

Задачи нормативно-технического регулирования интеллектуальных систем обработки данных дистанционного зондирования Земли

С. В. Гарбук

*Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»
Москва, 109028, Россия
E-mail: sgarbuk@hse.ru*

Рассмотрены основные задачи в области дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), при решении которых применяются технологии искусственного интеллекта (ИИ). Приведена классификация задач, в основу которой положена универсальная классификация прикладных интеллектуальных задач, базирующаяся на функциональной аналогии искусственного и естественного интеллекта. Показано, для обработки каких типов данных применение методов ИИ наиболее целесообразно. Сформулированы основные нормативно-технические барьеры, препятствующие эффективному созданию и применению систем ИИ в области ДЗЗ, а также задачи стандартизации, направленные на преодоление этих барьеров. При формировании перечня актуальных задач стандартизации учтён мировой и национальный опыт разработки стандартов ИИ в области ДЗЗ. Для обеспечения полноты предлагаемого перечня задач предложен подход, основанный на целостном анализе процессов жизненного цикла интеллектуальных систем ДЗЗ. В результате в качестве основных групп задач нормативно-технического регулирования вопросов применения ИИ в области ДЗЗ предложены: обоснование требований и унификация способов измерения существенных функциональных характеристик интеллектуальных систем ДЗЗ (ИСДЗЗ); оценка функциональных возможностей квалифицированного человека-оператора, осуществляющего решение определённой прикладной задачи ДЗЗ в ручном режиме; формализация предусмотренных условий эксплуатации ИСДЗЗ; управление обучением ИСДЗЗ на стадии эксплуатации; тиражирование разработанных программно-алгоритмических решений на смежные задачи ДЗЗ; обеспечение конфиденциальности данных при создании и применении ИСДЗЗ; унификация, обеспечение качества и повышение доступности наборов данных, необходимых для создания и оценки соответствия ИСДЗЗ.

Ключевые слова: искусственный интеллект, прикладные задачи искусственного интеллекта, интеллектуальные задачи дистанционного зондирования Земли, жизненный цикл системы, оценка функциональных характеристик интеллектуальных систем, интеллометрия, качество систем искусственного интеллекта

Одобрена к печати: 04.03.2022

DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-1-107-122

Интеллектуальные системы обработки данных дистанционного зондирования Земли

Под интеллектуальными системами обработки данных дистанционного зондирования Земли (ИСДЗЗ) понимается подкласс информационных систем¹ или автоматизированных систем, предназначенных для решения различных задач дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), создание которых в обязательном порядке связано с использованием специальным образом подготовленных наборов данных (НД), описывающих представительную совокупность примеров решения этих задач. Алгоритмы работы интеллектуальных систем ДЗЗ, сформированные в процессе обобщения обучающих примеров, не обладают, в общем случае, свойством объяснимости (понятности, интерпретируемости) для человека, что является основным отличием ИСДЗЗ от прочих информационных систем, основанных на понятных человеку правилах и аналитических моделях.

¹ Информационная система — ГОСТ 33707-2016 (ISO/IEC 2382:2015). Информационные технологии (ИТ). Словарь.

Перечень наиболее значимых прикладных задач ДЗЗ, эффективность решения которых может быть повышена с использованием методов и технологий ИИ, представлен в *табл. 1*. При формировании перечня типовых задач учитывалось, что в соответствии с постановлением Правительства Российской Федерации от 10 июня 2005 г. № 370² под ДЗЗ понимается процесс получения информации о поверхности Земли путём наблюдения и измерения из космоса собственного и отражённого излучения элементов суши, океана и атмосферы в различных диапазонах электромагнитных волн в целях определения местонахождения, описания характера и временной изменчивости естественных природных параметров и явлений, природных ресурсов, окружающей среды, а также антропогенных факторов и образований.

В приведённой таблице задачи структурированы в соответствии с классификацией, предложенной в работе (Гарбук, Губинский, 2020) и основанной на аналогии искусственного и естественного интеллекта. Некоторые классы интеллектуальных задач — реализация физических воздействий на объекты и социальные коммуникации — не являются характерными для приложений ДЗЗ и, соответственно, не рассматриваются.

Таблица 1. Примеры типовых задач ИИ в области дистанционного зондирования Земли

№	Класс интеллектуальных задач ДЗЗ (особенности задачи)	Частные задачи ДЗЗ
1	Распознавание образов (существенная полиморфизация объектов распознавания: реконфигурация, изменчивость в пределах класса, маскировка; распознавание на сложных фонах, в условиях воздействия шумов и помех; неопределённость ракурса объектов, изменчивость условий освещённости)	<ul style="list-style-type: none"> а) распознавание и оценка характеристик гидрометеорологических процессов и явлений; б) мониторинг состояния объектов критически важной инфраструктуры (оценка состояния строительных конструкций, объектов транспортной инфраструктуры, включая трубопроводы, выявление признаков опасной естественной и антропогенной деятельности вблизи объектов, оценка характеристик древесно-кустарниковой растительности в охранных зонах и др.); в) актуализация картографических материалов (характеристик природного ландшафта, водных объектов, растительного покрова, объектов дорожно-транспортной сети, капитального строительства и др.); г) задачи сельского и лесного хозяйства (оценка состояния растительности, влажности почв, снежного покрова и др.); д) поиск полезных ископаемых (выявление признаков полезных ископаемых на изображениях, подповерхностное зондирование); е) задачи кадастрового учёта и землепользования (распознавание объектов капитального строительства и их элементов, определение типов и оценка площади жилых зданий, оценка численности населения и др.); ж) мониторинг строительной деятельности (распознавание и оценка состояния строительных объектов); и) экологический мониторинг (выявление и оценка масштабов выбросов вредных и опасных веществ, выявление несанкционированных свалок мусора, мониторинг обезлесения и др.); к) выявление и предупреждение чрезвычайных ситуаций (обнаружение пожаров, наводнений, оползней, оценка ущерба от стихийных бедствий и др.); л) видовая и конкурентная разведка (обнаружение и идентификация объектов, определение их характеристик и технического состояния, обнаружение и оценка характеристик заглублённых объектов и др.); м) задачи коррекции изображений при первичной обработке (локализация опорных объектов на изображении с априорно известными характеристиками)

² Постановление Правительства Российской Федерации от 10 июня 2005 г. № 370 «Об утверждении Положения о планировании космических съёмок, приёме, обработке, хранении и распространении данных дистанционного зондирования Земли с космических аппаратов гражданского назначения высокого (менее 2 метров) разрешения».

