

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОРГАНОВ ПОГРАНИЧНОЙ СЛУЖБЫ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Ильючик Е.А., Бугай А.Н.

Цель. Выработка и обоснование наиболее перспективных направлений интеграции искусственного интеллекта в систему обеспечения радиационной безопасности органов пограничной службы в целях повышения ее эффективности.

Методы. Анализ возможностей искусственного интеллекта и экстраполяция сфер его применения в систему обеспечения радиационной безопасности органов пограничной службы, моделирование технической составляющей системы с учетом интеграции искусственного интеллекта.

Результаты. Установлены основные факторы, определяющие актуальность применения искусственного интеллекта, предложены наиболее перспективные направления его применения в системе обеспечения радиационной безопасности органов пограничной службы. Проведен анализ технических средств радиационного и дозиметрического контроля, который позволил выработать основные требования к элементам системы с учетом интеграции искусственного интеллекта, включая принципиальную схему передачи данных и возможность внедрения средств дистанционного радиационного контроля и разведки с использованием перспективного программно-аппаратного комплекса радиационного контроля и беспилотных летательных аппаратов. Предложена элементная база программно-аппаратного комплекса радиационного контроля, обеспечивающая возможность внедрения технологий анализа, оценки и прогнозирования радиационной обстановки на участке государственной границы в случае возникновения радиологической чрезвычайной ситуации, а также выбора оптимального маршрута для ведения воздушной и наземной радиационной разведки с учетом способности искусственного интеллекта дистанционно управлять беспилотным летательным аппаратом.

Область применения исследований. Обеспечение радиационной безопасности органов пограничной службы Республики Беларусь.

Ключевые слова: искусственный интеллект, радиационная безопасность, трансграничное перемещение ядерных и радиоактивных материалов, программно-аппаратный комплекс, радиационный и дозиметрический контроль, государственная граница, радиологическая чрезвычайная ситуация.

(Поступила в редакцию 12 марта 2024 г.)

Введение

Современная наука развивается очень быстрыми темпами, в настоящее время по статистике объем научных знаний удваивается каждые 10–15 лет. Около 90 % всех ученых являются нашими современниками, т.е. большинство всех научно-технических достижений были сделаны в наше время, исключением не стало и открытие человечеством такого феномена, как «искусственный интеллект». Первые результаты внедрения искусственного интеллекта в жизнь человека мы наблюдали при создании роботов и машин, которые стали помогать человеку выполнять тяжелую, монотонную, а порой и связанную с риском для жизни работу, производить сложные расчеты и находить решения сложнейших задач.

Изучение истории вопроса выявило, что одно из первых определений искусственного интеллекта дал Марвин Минский в 1956 г., который описал это явление как «науку о том, как заставить машины делать вещи, которые требуют применения интеллекта, когда их делают люди». С тех пор искусственный интеллект и управление различными объемами данных развивались взаимозависимым образом. Определено, что для выполнения анализа искусственному интеллекту требуется большой объем данных, а для их цифровой обработки

системе требуется искусственный интеллект. То есть можно сделать вывод, что история искусственного интеллекта развивалась параллельно с ростом вычислительных мощностей компьютерной техники и сопутствующих технологий¹.

С развитием технологий, вычислительной и компьютерной техники, средств обработки данных такие понятия, как «искусственный интеллект», «машинное обучение», «нейронные сети» все чаще встречаются и обсуждаются в научных кругах и средствах массовой информации. Проведенный анализ возможностей искусственного интеллекта позволяет сделать вывод, что сферы его применения достаточно многогранны и в общем виде схематично представлены на рисунке 1.

