему условным числом (цифровым кодом). Следует отметить, что и аналогичные работы в области машинных переводов прикладной математической лингвистики велись и в нашей стране. В те условно далекие годы в Институте точной механики и вычислительной техники АН СССР при составлении алгоритма и программы для перевода с английского языка на русский, произведенного на цифровой вычислительной машине БЭСМ-1, был избран иной путь, состоящий в воспроизведении работы, выполняемой непосредственно самим переводчиком корпуса текста. Эта «лингвистическая» работа по переводу текстовой информации с помощью компьютера составила следующие основные этапы:

- 1) чтение английской фразы, подлежащей машинному переводу в цифровой ЭВМ;
- 2) выявление тех слов переводимой фразы, которые были знакомы переводчику. Выяснение некоторых грамматических признаков этих слов как по их окончаниям, так и путем сопоставления их друг с другом и с остальными словами фразы.

Для опытов автоматического перевода на цифровой вычислительной машине БЭСМ-1 был составлен первичный словарь из 952 английских и 1073 русских слов. В общую программу входили подпрограммы «синтаксиса» и «изменение порядка слов». Первая из них расставляла знаки препинания, а вторая изменяла в русской фразе расположение слов непосредственно по правилам русской грамматики. Работа цифровых вычислительных систем и ЭВМ первых поколений в условиях неопределенности внешней среды, а также вероятностного характера математической обработки информации (как сбои, внутренние и внешние помехи ЭВМ влияют на точность проводимых вычислений) порождала сложности. С развитием средств для телекоммуникаций ВС и алгоритмов программных средств идентификации текстовых сообщений преобразуются и методы их создания. Современные программы-переводчики глобальных, региональных и локальных ИС имеют широкие возможности в оценках показателей качества передаваемой информации, в том числе и с учетом ее энтропийного анализа. Методы теории вероятностей и формулы математической статистики все чаще применяются в компьютерной лингвистике. Один из подходов для системного анализа машинных переводчиков был основан на общем понятии об энтропии информационного процесса и теореме Кл. Шеннона [2]. Аналогичный подход в оценках для вероятностных характеристик и получения количественных значений энтропии для анализа потоков (из корпусов) символьной информации приводится и нашими видными отечественными учеными: академиками В.С. Пугачевым [1], А.А. Доронициным, Л.Н. Столяровым и др.

2. Информационная модель энтропийного анализа

Как известно, основоположник теории информации Клод Шеннон определил синтаксическую меру информации. Им было показано, что объем данных V_d в сообщении измеряется количеством символов в текстах. В различных системах счисления один разряд имеет свой различный вес и соответственно меняется и сама единица измерения количества информации (энтропии) [1-5]:

- в двоичной системе счисления единица измерения – бит (*bit – binary digit* – двоичный разряд (код одного символа в памяти машины занимает 1 байт);
- в десятичной СС единица измерения – дит (*dit – decimal digit* – дес. разряд).

Количество информации (энтропию) на синтаксическом уровне невозможно определить без рассмотрения понятия о неопределенности состояния системы. Сам термин «энтропия» используется Кл. Шенноном по совету фон Неймана. Получение информации о какой-либо системе (или процессе) всегда будет связано с изменением степени неосведомленности получателя о состоянии этой системы (и/или протекающего информационного процесса). Покажем данное направление и задачи информационной технологии обработки данных. Пусть до получения информации ее потребитель имеет предварительные (как априорные) сведения о системе (или процессе) a . Мерой его неосведомленности о системе [2] является некоторая функция $H(a)$, которая служит мерой о неопределенности состояния системы. После получения некоторого сообщения β его получатель приобрел дополнительную информацию $H_\beta(a)$, уменьшившую априорную неопределенность так, что апостериорная (после получения сообщения β) неопределенность состояния стала $I\beta(a)$. Тогда количество информации $I\beta(a)$ о системе, полученной в сообщении β , определится из формулы для разности, т.е. количество информации измеряется уменьшением неопределенности о состоянии системы (информационного процесса). Информация – это противоположность неопределенности. Энтропия (неопределенность) системы $H(a)$, имеющая N состояний, может рассматриваться как мера недостающей информации по формуле Кл. Шеннона. Теоретические основы по разработке алгоритмов в идентификации текстовых сообщений для сетевой информационной системы базируются на их моделях. Рассмотрим информационную модель. Пусть первичный источник (пусть это будет автор текста) текстовых сообщений передает последовательность из символов x , каждому из которой соответствует вероятность [1-4] $P(\{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\}) \rightarrow P(x_1), P(x_2), P(x_3), \dots, P(x_n)$. После прохождения по каналу передачи информации (по каналу связи сетевой ИС) и ошибками перевода (изменение текстов) получим символы y и их вероятности появления $P(y_i)$. Обозначим через $P_i(j)$ вероятность того, что при передаче некоторого символа x под действием ошибок (помех сети ИС естественной и искусственной природы) возникает символ y , а через $P(i, j)$ – вероятность совместного появления символа x_i при передаче, а y_j при идентификации в сетевой ИС. Тогда, согласно основным положениям из теории вероятностей, получим следующую запись [1,2,5-8]:

$$P(i, j) = P_i P_i(j), P_i = \sum_{(j)} P(i, j). \quad (1)$$

Обозначим энтропию передачи сообщения на входе (и прием на выходе) сетевой ИС

$$H(x) = -\sum_{(i)} P_i \log_2 P_i; \quad H(y) = -\sum_j P_{y(i)} \log_2 P_{y(i)}. \quad (2)$$

В отсутствии ошибок (или помех) распределение вероятностей символов x и y одинаково, тогда имеем $H(x) = H(y)$. Обозначим $H(x, y) = f[P(i, j)]$ энтропию сообщения из множества передаваемых и принимаемых для идентификации (обработки информации в ИС) символов

$$H(x, y) = -\sum_{(i, j)} P(i, j) \log_2 P(i, j), \quad (3)$$

используя формулу (1), получаем очередное выражение для построения алгоритма и программы энтропийного анализа текстовой информации на основе сетевой ИС [1,7]

$$\begin{aligned} H(x, y) &= -\sum_{(i)} \sum_{(j)} P_i P_i(j) [\log_2 P_i + \log_2 P_i(j)] = \\ &= -\sum_{(i)} P_i \log_2 P_i \sum_{(j)} P_i(j) - \sum_{(i)} P_i \sum_{(j)} P_i(j) \log_2 P_i(j). \end{aligned} \quad (4)$$

Введем обозначение $H_i(y) = -\sum_{(j)} P_i(j) \log_2 P_i(j)$, выражение назовем условной энтропией на выходе канала передачи (преобразования) информации сетевой ИС, т.е. условной энтропией совокупности (в виде множества) принимаемых символов при условии передачи по каналу связи и передачи информации x_i .

Учитывая формулы (2) и (4), а также принимая $\sum_{(j)} P_i(j) = 1$, из формулы (4) получаем

$$H(x, y) = H(x) + \sum_{(i)} P_i H_i(y). \quad (5)$$

В формуле (5) второе слагаемое можно рассматривать как математическое ожидание $H_i(y)$, вычисленное для совокупности (или множества) передаваемых символов в текстовом сообщении по каналу связи. Обозначая эту величину как $H_x(y)$, получаем очередную формулу

$$H(x, y) = H(x) + H_x(y) = H(y) + H_y(x). \quad (6)$$

Энтропия $H_x(y)$ в ИС характеризует среднюю неопределенность принимаемых сообщений или потерю информации, вызванную наличием ошибок (учитываемые помехи сетевой ИС). При полном отсутствии ошибок передачи сообщения из множества символов вероятность $P(i,j)=0$, тогда

$$H_\gamma(x) = -\sum_{(i,j)} P(i,j) \log_2 P_i(i) = 0 \quad (7)$$

и информационная энтропия характеризует, что здесь соблюдается условное «идеальное равновесие» и равенство как $H(x,y)=H(y) = H(x)$. Источники текстовых сообщений, у которых отсутствует коррелятивная связь, называют эргодическими, а выдаваемые ими последовательности (в виде множества) символов называют эргодическими последовательностями. Для эргодического источника сообщений существует конечное число состояний, в которых он может находиться, причем условная вероятность появления очередного символа зависит от того, в каком состоянии находится в этот момент источник. Кроме понятия энтропии на символ текста в ИС имеет место и понятие поток информации – скорость сообщений от источника, приходящаяся на единицу времени [1,2,9]

$$H'(x) = \frac{H(x)}{\bar{\tau}}, \quad (8)$$

где $\bar{\tau}$ – средняя длительность символа в секундах.

```
In [1]: import pandas as pd
```

Создание списка RU возможных букв у русских слов:

```
In [2]: RU = list('абвгдеёжзийклмнопрстуфхцщъыьэюя')
```