№	Класс интеллектуальных задач ДЗЗ (особенности задачи)	Частные задачи ДЗЗ
2	Построение моделей типовых объектов и процессов (формируются модели типовых объектов и процессов; модели не используются при принятии оперативных решений в реальном времени, а применяются при выборе оптимальных решений типовых задач; модели различаются по уровням: локальные, региональные, глобальные)	а) разработка и актуализация моделей изменения климата; б) построение моделей типовых ландшафтов, естественных и техногенных объектов (использования в тренажёрах, для виртуальных испытаний сложной техники и др.); в) разработка моделей типовых опасных природных явлений (обоснование требований, проектирование и испытания систем выявления и предупреждения ЧС); г) восстановление целостных изображений объектов по отдельным проекциям; д) пространственно-временная привязка данных, полученных из разных источников
3	Поиск решений, в том числе в непредвиденных ситуациях (модели конкретных объектов и процессов используются для принятия решений с применением методов предиктивной аналитики — исходя из приемлемости прогнозируемых последствий того или иного решения)	а) разработка моделей гидрометеорологических процессов и явлений для формирования краткосрочных и среднесрочных прогнозов погоды; б) управление сельскохозяйственными объектами на основе данных о состоянии земного покрова, данных о погоде и другой информации (принятие решений в области сельского хозяйства с использованием предиктивных моделей); в) обнаружение, предупреждение и ликвидация последствий ЧС на основе прогнозирования состояния объектов с использованием динамических данных ДЗЗ (управление силами и средствами исходя из минимизации негативных последствий ЧС); г) коррекция изображений при первичной обработке (идентификация параметров модели искажения изображения в атмосфере и оптическом тракте исходя из условия максимального восстановления изображения опорных объектов)
4	Автономное движение и позиционирование в пространстве (данные ДЗЗ используются для реализации человекоподобного подхода к местоопределению — на основе визуальной информации. Это позволяет оценивать своё местоположение в незнакомой и изменчивой обстановке)	а) ландшафтная навигация (определение местоположения в условиях отсутствия радионавигационных полей, невозможности использования средств астронавигации и магнитометрических навигационных систем); б) интеллектуальный выбор маршрута и управление движением в условиях изменчивого ландшафта (например, на поле боя, в зоне ЧС); в) управление группой подвижных объектов с учётом изменчивого ландшафта («роевое» управление, перераспределение функций между объектами)

Примечание: ЧС — чрезвычайная ситуация.

В случае космической съёмки под типами данных ДЗЗ в соответствии с ГОСТ Р 59079-2020³ понимается классификационная группировка данных дистанционного зондирования Земли из космоса, выделяемая по признакам способа их получения или обработки, включая:

- спектральный диапазон электромагнитного излучения, регистрируемого на борту космического аппарата (КА) (оптические данные ДЗЗ, регистрируемые в диапазоне электромагнитного излучения от 0,1 до 15 мкм, и микроволновые данные, регистрируемые в диапазоне от 0,01 до 1 м);

³ ГОСТ Р 59079-2020. Данные дистанционного зондирования Земли из космоса. Типы данных дистанционного зондирования Земли из космоса.

- используемый метод ДЗЗ (активный или пассивный);
- спектральное разрешение и количество спектральных каналов целевой аппаратуры ДЗЗ (панхроматические снимки, многоспектральные и гиперспектральные снимки);
- тип поляризации передаваемых и принимаемых электромагнитных волн;
- пространственное разрешение (данные сверхвысокого пространственного разрешения с величиной пространственного разрешения менее 1 м; данные высокого пространственного разрешения — от 1 до 10 м; данные среднего пространственного разрешения — от 10 до 100 м; данные низкого пространственного разрешения — от 100 до 1000 м; данные сверхнизкого пространственного разрешения — от 1000 м и более);
- уровень обработки (табл. 2).

Таблица 2. Типы данных ДЗЗ из космоса в зависимости от уровня обработки и соответствующие им продукты ДЗЗ из космоса

Уровень обработки в соответствии с ГОСТ Р 59079-2020	Соответствующий продукт ДЗЗ из космоса	Применение технологий ИИ для обработки данных ДЗЗ
Уровень 0 Распакованные необработанные данные ДЗЗ из космоса с сопутствующей служебной информацией, записываемые в архив хранения. Уровень является базовым для последующей обработки	Первичные продукты ДЗЗ из космоса	Технологий ИИ не применяются
Уровень 1 Данные ДЗЗ из космоса, прошедшие геопривязку и радиометрическую коррекцию в системе координат съёмочного устройства, в том числе сопровождаемые коэффициентами рационального многочлена (<i>англ.</i> Rational Polynomial Coefficients — RPC)	Стандартные продукты ДЗЗ из космоса	Технологии ИИ ограничено применяются для решения задач геометрической коррекции и пространственной фильтрации
Уровень 2 Данные ДЗЗ из космоса, прошедшие геопривязку, радиометрическую обработку и геометрическое трансформирование (на плоскость) или ортотрансформирование (с учётом рельефа) в заданной картографической проекции и системе координат		Технологии ИИ широко используются для решения прикладных задач ДЗЗ на основе тематической обработки данных
Уровень 3 Данные ДЗЗ из космоса, полученные в результате дополнительной обработки данных ДЗЗ из космоса более низкого уровня, в том числе путём их усреднения и объединения в пространстве или во времени	Производные (базовые) продукты ДЗЗ из космоса	
Уровень 4 Данные ДЗЗ из космоса, полученные в результате тематической или аналитической обработки данных ДЗЗ из космоса более низкого уровня	Тематические продукты ДЗЗ из космоса	

Из табл. 2 видно, что применение технологий ИИ уместно не на всех уровнях данных, а преимущественно на уровнях, соответствующих тематической обработке информации. Учитывая, что создание ИСДЗЗ в обязательном порядке предполагает наличие представительных наборов обучающих данных, определённые ограничения по использованию интеллектуальных технологий в области ДЗЗ связаны с соотношением длительности периода накопления представительной обучающей выборки, динамичностью объекта наблюдения и периодичностью проведения съёмки. Наблюдения должны быть достаточно продолжительными и при этом достаточно частыми, чтобы обеспечить формирование представительного набора данных, описывающего примеры решения задачи ИИ применительно к определённому объекту ДЗЗ с учётом динамичности последнего.