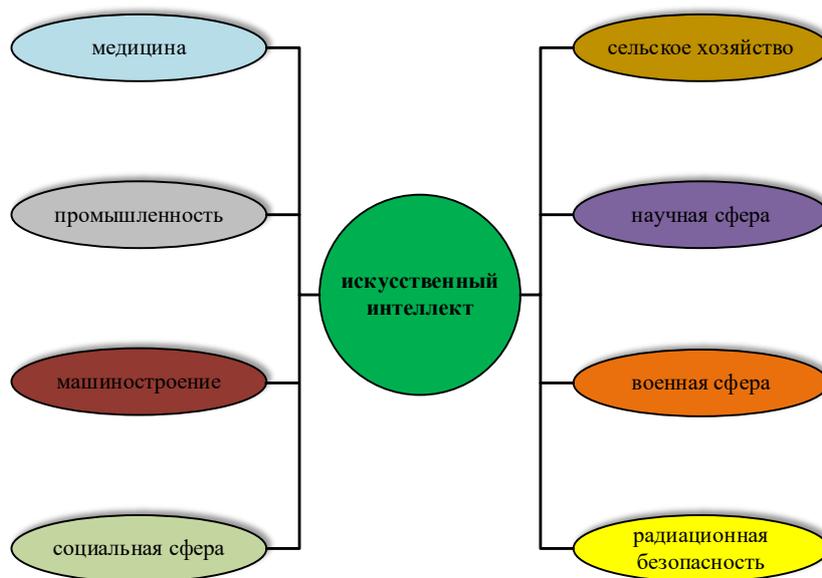


Рисунок 1. – Сферы применения искусственного интеллекта

Современный искусственный интеллект – это система, которая способна воспринимать свою среду и принимать меры, чтобы максимизировать шансы на успешное достижение своих целей, а также интерпретировать и анализировать данные таким образом, чтобы они обучались и адаптировались по мере развития².

В настоящее время различают три основных типа искусственного интеллекта:

ANI (ИИ узкого назначения), «слабый»;

AGI (ИИ общего назначения), «сильный»;

ASI (искусственный суперинтеллект), теоретически обладает полным самосознанием.

В ходе анализа возможностей искусственного интеллекта определено, что машинное обучение и все его компоненты являются подмножеством искусственного интеллекта, а разница между ними заключается в том, что машинное обучение не способно реализоваться в отрыве от искусственного интеллекта и поэтому дело не в том, что они разные, а в том, что их отличает. Следует отметить, что в процессе машинного обучения алгоритмы применяются к различным методам обучения и анализа, позволяя системе автоматически обучаться и совершенствоваться на основе своего опыта без явного программирования³.

Таким образом, искусственный интеллект обрабатывает данные для принятия решений и создания прогнозов, а алгоритмы машинного обучения позволяют ему не только обра-

¹ Что представляет собой искусственный интеллект? [Электронный ресурс] // SAP. – Режим доступа: <https://www.sap.com/central-asia-caucasus/products/artificial-intelligence/what-is-artificial-intelligence.html#:~:text=> – Дата доступа: 10.03.2024.

² См. сноску 1.

³ См. сноску 1.

батывать эти данные, но и использовать их для обучения и повышения «интеллектуальности», не требуя дополнительного программирования, т.е. следует полагать, что машинное обучение может применяться, например при оценке радиационной обстановки, которая требует прогнозирования результатов, получаемых на основе комплексного анализа различных данных.

На современном этапе развития специалисты различных направлений деятельности, в том числе в органах пограничной службы, сталкиваются с проблемой обработки и анализа больших объемов данных. Вместе с тем технологии в области компьютерной и цифровой техники достигли впечатляющих результатов и продолжают стремительно развиваться, создавая оптимальные условия для интеграции искусственного интеллекта, что подтверждается количественной статистикой публикаций о нем в различных сферах деятельности исходя из запросов, сделанных по ключевым словам, представленной на рисунке 2.