Создадим функцию rf, которая читает содержимое файла f в папке d и формирует pandas серию из букв русского текста

```
In [3]: rf = lambda d,f: pd.Series([ 1
                                     for s in open(d+'/' +f, encoding = 'utf-8') # каждая букв
                                     if s # для каждой
                                     for w in s.split() # если строка
                                     for l in w.lower() # перебираем
                                     if l in RU]) # переводим ,
                                     # если каждый
```

Импортируем из модуля math функцию логарифма

```
In [4]: from math import log
```

Создадим функцию df получения H - таблицы статистических характеристик символов из множества букв текста

```
In [5]: def df(d,f):
    exp = rf(d,f)
    Ni = exp.value_counts() # число появлений букв
    Pi = exp.value_counts(normalize=True) # вероятность появления каждой буквы

    H = pd.DataFrame( # создание pandas таблицы
        {'No':range(1,len(RU)+1)}, # со столбцом No: 1,2,...,кол-во букв в RU
        index = RU) # и индексами строк RU
    H.index.name = 'Буква' # Назовем индексный столбец 'Буква'

    H['Кол-во'] = H.index.map( # Создадим столбец числа появлений
        lambda x: x in Ni.index and Ni[x] or 0 ) # равный Ni, если буква встречалась
    H['Pi'] = H.index.map( # Создадим столбец вероятностей поя
        lambda x: x in Ni.index and Pi[x] or 0 ) # равный Pi, если буква встречалась
    H['Hi'] = H.Pi.map( # Из Pi создадим столбец для энтроп
        lambda x: x and -x * log(x,2) or 0 ) # равный Pi*Log2(Pi), если буква встре

    # Получим столбцы для букв и их Pi, отсортированных по значению Pi
    sort = H.sort_values(by=['Pi']).Pi
    H['sort'] = sort.index
    H['Psort'] = sort.values

    # Получим столбцы для букв и их Pi, нормализованных по значению Pi
    H['norm'] = H.sort.iloc[1:-1:2].append(H.sort.iloc[::2]).values
    H['Pnorm'] = H.Psort.iloc[1:-1:2].append(H.Psort.iloc[::2]).values

    return H
```

Рис. 1. Фрагмент программы в информационной системе

Созданные алгоритмы и программы позволяют интенсифицировать информационный процесс по обработке данных к подсчету энтропии. Приведем фрагмент программы в информационной системе.

3. Информационное моделирование энтропийного анализа

В сформированной компьютеризированной экспертной (информационной) системе проводился сравнительный контент-анализ известных песен Lu Han [10-15]:

- Lu Han – On Fire (零界點).
- Lu Han – That Good Good (有点儿意思);
- Lu Han – Dream With A Childlike Heart (追梦赤子心);
- Lu Han – 勋章 (Medals);
- Lu Han – Promises (諾言).

Задачами информационного моделирования и анализа знаковой системы в компьютерной сети были следующие: получить характеристики компьютерного контент-анализа из известных песен исполнителя Lu Han, раскрыть семантику для контента произведений на примере анализа иероглифов и получить сравнительные оценки характеристик данных произведений по признакам (местоимения 我, 你; глагол 是; служебные частицы 不, 的).

На рис. 2 показаны результаты информационного моделирования данных энтропийного и компьютерного контент-анализа решаемых задач в созданной ИС.

- энтропийные характеристики из анализа песни Lu Han On Fire (零界點)

	Иероглиф	Кол-во	Pi	Pi*log(Pi;2)
1	我	9	0,01848	0,106408
2	的	10	0,020534	0,11511
3	不	3	0,00616	0,045233
4	是	7	0,014374	0,087973
5	你	1	0,002053	0,018332

- энтропийные характеристики из анализа песни Lu Han 勋章 (Medals)

	Иероглиф	Кол-во	Pi	Pi*log(Pi;2)
1	我	27	0,074176	0,278375
2	的	27	0,074176	0,278375
3	不	3	0,008242	0,057056
4	是	14	0,038462	0,180786
5	你	1	0,002747	0,023373

- энтропийные характеристики из анализа песни Lu Han That Good Good (有点儿意思)

	Иероглиф	Кол-во	Pi	Pi*log(Pi;2)
1	我	16	0,023739	0,128109
2	的	16	0,023739	0,128109
3	不	10	0,014837	0,090129
4	是	5	0,007418	0,052483
5	你	17	0,025223	0,13391