Несмотря на наличие приведённых выше технологических ограничений, методы ИИ оказываются востребованными при решении задач дистанционного зондирования Земли в различных отраслях экономики, социальной сферы, в области обороны и безопасности (Гарбук,

Губинский, 2020). При этом на первый план выходят ограничения регуляторного характера, связанные с недостатками нормативно-технической базы, устанавливающей требования в области создания и применения ИСДЗЗ. К основным таким недостаткам (нормативно-техническим «барьерам») следует отнести:

- отсутствие унифицированных механизмов объективного подтверждения функциональных характеристик ИСДЗЗ в условиях недостаточной понятности (прозрачности, интерпретируемости) используемых алгоритмов обработки данных. Данное обстоятельство ограничивает возможность использования ИСДЗЗ в особо ответственных приложениях, для которых требуется гарантированное качество решения интеллектуальных задач в предусмотренных условиях эксплуатации систем;
- отсутствие требований к процедурам гарантированной «деклассификации» информации, обрабатываемой в ИСДЗЗ. В результате оказывается невозможной публикация обучающих наборов данных для различных прикладных задач ДЗЗ, что сдерживает создание эффективных ИСДЗЗ с привлечением широкого круга разработчиков.

Мировой опыт нормативно-технического регулирования вопросов применения технологий ИИ в системах ДЗЗ

На международном уровне нормативно-технические документы, регулирующие вопросы создания и применения систем ИИ, разрабатываются в рамках профильного подкомитета SC42 Artificial Intelligence (искусственный интеллект) объединённого технического комитета ISO/IEC JTC 1 Information Technologies (информационные технологии). В 2019–2020 гг. были рассмотрены различные варианты использования технологий ИИ и в результате подготовлен специальный технический отчёт⁴, в котором в области ДЗЗ было отмечено единственное приложение, связанное с формированием открытого набора пространственных данных, необходимого для разработки интеллектуальных алгоритмов обработки аэрокосмических изображений при решении следующих задач:

- мониторинг городской среды (обновление кадастровой информации, землепользование, оценка численности населения и др.);
- картирование угроз (оценка ущерба от стихийных бедствий);
- мониторинг объектов критически важной инфраструктуры (линий электропередачи, железнодорожных путей, трубопроводов), выявление растительности и других угроз безопасности.

Необходимо отметить, что этот вариант использования технологий ИИ для решения задач ДЗЗ был предложен в международный отчёт коллективом отечественных авторов (Novikov et al., 2018).

Также особенности нормативно-технического регулирования ИСДЗЗ рассматриваются в проекте международного документа, посвящённого вопросам робастности нейросетевых алгоритмов обработки информации при обработке аэрокосмических изображений⁵. В документе под робастностью понимается способность системы сохранять заданную функциональность (*англ.* performance) при любых обстоятельствах. При этом рассматриваются следующие искажения аэрокосмического изображения, влияющие на качество работы нейросетевых алгоритмов: аддитивный шум, засвечивание, вибрация и поворот съёмочной аппаратуры, атмосферные турбулентности, размытие, нарушение цветности и смазывание. Отмечается, что для оценки робастности могут применяться следующие методы:

- статистические методы, позволяющие определить соответствие свойств системы установленным пороговым значениям путём её тестирования на специальных наборах данных;
- формальные методы, заключающиеся в строгом доказательстве сохранения заданных свойств системы в предусмотренных условиях её эксплуатации;

⁴ ISO/IEC DTR 24030 Information Technology. Artificial Intelligence. Use cases.

⁵ ISO/IEC 24029-1 Information technology. Artificial Intelligence (AI). Assessment of the robustness of neural networks. Part 1: Overview.

- эмпирические методы, позволяющие экспериментально оценить степень, в которой свойства системы сохраняются на всей совокупности тестовых сценариев.

В целом разработка стандартов, устанавливающих требования в области применения технологий ИИ для решения задач ДЗЗ, находится на начальной стадии. Это обуславливает особую актуальность работ по обоснованию рационального перечня задач нормативно-технического регулирования, который, с одной стороны, учитывал бы необходимость преодоления приведённых выше барьеров, а с другой — не создавал искусственных препятствий на пути развития и прикладного использования технологий ИИ.

Задачи нормативно-технического регулирования процессов жизненного цикла ИСДЗЗ

Выявление особенностей и разработка предложений по нормативно-техническому регулированию вопросов создания и применения ИСДЗЗ могут быть выполнены на основе декомпозиции процессов жизненного цикла (ЖЦ) систем в соответствии с национальным стандартом ГОСТ Р 57193-2016⁶ (табл. 3). Подобный подход был апробирован и хорошо зарекомендовал себя, например, при решении задач управления качеством и рисками в жизненном цикле сложных систем.

Таблица 3. Особенности процессов жизненного цикла ИСДЗЗ

Группа процессов ЖЦ	Процесс ЖЦ	Задачи нормативно-технического регулирования при реализации процесса ЖЦ для ИСДЗЗ
1 Процессы соглашения	1.1 Приобретение	—
	1.2 Поставка	—
2 Процессы организационного обеспечения проекта	2.1 Управление моделью ЖЦ	—
	2.2 Управление инфраструктурой	—
	2.3 Управление портфелем	—
	2.4 Управление человеческими ресурсами	а) в том случае, если ИСДЗЗ предназначена для автоматизации интеллектуальной деятельности, обычно выполняемой человеком вручную, для оценки качества ИСДЗЗ может понадобиться выбор референтной группы квалифицированных операторов
	2.5 Управление качеством	а) для типовых прикладных задач ДЗЗ (см. табл. 1) должны быть разработаны перечни существенных функциональных характеристик ИСДЗЗ и метрики, обеспечивающие оценку качества как степени соответствия значений функциональных характеристик установленным требованиям. Подробнее вопросы оценки качества систем ИИ рассмотрены в работе (Гарбук, Бакеев, 2017); б) если при эксплуатации ИСДЗЗ предусмотрено дообучение системы, то должны быть установлены процедуры периодического контроля качества на этапе функционирования
	2.6 Управление знаниями	а) должны быть разработаны требования к процедурам повторного использования знаний, полученных в ходе обучения ИСДЗЗ, в том числе с использованием процедур «переноса обучения» (англ. transfer learning)

⁶ ГОСТ Р 57193-2016. Системная и программная инженерия. Процессы жизненного цикла систем (ISO/IEC/IEEE 15288:2015, NEQ).