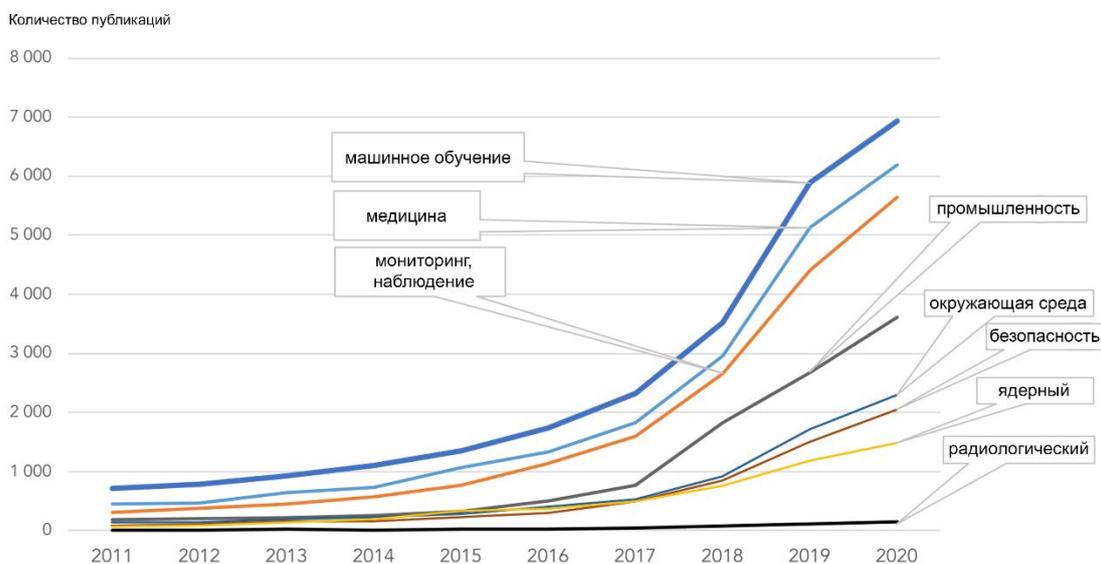


Рисунок 2. – Статистические показатели количества публикаций о машинном обучении (в сносках указаны ключевые слова, по которым проводился запрос) [1]

Из данного анализа следует, что к 2020 г. количество публикаций об искусственном интеллекте и машинном обучении резко возросло практически во всех областях. Лидирующие позиции по публикациям занимают такие области, как медицина, промышленность, безопасность, мониторинг и окружающая среда.

Основная часть

В статье рассматривается ряд наиболее перспективных вариантов использования искусственного интеллекта органами пограничной службы в области обеспечения радиационной безопасности, а именно его интеграция в систему радиационного и дозиметрического контроля, анализа и оценки радиационной обстановки, моделирование ситуаций, связанных с возникновением радиоактивного загрязнения, под которым следует понимать присутствие радиоактивных веществ на поверхности различных объектов, материалов, продуктов питания, а также в организме человека, окружающей среде, где их количество превышает установленные гигиеническими нормативами уровни⁴.

⁴ О радиационной безопасности [Электронный ресурс]: Закон Респ. Беларусь, 18 июня 2019 г., N 198-3 // КонсультантПлюс. Беларусь / ООО «ЮрСпектр», Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2024.

Например, в медицине искусственный интеллект использует алгоритмы и программное обеспечение для аппроксимации человеческих знаний при анализе сложных медицинских данных. Так, ряд систем искусственного интеллекта позволяют медицинским учреждениям детально анализировать клинические данные и получать более глубокое представление о здоровье пациентов. Это дает возможность снизить стоимость медицинской помощи, используя ресурсы более эффективно, и значительно упростить заботу о здоровье населения⁵. Искусственный интеллект используют для анализа данных, в том числе графических, с целью диагностирования заболеваний. Например, для жителей Беларуси особенно актуальными являются аспекты, касающиеся облучения щитовидной железы [2].

Достаточно эффективным является применение искусственного интеллекта для идентификации радионуклидов, где машинное обучение способно идентифицировать изотопы по энергетическим пикам спектроскопии, что в случае его внедрения позволит на порядок увеличить эффективность осуществления радиационного контроля на государственной границе и оперативность проведения проверочных мероприятий по фактам обнаружения либо задержания ядерных и радиоактивных материалов специалистами органов пограничной службы.

В радиационной биологии искусственный интеллект, как правило, применяется для количественной оценки рисков после облучения, хотя количество биологических проявлений, их взаимодействие и сопутствующие факторы могут вызвать некоторые затруднения. Ранее были проведены исследования по использованию машинного обучения для определения зависимости «доза-эффект», причем на различных уровнях организации живого вещества: на отдельных клетках, тканях и органах [3]. Внедрение данных достижений в органах пограничной службы может значительно повысить эффективность и оперативность сбора, анализа и оценки радиационной обстановки для специалистов на различных уровнях реагирования и в различных условиях обстановки [4].

Важное значение для органов пограничной службы имеет применение искусственного интеллекта в дозиметрическом контроле сотрудников в случае его осуществления с помощью пассивных дозиметров, где активные дозиметры служат в качестве вспомогательного прибора. При этом нейронная сеть, обученная на показаниях пассивного дозиметра, может без активного дозиметра оценить данные однократного облучения большой (выше порогового значения) дозой. Следует полагать, что такой метод может быть использован для оценки дозовой нагрузки сотрудников органов пограничной службы, выполняющих задачи оперативно-служебной деятельности в условиях радиоактивного загрязнения местности. Также известны различные методы интерпретации данных радиационной разведки, которые позволяют провести их обработку, при этом будут учитываться данные динамики формирования зон радиоактивного загрязнения местности [5].