- энтропийные характеристики из анализа песни Lu Han Promises (諾言)

	Иероглиф	Кол-во	Pi	Pi*log(Pi;2)
1	我	16	0,046784	0,206683
2	的	17	0,049708	0,215253
3	不	7	0,020468	0,114835
4	是	1	0,002924	0,024614
5	你	16	0,046784	0,206683

- энтропийные характеристики песни Lu Han Dream With A Childlike Heart (追梦赤子心)

	Иероглиф	Кол-во	Pi	Pi*log(Pi;2)
1	我	14	0,031461	0,156998
2	的	17	0,038202	0,17994
3	不	14	0,031461	0,156998
4	是	3	0,006742	0,048625
5	你	0	0	0

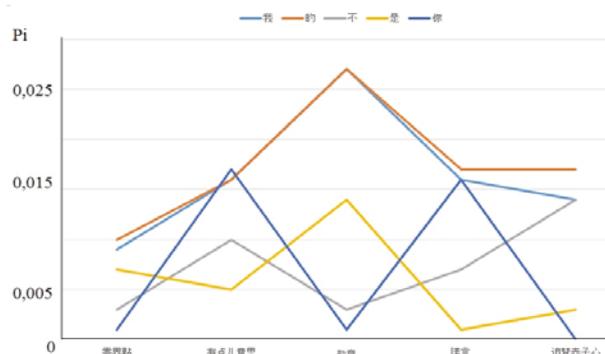


Рис.2. Результаты информационного моделирования энтропийного анализа в системе ИС

Результаты информационного моделирования поставленных задач энтропийного и контент-анализа представляют характеристики песен исполнителя Lu Han: вероятность встретить в тексте «我», «是» и «的» выше в песне 勋章 (Medals); «不» – выше в песне Dream With A Childlike Heart (赤子心); у «你» – выше в песне That Good Good (点儿意思).

Приведем еще один фрагмент испытаний в ИС к энтропийному анализу машинных переводчиков современных писателей-фантастов (фантастический роман Сергея Лукьяненко «Геном»). Фрагмент по

расчету информационной энтропии для фантастического романа Сергея Лукьяненко «Геном» в задачах идентификации потоков машинных переводчиков и математической обработки символьных данных представлен на рис. 3.

H

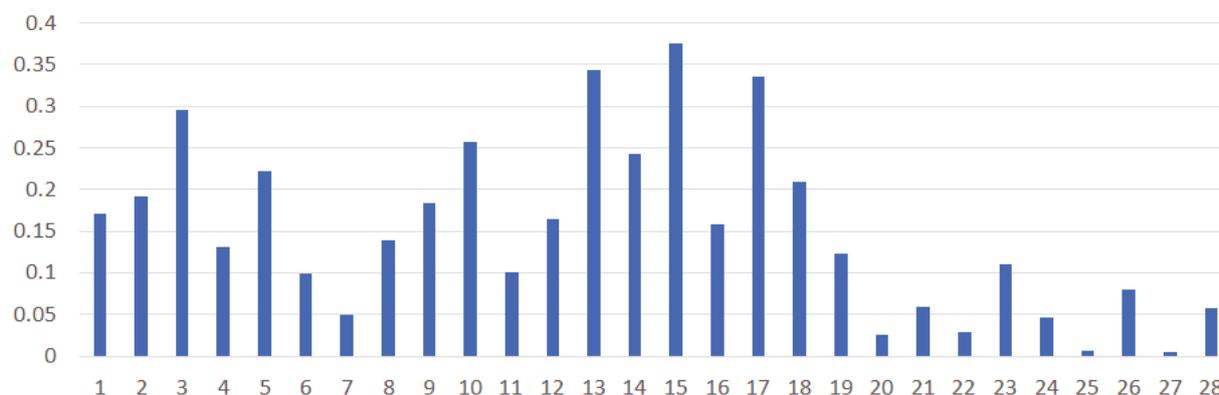


Рис.3. Фрагмент расчета информационной энтропии машинного переводчика для фантастического романа Сергея Лукьяненко «Геном» в задачах идентификации потоков символьных данных

Заключение

Задачи современного этапа развития отечественных информационных систем обращены на новый геополитический контекст, ориентированы на евразийский ареал и знаменуют новый этап развития. В свете этого анализ текстовой переводной информации с китайского языка, энтропийный анализ китайских иероглифов как символьной информации актуален, как никогда ранее. Сейчас есть множество отечественных прикладных программ и определенный арсенал аппаратно-технических средств для реализации инновационных амбициозных замыслов по установлению новых связей и новых цепочек для коммуницирования. Для решения подолбных задач особенно важно наладить адекватное взаимодействие с восточно-азиатским ареалом, для чего необходимо наладить канал машинного лингвистического, языкового взаимодействия, а также для «текстового» понимания.