Группа процессов ЖЦ	Процесс ЖЦ	Задачи нормативно-технического регулирования при реализации процесса ЖЦ для ИСДЗЗ
3 Процессы технического управления	3.1 Планирование проекта	а) процесс планирования проекта в обязательном порядке должен предусматривать задачи по формированию обучающих, тестовых и иных наборов данных, специфичных для конкретной прикладной задачи ДЗЗ
	3.2 Оценка и контроль проекта	—
	3.3 Управление решениями	—
	3.4 Управление рисками	а) на этапах верификации, валидации и функционирования должны учитываться риски, связанные с уязвимостью интеллектуальных алгоритмов к воздействию специфических атак на исходные данные, включая состязательные (<i>англ. adversarial</i>) атаки (Chen et al., 2020; Czaja et al., 2018)
	3.5 Управление конфигурацией	—
	3.6 Управление информацией	а) должны быть предусмотрены требования к специфическим процедурам обработки информации, связанным с разметкой данных, необходимым для обучения, дообучения и тестирования ИСДЗ (далее — НД ИСДЗЗ); б) должны быть разработаны специальные требования к качеству НД ИСДЗЗ; в) должны быть разработаны требования к процедурам расширения (аугментации) НД ИСДЗЗ; г) должны быть разработаны унифицированные форматы представления НД ИСДЗЗ. Данная задача имеет место для любых информационных систем, но в случае систем ИИ приобретает особую актуальность вследствие размывания границ между стадиями сбора, хранения и предоставления доступа к данным; д) должны быть разработаны требования к обеспечению конфиденциальности НД ИСДЗЗ, исключающие использование этих данных для недобросовестной конкуренции или использование злоумышленниками сведений об этих данных для повышения эффективности реализации угроз информационной безопасности в отношении ИСДЗЗ; е) должны быть разработаны требования к методам и средствам гарантированной деклассификации НД ИСДЗЗ, т. е. такого преобразования данных, при котором уровень их конфиденциальности необратимо становится достаточно низким и появляется возможность предоставления этих данных широкому кругу разработчиков ИСДЗЗ и другим заинтересованным лицам без рисков нарушения конфиденциальности по 3.6.д
	3.7 Измерения	а) должны быть разработаны требования к унифицированным процедурам измерения функциональных характеристик ИСДЗЗ, основанным на тестировании систем на представительных наборах данных. Подробнее принципы измерения функциональных характеристик систем ИИ рассмотрены в работе (Garbuk, 2018) в рамках предложенного направления «интеллометрия»
	3.8 Гарантии качества	а) унифицированные процедуры оценки функциональных характеристик (3.7.а) и качества (2.5) ИСДЗЗ должны обеспечивать получение соответствующих оценок с заданными точностью и достоверностью в условиях действующих рисков (3.4) и применительно к планируемым условиям эксплуатации ИСДЗЗ по 4.2

Продолжение табл. 3

Группа процессов ЖЦ	Процесс ЖЦ	Задачи нормативно-технического регулирования при реализации процесса ЖЦ для ИСДЗЗ
4 Технические процессы	4.1 Анализ бизнеса или назначения	а) если ИСДЗЗ предназначена для автоматизации интеллектуальной деятельности человека, то должны быть предусмотрены процедуры формализации соответствующей интеллектуальной задачи ДЗЗ и определение функциональных возможностей 3.7.а референтной группы квалифицированных операторов (2.4.а); б) для ИСДЗЗ должны быть сформулированы функциональные требования (3.7.а). При этом могут учитываться возможности квалифицированных операторов 4.1.а по решению заданной прикладной задачи ДЗЗ в ручном режиме
	4.2 Определение потребностей и требований заинтересованной стороны	а) для типовых задач ДЗЗ должны быть разработаны перечни существенных функциональных характеристик ИСДЗЗ (см. также 2.5.а); б) для предусмотренных условий эксплуатации ИСДЗЗ должны быть определены перечни внешних (не зависящих от ИСДЗЗ) факторов, существенным образом влияющих на функциональные характеристики и характеристики ИСДЗЗ (перечень существенных условий эксплуатации); в) для предусмотренных условий эксплуатации должны быть определены диапазоны допустимых значений существенных условий эксплуатации (4.2.б), при которых должна сохраняться возможность применения ИСДЗЗ по назначению (область применения системы, <i>англ.</i> context) с гарантией по 3.8
	4.3 Определение системных требований	—
	4.4 Определение архитектуры	—
	4.5 Определение проекта	—
	4.6 Системный анализ	а) должны быть предусмотрены процедуры, обеспечивающие выбор рационального компромисса между объяснимостью (понятностью, <i>англ.</i> transparency, explainability) алгоритма работы ИСДЗЗ и качеством системы (по 2.4 и 2.5)
	4.7 Реализация	—
	4.8 Комплексование	—
	4.9 Верификация	а) должны быть разработаны требования к унифицированным методикам измерения существенных функциональных характеристик по 3.7.а и 4.2.а; б) при необходимости должны быть разработаны фрагменты тестовых наборов данных, на которых должно осуществляться измерение характеристик 4.9.а, и/или описания тестовых ситуаций, в которых должно осуществляться измерение характеристик 4.9.а. Фрагменты тестовых наборов данных и описание тестовых ситуаций должны обеспечивать формирование тестовых НД, обладающих представительностью в предусмотренных условиях эксплуатации 4.2; в) должна быть обеспечена конфиденциальность тестовых наборов данных, используемых для оценки соответствия систем ИИ предъявляемым требованиям, исключая снижение достоверности получаемых оценок, вызванное переобучением ИСДЗЗ
	4.10 Передача	—

Группа процессов ЖЦ	Процесс ЖЦ	Задачи нормативно-технического регулирования при реализации процесса ЖЦ для ИСДЗЗ
	4.11 Валидация	а) должны быть разработаны унифицированные методики подтверждения возможности успешного решения соответствующих задач ДЗЗ в условиях эксплуатации 4.2
	4.12 Функционирование	а) на стадии функционирования должны быть установлены требования к процедурам дообучения ИСДЗЗ, учитывающие требования по управлению качеством 2.5.б
	4.13 Сопровождение	—
	4.14 Изъятие и списание	—

Задачи нормативно-технического регулирования, приведённые в *табл. 2*, могут быть сгруппированы в следующие функциональные группы:

- 1) обоснование требований и унификация способов измерения существенных функциональных характеристик ИСДЗЗ (2.5.а, 3.4.а, 3.7.а, 3.8, 4.1.б, 4.2.а, 4.6, 4.9, 4.11);
- 2) оценка функциональных возможностей квалифицированного человека-оператора, осуществляющего решение определённой прикладной задачи ДЗЗ в ручном режиме (2.4.а, 4.1.а);
- 3) формализация предусмотренных условий эксплуатации ИСДЗЗ (4.2.б, 4.2.в);
- 4) управление дообучением ИСДЗЗ на стадии эксплуатации, тиражирование разработанных программно-алгоритмических решений на смежные задачи ДЗЗ (2.5.б, 2.6.а, 4.12.а);
- 5) обеспечение конфиденциальности данных при создании и применении ИСДЗЗ (3.4.а, 3.6.д, 3.6.е);
- 6) унификация, обеспечение качества и повышение доступности наборов данных, необходимых для создания и оценки соответствия ИСДЗЗ (3.1.а, 3.6.а, 3.6.б, 3.6.в, 3.6.г).