Актуальность применения искусственного интеллекта в органах пограничной службы Республики Беларусь в сфере обеспечения радиационной безопасности обуславливается следующими основными факторами:

требованиями руководства Государственного пограничного комитета Республики Беларусь по совершенствованию обеспечения радиационной безопасности в органах пограничной службы Республики Беларусь;

нахождением вблизи Государственной границы Республики Беларусь, а также непосредственно на территории Республики Беларусь (Островецкая атомная электростанция) ряда радиационно опасных объектов (Игналинская, Смоленская, Чернобыльская, Ровенская атомные электростанции);

⁵ Искусственный интеллект в медицине: сферы, технологии и перспективы [Электронный ресурс] / Блог компании FirstVDS // Habr. – 18 авг. 2022. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/companies/first/articles/682516/>. – Дата доступа: 10.03.2024.

большой протяженностью Государственной границы Республики Беларусь, проходящей через зону радиоактивного загрязнения (около 500 км), включая Полесский государственный радиационный экологический заповедник, на территории которого выполняются задачи по ее охране;

необходимостью оперативного принятия управленческих решений на всех уровнях реагирования при угрозе возникновения либо возникновении радиологической чрезвычайной ситуации;

необходимостью оперативного выявления маршрутов и районов с наиболее высокими уровнями радиации, прогнозирования, анализа и оценки радиационной обстановки.

Что касается непосредственно радиационной безопасности органов пограничной службы Республики Беларусь, то на современном этапе она обеспечивается выполнением следующих основных мероприятий:

ведением мониторинга радиационной обстановки в круглосуточном режиме;

осуществлением радиационного контроля на границе;

проведением систематического радиационного обследования территорий пунктов постоянной дислокации, мест несения службы, жилищно-казарменного фонда;

проведением радиационной разведки маршрутов (районов) на радиоактивно загрязненной местности Полесского государственного радиационного экологического заповедника;

проведением контроля внутреннего облучения военнослужащих, работников и членов семьи, а также местного населения, проживающего на приграничной территории;

осуществлением дозиметрического контроля военнослужащих, выполняющих задачи по охране государственной границы на радиоактивно загрязненной местности;

осуществлением специальной обработки.

Далее необходимо отметить, что в органах пограничной службы Республики Беларусь разработана и реализуется Концепция создания интегрированной системы противодействия ядерному терроризму и незаконному трансграничному обороту ядерных и радиоактивных материалов. В рамках данной системы созданы отдельные элементы, объединяющие технические средства радиационного и дозиметрического контроля, средства хранения и обработки данных, мобильные лаборатории и системы обнаружения в единую информационно-аналитическую сеть.

Таким образом, системой противодействия решается часть общих задач по обеспечению радиационной безопасности, к которым можно отнести:

определение в режиме реального времени места обнаружения ядерных и радиоактивных материалов на участке государственной границы и мощности дозы посредством интеграции приборов с использованием различных каналов связи, в том числе глобальной сети Интернет с позиционированием на электронно-цифровой карте;

сбор радиологической информации, поступающей со всех имеющихся на границе интегрируемых в систему радиационного контроля, персональных радиационных детекторов (включая спектроскопические) и радиоизотопных идентификаторов, находящихся в мобильных лабораториях;

возможность отслеживания и анализа радиометрических данных, проводимых исследований в региональных пунктах реагирования, проведения независимой повторной идентификации гамма-спектра для координации действий и оказания необходимой экспертной поддержки специалистам мобильных лабораторий и систем обнаружения в режиме реального времени;

создание и ведение базы радиометрических данных (мощности дозы, географических координат мест проведения радиологических измерений, дат и времени их проведения, имен пользователей, названий и заводских номеров приборов, осуществлявших замеры, и другой информации).

Исходя из актуальности рассматриваемой проблематики, а также проведенного анализа возможностей искусственного интеллекта и имеющейся системы обеспечения радиационной безопасности в органах пограничной службы на современном этапе можно утверждать, что интеграция искусственного интеллекта в данную систему позволит:

оперативно проводить расчеты по оценке радиационной обстановки и вырабатывать наиболее рациональные предложения, влияющие на решение командира;

осуществлять построение охраны границы и определять порядок действий на зараженной местности с учетом изменения радиационной обстановки;

оперативно выбирать основные маршруты, порядок несения службы пограничными нарядами, применения средств индивидуальной и коллективной защиты, радиационного и дозиметрического контроля;

эффективно использовать средства дистанционного радиационного контроля и разведки, обеспечить организацию дозиметрического контроля;

оперативно проводить радиометрический контроль в целях определения необходимости проведения специальной обработки;