Естественно, что сам такой информационный процесс не мог не коснуться образовательной среды. Информатизация образования – это непрерывный, прежде всего, управляемый процесс обеспечения системы образования методами, моделями и средствами современных информационных технологий. Технологии и эволюция [4-10] применяемых в данных процессе различных компьютеризированных ИС (как мониторинговых, фактографических, документальных, экспертных, информационно-аналитических и др.) направлены на широкий охват средств и методов информационного управления в обществе. При этом, защита информации в компьютерной сети ИС и ИАС – это вынужденные меры, направленные против несанкционированного доступа, прежде всего, к данным, хранящимся в памяти компьютера. Одним из основных способов защиты данных, хранящихся в сетевых ВС, является использование символов для паролей, которые в итоге имеют цифровой код. Эффективными методами защиты информации в сетевых ВС являются методы, основанные на различных подходах криптографии, они включают комплекс алгоритмов преобразования информации, обеспечивающие скрытность из смыслового содержания данных. К защите информации в ИС можно также отнести организацию учета потери информации в процессе ее преобразования и передачи по каналам сетевой ВС. Современные телекоммуникационные и программные средства в ИС и ИАС для машинных переводов с одного языка на другой имеют различный уровень по оценкам точности [9]. Работы в этом направлении и над «приемлемыми» в сети методами, моделями и алгоритмами для их идентификации – актуальная проблема для информационного обеспечения в достижении желаемого уровня и управления самой траекторией машинных переводчиков при решении поставленных задач по обработке потоков из корпусов лингвистической информации.

Список источников

1. Пугачев В.С. Теория случайных функций и ее применение к задачам автоматического управления. М., «Наука», 1962.
2. Шеннон К.Э. Работы по теории информации и кибернетике (с предисловием академика А.Н. Колмогорова). Издательство иностранной литературы, 1963 г. – М.: – С. 824.
3. Полтавский А.В. Программные средства вычислительных систем. Часть I. ЭВМ первых поколений. Учебное пособие. – М.: МГПУ, 2014 – 87 с.
4. Полтавский А.В. Программные средства вычислительных систем. Часть II. ЭВМ третьего и четвертого поколений. Учебное пособие. – М.: МГПУ, 2016 – 96 с.
5. Полтавский А.В. Основы математической обработки информации вычислительных систем. Учебное пособие. – М.: МГПУ, 2017 – 97 с.

6. Полтавский А.В. [и др.]. Устройство для оценки качества обучения работе с компьютером. Патент РФ № 2330323, кл. МПК G06F 17/18- 2008.
7. Кочегаров И.И., Полтавский А.В. , Юрков Н.К. Эволюция вычислительных систем. Учебное пособие.– Пенза.: Издательство ПГУ, 2015 – 124 с.
8. Патент на изобретение № 2568272 «Устройство содержательного анализа текстовой информации». Авторы и патентообладатель (ли): Полтавский А.В. [и др.]. Зарегистрирован от 16.10.2015 г.
9. Полтавский А.В. Информационная модель случайного процесса // Информационные войны. 2018. №3 (47). С. 98-101.
10. Текст песни Dream With A Childlike Heart (追梦赤子心) Источник: <https://lyricstranslate.com/ru/luhan-追梦赤子心-skyhunter-ost-lyrics.html>.
11. Текст песни Promises (諾言).Источник: <https://lyricstranslate.com/ru/luhan-promises-諾言-lyrics.html> .
12. Текст песни 勋章 (Medals).Источник: <https://lyricstranslate.com/ru/lu-han-鹿哈-lyrics.html-1>.
13. Текст песни That Good Good (有点儿意思).Источник: <https://lyricstranslate.com/ru/lu-han-good-good-lyrics.html-0>.
14. Текст песни On Fire (零界點).Источник: <https://lyricstranslate.com/ru/luhan-fire-零界點-lyrics.html>.
15. Лу Хань Источник: https://ru.wikipedia.org/wiki/Лу_Хань.

Материал поступил в редакцию 10.11. 2022 г.