Отметим, что основная часть задач (1–5) ориентирована преимущественно на устранение нормативного барьера, связанного с отсутствием гарантий качества ИСДЗЗ, а последняя — на преодоление сложностей создания ИСДЗЗ, связанных с ограничениями на доступ к данным и низким уровнем унификации этих систем. В последующих разделах будут рассмотрены варианты решения этих задач, предусматривающие корректировку существующих и разработку новых нормативно-технических документов.

Обоснование требований и измерение функциональных характеристик ИСДЗЗ

Целью данной группы задач нормативно-технического регулирования является обеспечение метрологического единства при измерении функциональных характеристик ИСДЗЗ, предназначенных для решения типовых задач ДЗЗ (см. *табл. 1*). Как уже было отмечено выше, особенностью интеллектуальных систем обработки данных является необходимость использования представительных тестовых наборов данных при оценке функциональных характеристик систем. Проведённый анализ действующих стандартов в области ДЗЗ⁷ свидетельствует, что данная особенность ИСДЗЗ в действующих нормативно-технических документах не учитывается и соответствующие стандарты должны быть дополнены рядом терминов, характеризующих используемые при проектировании, разработке и тестировании ИСДЗЗ наборы данных:

⁷ ГОСТ Р 57668-2017 (ИСО 19115-1:2014). Пространственные данные. Метаданные. Часть 1. Основные положения.

- базовый демонстрационный набор данных — образцовый размеченный НД и/или описание способов формирования такого НД (включая, при необходимости, описание тестовых сценариев, в которых нужно осуществлять испытания системы ИИ), включённые в состав стандарта, устанавливающего унифицированные требования к проведению испытаний систем ИИДЗЗ;
- дополнительный демонстрационный набор данных — дополнительный размеченный НД, предоставляемый заказчиком системы ИИ при формировании уточнённых требований к ИСДЗЗ с учётом специфики конкретной решаемой прикладной интеллектуальной задачи;
- демонстрационный набор данных — совокупность базового и дополнительного демонстрационных НД;
- обучающий набор данных — набор данных, формируемый разработчиком ИСДЗЗ на основе демонстрационного НД и необходимый для создания системы. При формировании обучающего НД разработчиком широко применяются технологии аугментации данных;
- тестовый набор данных — НД, формируемый в испытательной лаборатории на основе демонстрационного НД и необходимый для проведения сертификации, испытаний или аттестации ИСДЗЗ. Особенность тестового НД состоит в том, что этот набор не должен быть известен разработчику системы ИИ (в противном случае испытания окажутся неэффективными), но при этом разработчик и другие заинтересованные стороны должны иметь возможность проверять корректность формирования тестового набора, т.е. принадлежность демонстрационного и тестового наборов данных одной генеральной совокупности (в противном случае результаты испытаний будут непредставительными).

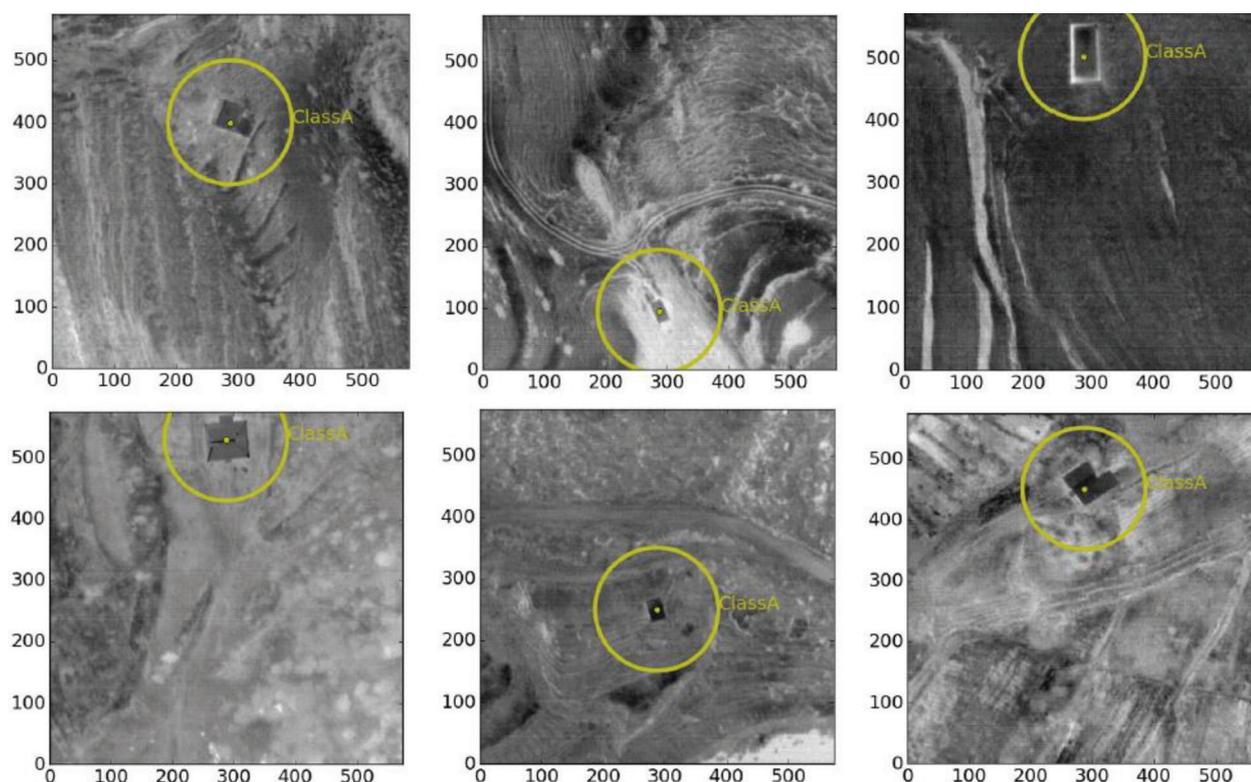


Рис. 1. Пример элементов тестового НД для оценки функциональных возможностей алгоритмов поиска на снимках, полученных в ИК-диапазоне, объектов правильной прямоугольной формы, находящихся вдали от населённых пунктов (www.old.sk.ru)