оптимизировать составление маршрутов для ведения воздушной и наземной радиационной разведки, порядок несения службы пограничными нарядами, применение средств индивидуальной и коллективной защиты, радиационного и дозиметрического контроля;

вести удаленный мониторинг как за радиационным фоном, так и за состоянием и работоспособностью технических средств охраны границы;

передавать необходимую информацию взаимодействующим республиканским органам государственного управления;

определять порядок действий по выявленным сработкам, порядок и районы ведения разведывательно-поисковых действий, радиационной разведки;

осуществлять в режиме реального времени экспертную поддержку в ходе проведения проверочных мероприятий, моделировать различные сценарии радиологических чрезвычайных ситуаций;

осуществлять экспертную поддержку в ходе проведения проверочных мероприятий; минимизировать возможность негативного влияния человеческого фактора.

Необходимо отметить, что основой в обеспечении выполнения вышеуказанных мероприятий является техническая составляющая. Применяемые в органах пограничной службы технические средства радиационного и дозиметрического контроля подразделяются на приборы с возможностью передачи информации в режиме реального времени, приборы, требующие для переноса показаний на компьютер использование USB-кабеля либо беспроводного соединения, а также приборы, не имеющие функции передачи данных.

Проведенный анализ технических средств радиационного и дозиметрического контроля позволил определить, что в дальнейшем наиболее перспективным средством обработки и передачи данных в режиме реального времени может стать программно-аппаратный комплекс радиационного контроля (далее – ПАКРК), который будет включать современные приборы радиационного и дозиметрического контроля, соответствующие требованиям МАГАТЭ, портативный компьютер, планшет (ноутбук) с соответствующим программным обеспечением. Необходимо отметить, что одним из требований по безопасности к данному комплексу должно стать обеспечение передачи данных по защищенным (закрытым) каналам связи, без сопряжения с глобальной сетью Интернет, в отличие от используемой в настоящее время в органах пограничной службы системы радиационного контроля СРКNET. При этом переносные и подвижные (на базе мобильных лабораторий оперативного реагирования, интегрированных мобильных систем обнаружения, беспилотных летательных аппаратов) ПАКРК должны обладать функцией геопозиционирования (определения точного местоположения в режиме реального времени). Последовательность передачи данных планируется осуществлять в следующем порядке: данные ПАКРК поступают на единый ведомственный

сервер базы данных радиационной обстановки, с дальнейшей их маршрутизацией в региональный пункт реагирования на радиационные инциденты, созданные в каждом территориальном органе пограничной службы, по принципу принадлежности ПАКРК, при этом вся информация с ПАКРК параллельно поступает и в ведомственный центр реагирования. В региональном пункте реагирования, как и в ведомственном центре, осуществляется экспертная поддержка и сопровождение мероприятий реагирования на различные радиационные инциденты в пограничном пространстве Республики Беларусь. Стоит отметить, что в случае возникновения и выявления с помощью ПАКРК радиоактивного загрязнения местности на участке подразделения территориального органа пограничной службы информация с ведомственного сервера должна поступать в оперативно-ситуационный центр Госпогранкомитета, а также оперативному дежурному и дежурному по подразделению территориального органа пограничной службы, на участке которого было выявлено радиоактивное загрязнение.

Исходя из вышеизложенного, предполагается, что наибольшую эффективность работы ПАКРК обеспечит интеграция искусственного интеллекта в единый ведомственный сервер базы данных радиационной обстановки.

Таким образом, с учетом рассматриваемого варианта интеграции искусственного интеллекта на рисунке 2 представлена принципиальная схема передачи данных.



* – средство вычислительной техники (компьютер), которое находится в подразделении границы, подразделении пограничного контроля ТОПС

Рисунок 2. – Схема передачи данных радиационной обстановки с интеграцией ИИ

Далее необходимо отметить, что исходные данные с ПАКРК и приборов радиационного и дозиметрического контроля параллельно переадресовываются в региональный пункт реагирования на радиационные инциденты по принципу принадлежности технических средств радиационного и дозиметрического контроля к тому или иному территориальному органу пограничной службы. Такая маршрутизация исходных данных обеспечит необходимую экспертную поддержку специалистами в случае отсутствия связи с единым ведомственным центром (базой данных о радиационной обстановке).

Таким образом, в общей системе обеспечения радиационной безопасности в органах пограничной службы ПАКРК сможет оперативно обрабатывать следующую информацию:

- данные об источнике радиоактивного загрязнения (размеры объекта, другие данные);
- данные с приборов радиационного и дозиметрического контроля (мощность эквивалентной дозы, эквивалентное значение дозы, спектрометрические данные);
- топогеодезические данные (местоположение, характер рельефа и растительности, другие параметры);
- климатические и метеорологические условия;
- фото- и видеоматериалы.