Тестовые НД должны удовлетворять двум в общем случае противоречивым требованиям: с одной стороны — иметь достаточно общий характер и быть пригодными для испытания

максимально широкого класса прикладных алгоритмов ИИ, а с другой — достаточно детально описывать условия решения задачи ДЗЗ, обеспечивая представительность проводимых испытаний. Соответственно, если при тестировании системы ИИ решается задача оценки качества интеллектуальных алгоритмов геометрической коррекции и пространственной фильтрации данных ДЗЗ, то в качестве тестовых НД целесообразно использовать данные уровня 1 (см. табл. 2), если же тестирование заключается в испытании алгоритмов тематической обработки, то используются данные уровня 2 и выше.

Варианты тестовых наборов данных применительно к задачам видовой разведки были подготовлены и опубликованы в рамках проведённого в 2016–2017 гг. совместного конкурса Фонда перспективных исследований и Фонда «Сколково» (www.old.sk.ru). Участникам конкурса было предложено разработать алгоритмы обнаружения и локализации объектов на снимках, полученных с использованием воздушных и космических средств ДЗЗ в инфракрасном и видимом диапазонах соответственно (рис. 1, см. с. 116, рис. 2). В данном случае в качестве тестовых использовались НД уровня 2.

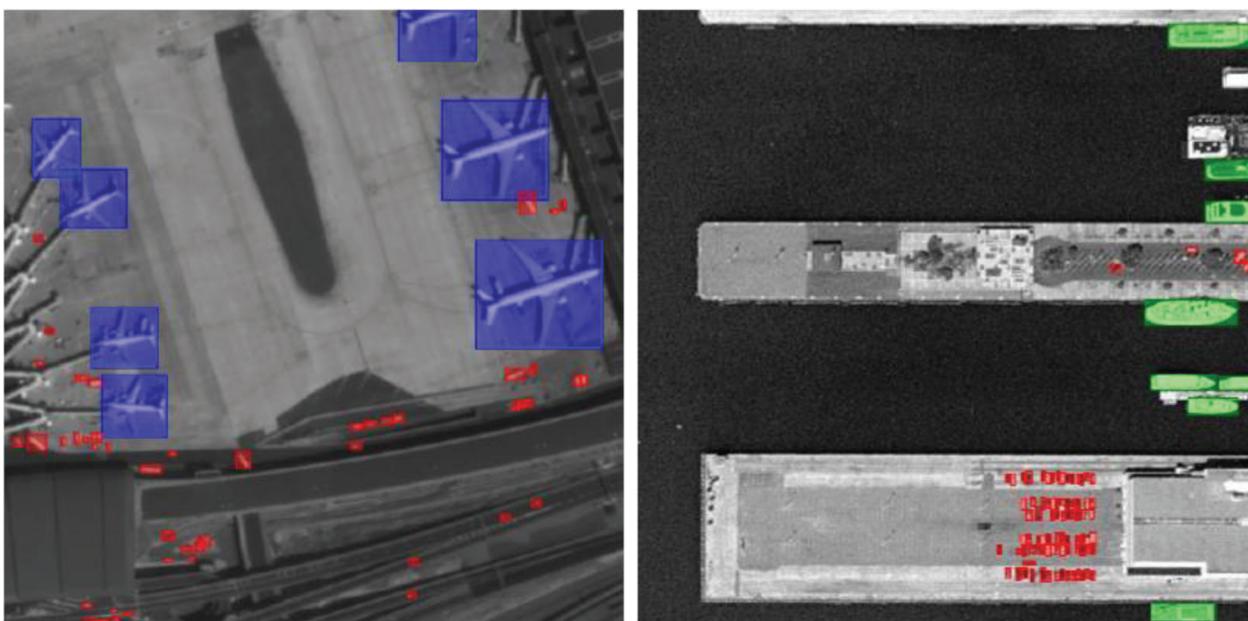


Рис. 2. Пример элементов тестового НД для оценки функциональных возможностей алгоритмов поиска на снимках, полученных в видимом диапазоне, самолётов (выделены синим цветом), кораблей (зелёным) и автомобилей (красным) (www.old.sk.ru)

Весьма перспективным направлением формирования тестовых НД представляется унификация не собственно изображений ДЗЗ (выходных сигналов сенсоров), а достаточно детальное описание тестовых сценариев, включающих объекты и условия наблюдения (характеристики подстилающей поверхности, состояние атмосферы, условия освещённости, погодные условия, ракурсы наблюдения и другие существенные условия решения конкретной задачи ДЗЗ). В этом случае для каждого конкретного сенсора (или набора сенсоров КА) может быть синтезирован набор тестовых изображений, учитывающих характеристики этого конкретного сенсора. Такие стандарты являются наиболее универсальными.

Отметим, что широкие возможности по разработке стандартов, содержащих тестовые НД и/или описания тестовых сценариев, открываются в связи с запланированным введением в оборот стандартов в цифровом виде⁸.

⁸ В 2022 г. в рамках технического комитета по стандартизации ТК012 «Методология стандартизации» запланировано утверждение стандарта ГОСТ Р Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты национальные Российской Федерации. Стандарты национальные в цифровых форматах. Общие положения и классификация.

Оценка функциональных возможностей квалифицированного человека-оператора при решении задач ДЗЗ в ручном режиме

В соответствии с ГОСТ Р ИСО/МЭК 9126-93⁹ основными методами оценки качества средств ИСДЗЗ выступают регистрационный и экспертный, что объясняется присущей системам ИИ непрозрачностью алгоритмов обработки данных. Определение значений показателей качества программного средства (ПС) экспертным методом осуществляется группой экспертов-специалистов, компетентных в решении данной задачи, на базе их опыта и интуиции (например, при выявлении объектов капитального строительства на аэрокосмическом снимке и проверке их соответствия сведениям кадастрового учёта). При этом возникает задача сопоставления измеренных функциональных характеристик ИСДЗЗ с возможностями экспертов при решении той или иной задачи ДЗЗ.