С точки зрения технической составляющей вышеперечисленные параметры предполагают обработку больших объемов данных и информации. При возникновении радиоактивного загрязнения на этапе принятия решения по порядку реагирования человеческий фактор

будет лимитирован, т.к. искусственный интеллект способен намного быстрее человека проанализировать большой объем данных и провести оценку обстановки с выводом всей необходимой графической и текстовой информации специалисту для принятия решения. При этом необходимо отметить, что в любом случае ответственность за принятие решения лежит на соответствующем должностном лице.

Обработка данных, проведение расчетов по оценке радиационной обстановки и выработка предложений по решению задачи предусматривает возможность искусственному интеллекту получать опыт, обучаться и совершенствоваться. При этом время обработки и анализа информации будет сокращаться, а предлагаемые варианты решений будут более рациональными.

Важнейшим аспектом применения технологий искусственного интеллекта в обработке данных при радиоактивном загрязнении местности в различных информационных ситуациях является возможность выбора нужного алгоритма вычислений (обработки данных) с последующей интерпретацией данных радиационной разведки и графического отображения зон радиоактивного загрязнения местности [6].

На «зеленой границе» и на территории пунктов пропуска моделирование различных радиологических чрезвычайных ситуаций позволит создать условия для внедрения искусственного интеллекта в систему подготовки сотрудников органов пограничной службы по направлению радиационной, химической и биологической защиты. В дальнейшем, создавая различные сценарии развития чрезвычайной ситуации на участке государственной границы, можно обучить искусственный интеллект созданию условий, приближенных к реальным, для отработки наиболее рациональных алгоритмов действий (реагирования), тем самым обеспечивая безопасность как сотрудников органов пограничной службы, так и лиц, пересекающих границу.

Наиболее перспективным направлением совершенствования радиационной безопасности в органах пограничной службы будет внедрение средств дистанционного радиационного контроля и разведки. Использование возможностей беспилотных летательных аппаратов и ПАКРК позволит получать практически все вышеуказанные данные, необходимые для обработки искусственным интеллектом, а также составлять оптимальный маршрут для воздушной и наземной радиационной разведки с учетом возможностей искусственного интеллекта дистанционно управлять беспилотным летательным аппаратом и корректировать маршруты ее ведения.

Необходимо отметить, что внедрение данных технологий на базе беспилотных летательных аппаратов весьма перспективно и в рамках выполнения задач по противодействию незаконному трансграничному перемещению ядерных и радиоактивных материалов, что позволит значительно усилить действующую систему радиационного контроля как в пунктах пропуска, так и на «зеленой границе» [7]. Это связано с тем, что ПАКРК на базе беспилотного летательного аппарата способен проводить зональный радиационный контроль в отличие от стационарных систем радиационного контроля. Способность искусственного интеллекта определять оптимальную скорость проведения радиационного контроля транспортных средств, физических лиц и при этом корректировать расстояние до объектов, а в случае выявления источника ионизирующего излучения «зависнуть» над ним для проведения спектрометрического анализа значительно увеличит эффективность проведения данной процедуры. Также ПАКРК способен осуществлять фото- и (или) видеофиксацию различных инцидентов, в том числе по выявлению нарушений пограничного законодательства, и в реальном режиме времени отправлять информацию в соответствующий центр реагирования, где искусственный интеллект анализирует изображение с камер беспилотного летательного аппарата, выявляя при этом признаки и попытки нарушения. Однако необходимо учитывать, что для обучения искусственного интеллекта потребуется тесное межведом-

ственное взаимодействие и скрупулезная работа множества высококвалифицированных специалистов по направлению информационных технологий, юристов, специалистов пограничного контроля, пограничной службы, таможенных органов и др.

Заключение

Проведенный анализ существующей в органах пограничной службы Республики Беларусь системы обеспечения радиационной безопасности, а также ее технической составляющей позволил определить наиболее перспективные направления повышения эффективности ее работы.

Одно из таких направлений совершенствования данной системы – интеграция искусственного интеллекта в единый ведомственный сервер базы данных радиационной обстановки.

Следующим направлением стало обеспечение возможности внедрения технологий анализа, оценки и прогнозирования радиационной обстановки на участке государственной границы в случае возникновения радиологической чрезвычайной ситуации, реализованное с учетом интеграции искусственного интеллекта посредством выработки основных требований к элементной базе системы.

Также важным фактором, обеспечивающим устойчивую работу системы, является предложенная принципиальная схема передачи данных с использованием перспективного программно-аппаратного комплекса радиационного контроля.

Безусловно, дальнейшим и наиболее перспективным направлением совершенствования системы обеспечения радиационной безопасности в органах пограничной службы будет являться возможность внедрения средств дистанционного радиационного контроля и разведки, реализованная с помощью беспилотных летательных аппаратов, с учетом возможностей искусственного интеллекта по их управлению.

ЛИТЕРАТУРА

1. Andresz, S. Artificial intelligence and radiation protection. A game changer or an update? / S. Andresz, A. Zéphir, J. Bez, M. Karst, J. Danieli // Radioprotection – 2022. – Vol. 57, No. 2. – Pp. 157–164. – DOI: 10.1051/radiopro/2022004.
2. Кенигсберг, Я.Э. Облучение щитовидной железы жителей Беларуси вследствие чернобыльской аварии: дозы и эффекты: монография / Я.Э. Кенигсберг, Ю.Е. Крюк. – Гомель: Институт радиологии, 2004. – 121 с.
3. Барабанова, А.В. Зависимость тяжести лучевых поражений кожи от глубинного распределения дозы бета-излучения у пострадавших при аварии на Чернобыльской АЭС / А.В. Барабанова, Д.П. Осанов // Медицинская радиология. – 1993. – Т. 38. № 2. – С. 28–31. – EDN: KSRLBH.
4. Бугай, А.Н. Некоторые аспекты оценки влияния прогнозируемой радиационной обстановки на выполнение задач по охране государственной границы в мирное время / А.Н. Бугай, Д.В. Воробьев // Вестник института пограничной службы Республики Беларусь. – 2021. – № 2. – С. 26–33. – Url: <https://ips.gpk.gov.by/nauchnaya-deyatelnost/nauchnye-izdaniya/vestnik/Vestnik%202%202021.pdf>
5. Венцель, Е.С. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения: учеб. пособие / Е.С. Венцель, Л.А. Овчаров. – М.: КноРус, 2014. – 448 с.
6. Хомяков, Н.Н. Автоматизированная интеллектуальная система принятия управленческих решений в ходе ликвидации последствий радиационных инцидентов на основе физико-математического моделирования / Н.Н. Хомяков // Технологии гражданской безопасности. – 2010. – Т. 7, № 4 (26). – С. 60–67. – EDN: NBRYFT.
7. Бугай, А.Н. Противодействие незаконному трансграничному обороту опасных материалов и веществ как фактор обеспечения пограничной безопасности Республики Беларусь: монография / А.Н. Бугай. – Минск: ГУО «ИПС РБ», 2014. – 261 с.

**Совершенствование системы обеспечения радиационной безопасности
органов пограничной службы Республики Беларусь**
**Improvement of the system of ensuring radiation safety
of the border service of the Republic of Belarus**

Ильючик Евгений Андреевич

Государственное учреждение образования
«Институт пограничной службы Республики
Беларусь», кафедра дисциплин обеспечения,
старший преподаватель

Адрес: ул. Славинского, 4,
220103, г. Минск, Беларусь

Email: irathemam@gmail.com

Evgeniy A. Il'yuchik

State educational institution
«Institute of Border Service Republic of Belarus»,
Chair of Support Disciplines,
Senior Lecturer

Address: Slavinskogo str., 4,
220103, Minsk, Belarus

Email: irathemam@gmail.com

ORCID: 0009-0006-8809-8226

Бугай Андрей Николаевич

кандидат военных наук, доцент

Государственное учреждение образования
«Институт пограничной службы Республики
Беларусь», кафедра дисциплин обеспечения,
профессор

Адрес: ул. Славинского, 4,
220103, г. Минск, Беларусь

Email: anbugay68@gmail.com

Andrey N. Bugay

PhD in Military Sciences, Associate Professor

State educational institution
«Institute of Border Service Republic of Belarus»,
Chair of Support Disciplines,
Professor

Address: Slavinskogo str., 4,
220103, Minsk, Belarus

Email: anbugay68@gmail.com

ORCID: 0009-0005-8149-6689

IMPROVEMENT OF THE SYSTEM OF ENSURING RADIATION SAFETY OF THE BORDER SERVICE OF THE REPUBLIC OF BELARUS

Il'yuchik E.A., Bugay A.N.

Purpose. Development and justification of the most promising areas for integrating artificial intelligence into the radiation safety system of border service agencies in order to increase its efficiency.