Действующая нормативная база не устанавливает единых требований по измерению функциональных возможностей экспертов, что затрудняет принятие решений о замене человека-оператора на ИСДЗЗ при выполнении ответственных задач дистанционного зондирования. Некоторые подходы к сопоставлению функциональных характеристик прикладных интеллектуальных систем и квалифицированного человека-оператора при решении прикладных задач, формализованных на конкретных тестовых НД, рассмотрены в публикации (Гарбук, Бакеев, 2017). В работе предложены подходы к обоснованию численности экспертного сообщества, необходимого для оценки функциональных возможностей квалифицированного оператора, а также способы преобразования результатов экспертных оценок к метрическому представлению, принятому для методов обработки данных. В качестве критерия достаточности количества операторов при этом используется коэффициент конкордации Кендалла.

Формализация предусмотренных условий эксплуатации ИСДЗЗ

Необходимо отметить, что анализ полноты тестовых НД и, соответственно, представительности оценок функциональных характеристик ИСДЗЗ возможен лишь при наложении определённых ограничений на условия применения системы. В англоязычных документах, в частности в проекте основополагающего стандарта, разрабатываемого в рамках подкомитета ISO/IEC JTC 1 SC 42¹⁰, для обозначения предусмотренных условий эксплуатации системы ИИ используется термин “context”.

Формализация предусмотренных условий применения предполагает выявление внешних факторов, существенным образом влияющих на сложность решаемой прикладной интеллектуальной задачи ДЗЗ, и определение диапазонов значений, которые могут принимать эти факторы в реальных условиях эксплуатации ИСДЗЗ. В действующих нормативных документах перечни таких существенных условий эксплуатации для типовых задач ДЗЗ не определены. Требования к унифицированным способам подтверждения полноты учёта существенных условий эксплуатации при создании и тестировании ИСДЗЗ также не разработаны.

Устранению данного нормативного пробела будет способствовать корректировка национального стандарта ГОСТ 28195-89¹¹ путём дополнения в группу показателей универсальности программных средств (гибкость, мобильность и модифицируемость) комплексного показателя «пригодность», характеризующего в том числе уровень соответствия обучающего и тестового НД планируемыми условиям эксплуатации ИСДЗЗ.

В стандарте ГОСТ Р ИСО/МЭК 9126-93 отмечается, что такие атрибуты программно-го обеспечения (ПО), как эффективность, надёжность, практичность и сопровождаемость,

⁹ ГОСТ Р ИСО/МЭК 9126-93. Информационная технология. Оценка программной продукции. Характеристики качества и руководства по их применению.

¹⁰ ISO/IEC 22989:2021(X) Information Technology — Artificial Intelligence — Artificial Intelligence Concepts and Terminology.

¹¹ ГОСТ 28195-89 Оценка качества программных средств. Общие положения.

должны определяться в конкретных условиях эксплуатации, а возможность использования ПО в различных условиях характеризуется такими атрибутами, как изменяемость и адаптируемость. Однако в данном документе также отсутствуют правила формализации условий эксплуатации ПО и атрибуты, в явном виде характеризующие уровень соответствия наборов данных, используемых при создании и тестировании систем, этим условиям.

Управление дообучением ИСДЗЗ на стадии эксплуатации

Возможность совершенствования (дообучения) в процессе эксплуатации — важная особенность интеллектуальных систем обработки данных. В то же время данная особенность практически не учтена в действующих нормативно-технических документах, что существенно затрудняет использование дообучения в процессе практического применения ИСДЗЗ. Устранению этого недостатка будет способствовать определение в ГОСТ Р ИСО/МЭК 9126-93¹² требований к процедуре повторной оценки качества ПС при дообучении системы ИИ на стадии эксплуатации.

Обеспечение конфиденциальности данных при создании и применении ИСДЗЗ

Конфиденциальность обучающих НД имеет особое значение в задачах искусственного интеллекта, предполагающих наличие активного злоумышленника, способного воспользоваться сведениями об этих наборах данных для снижения качества работы интеллектуальной системы. Примером такого активного противодействия в случае с ИСДЗЗ стало, в частности, повышение эффективности маскировки образцов вооружения и военной техники, элементов военной инфраструктуры за счёт использования сведений о характеристиках обучающей выборки, которая была использована при создании системы видовой разведки противника.

Известны попытки дезинформации средств ДЗЗ и в гражданской сфере. Такие примеры отмечались на строительных объектах, когда подрядчик стремился ввести в заблуждение заказчика строительных работ, использующего средства ДЗЗ для контроля хода строительства. Также известны случаи, в которых производители сельскохозяйственной продукции имитировали с помощью пластиковых муляжей некоторые виды сельхозрастений, пытаясь обмануть конкурентов, формирующих свою ценовую политику исходя из оценки урожая, полученной с использованием средств ДЗЗ.

Примеры искажения результатов работы нейросетевого алгоритма распознавания аэрокосмических изображений, возникающих при воздействии некоторых специфических видов состязательных атак, представлены на *рис. 3* (см. с. 120) (Chen et al., 2020). Видно, что воздействие двух различных атак приводит к тому, что в общедоступном наборе тестовых данных UCM (*англ.* University of California, Merced Land Use) такие объекты ДЗЗ, как сельскохозяйственные посевы, здания, автомагистраль и перекрёсток дорог, распознаются как пляж. В наборе CLRS (*англ.* Continual Learning Benchmark for Remote Sensing) морской порт, автомобильная парковка и игровая площадка распознаются как аэропорт или пустырь. На примере тестовых изображений, разработанных Северо-Западным политехническим университетом (*англ.* Northwestern Polytechnical University — NWPУ, Сиань, Китай), показано, как под воздействием состязательных атак перекрёсток дорог, железнодорожная станция, автостоянка и пляж воспринимаются алгоритмом как взлётно-посадочная полоса (ВПП), аэропорт, самолёт и пустыня соответственно.

В целом угрозы нарушения конфиденциальности обучающих НД с очевидностью актуальны в военной сфере, а в гражданской имеют, скорее, экзотический характер. При этом как для военного, так и для гражданского применения одинаково актуальным становится вопрос

¹² ГОСТ Р ИСО/МЭК 9126-93. Информационная технология. Оценка программной продукции. Характеристики качества и руководства по их применению.