Methods. Analysis of the capabilities of artificial intelligence and extrapolation of the scope of its application into the radiation safety system of border services, modeling of the technical component of the system taking into account the integration of artificial intelligence.

Findings. The main factors determining the relevance of the use of artificial intelligence have been established, and the most promising directions for its application in the system for ensuring radiation safety of border service agencies have been proposed. An analysis of the technical means of radiation and dosimetric monitoring was carried out, which made it possible to develop the basic requirements for the elements of the system, taking into account the integration of artificial intelligence, including the basic design of data transmission and the possibility of introducing means of remote radiation monitoring and reconnaissance using a promising software and hardware complex for radiation monitoring and unmanned aerial vehicles. An elemental base of a software and hardware complex for radiation monitoring has been proposed, providing the possibility of introducing technologies for analyzing, assessing and forecasting the radiation situation within a section of the state border in the event of a radiological emergency, as well as choosing the optimal route for conducting aerial and ground radiation reconnaissance, taking into account the ability of artificial intelligence to remotely control unmanned aerial vehicle.

Application field of research. Ensuring radiation safety of border service of the Republic of Belarus.

Keywords: artificial intelligence, radiation safety, cross-border movement of nuclear and radioactive materials, software and hardware complex, radiation and dosimetric monitoring, state border, radiological emergency.

(The date of submitting: March 12, 2024)

REFERENCES

1. Andresz S., Zéphir A., Bez J., Karst M., Danieli J. Artificial intelligence and radiation protection. A game changer or an update? *Radioprotection*, 2022. Vol. 57, No. 2. Pp. 157–164. DOI: 10.1051/radiopro/2022004.
2. Kenigsberg Ya.E., Kryuk Yu.E. Obluchenie shchitovidnoy zhelezy zhiteley Belarusi vsledstvie chernobyl'skoy avarii: dozy i efekty [Thyroid gland exposure of Belarusian residents due to the Chernobyl accident: doses and effects]: monograph. Gomel: Institute of Radiology, 2004. 121 p. (rus)
3. Barabanova A.V., Osanov D.P. Zavisimost' tyazhesti luchevykh porazheniy kozhi ot glubinnogo raspredeleniya dozy beta-izlucheniya u postradavshikh pri avarii na Chernobyl'skoy AES [Relationship between the severity of radiation involvement of the skin and the in-depth distribution of the absorbed dose of beta-irradiation in subjects who suffered in the Chernobyl Power Plant accident]. *Medical Radiology*, 1993. Vol. 38, No. 2. Pp. 28–31. (rus). EDN: KSRLBH.
4. Bugay A.N., Vorob'ev D.V. Nekotorye aspekty otsenki vliyaniya prognoziruemoy radiatsionnoy obstanovki na vypolnenie zadach po okhrane gosudarstvennoy granitsy v mirnoe vremya [Some aspects of the evaluation of the predicted radiation situation influence on the state border protection tasks completion]. *Vestnik instituta pogranichnoy sluzhby Respubliki Belarus'*, 2021. No. 2. Pp. 26–33. (rus). Url: <https://ips.gpk.gov.by/nauchnaya-deyatelnost/nauchnye-izdaniya/vestnik/Vestnik%202%202021.pdf>
5. Venttsel' E.S., Ovcharov L.A. *Teoriya sluchaynykh protsessov i ee inzhenernye prilozheniya [Theory of random processes and its engineering applications]*: tutorial. Moscow: KnoRus, 2014. 448 p. (rus)
6. Khomyakov N.N. Avtomatizirovannaya intellektual'naya sistema prinyatiya upravlencheskikh resheniy v khode likvidatsii posledstviy radiatsionnykh intsidentov na osnove fiziko-matematicheskogo modelirovaniya [The automated intellectual system of acceptance of administrative decisions during liquidation of consequences of radiating incidents on the basis of physical and mathematical modelling]. *Civil Security Technology*, 2010. Vol. 7, No. 4 (26). Pp. 60–67. (rus). EDN: NBRYFT.
7. Bugay A.N. Protivodeystvie nezakonnomu transgranichnomu oborotu opasnykh materialov i veshchestv kak faktor obespecheniya pogranichnoy bezopasnosti Respubliki Belarus' [Counteraction to illegal cross-border trafficking of hazardous materials and substances as a factor in ensuring border security of the Republic of Belarus]: monograph. Minsk: Institute of Border Service of the Republic of Belarus, 2014. 261 p. (rus)