обеспечения конфиденциальности тестовых выборок, на которых осуществляется оценка характеристик прикладных ИСДЗЗ. Нарушение конфиденциальности в данном случае приводит к рискам использования тестовых НД для обучения систем и, соответственно, к снижению достоверности проводимых испытаний ИСДЗЗ.

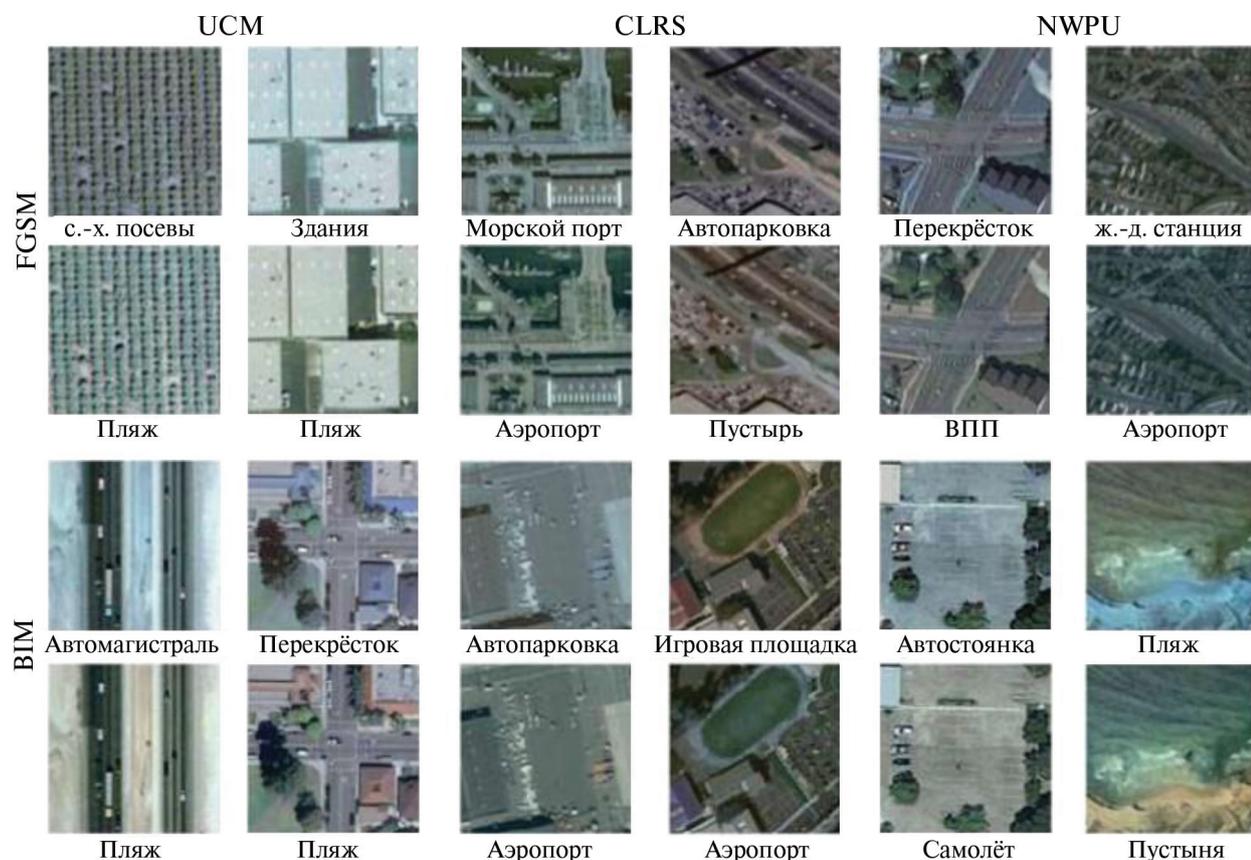


Рис. 3. Примеры искажения результатов работы нейросетевого алгоритма при воздействии состязательных атак типа «базовый итеративный метод» (англ. Basic Iterative Method — BIM) и «метод быстрого градиента» (англ. Fast Gradient Sign Method — FGSM) (Chen et al., 2020).

Унификация и повышение доступности наборов данных, необходимых для создания и оценки соответствия ИСДЗЗ

Одним из важнейших вопросов нормативно-технического регулирования ИИ в области ДЗЗ представляется унификация требований к качеству данных, используемых при разработке, тестировании и эксплуатации ИСДЗЗ. Причём применительно к системам ИИ наиболее важными показателями качества данных выступают представительность и точность обучающих и тестовых наборов данных.

В некоторой степени эти показатели качества учитываются в действующем в настоящее время ГОСТ Р 57773-2017¹³, устанавливающим требования к качеству пространственных данных. Так, в стандарте определены следующие элементы качества данных: полнота, логическая согласованность, позиционная точность, тематическая точность и временное качество. Предусмотренные стандартом элементы качества в области точности позволяют в достаточной степени определить требования к точности обучающих и тестовых наборов данных ИСДЗЗ. В то же время установленные стандартом требования полноты оказываются подмножеством требований представительности, так как не учитывают, например, такое требова-

¹³ ГОСТ Р 57773-2017 (ИСО 19157:2013). Пространственные данные. Качество данных.

ние, как отсутствие смещённости (*англ.* bias) набора данных. Соответственно, при создании и применении ИСДЗЗ требования в области объективности (несмещённости) наборов данных должны задаваться отдельно, что может потребовать корректировки ГОСТ Р 57773-2017. Кроме того, в вышеупомянутом стандарте не определено понятие «предусмотренные условия эксплуатации» ИСДЗЗ, что не позволяет, например, корректно сформулировать требования к такому показателю качества тестового набора данных, как полнота покрытия возможных сценариев использования системы.

Отметим, что представительность используемых наборов данных может быть обеспечена путём:

- использования наиболее полных, своевременно актуализируемых пространственных данных, полученных от различных средств ДЗЗ;
- модификации пространственных данных, полученных при проведении натурных наблюдений средствами ДЗЗ, путём моделирования эффектов, связанных с искажающим воздействием атмосферы на получаемые изображения, различных условий освещённости, адекватным переносом техногенных объектов в другие районы и т.п.;
- формирования пространственных данных с использованием моделей типовых природных ландшафтов и техногенных объектов, а также использования других подходов.

Выводы

Таким образом, в работе были сформулированы основные задачи нормативно-технического регулирования в области интеллектуальных систем обработки информации дистанционного зондирования Земли. Полнота данного перечня задач обеспечивается комплексностью рассмотрения процессов, реализуемых на стадиях жизненного цикла подобных систем, а отсутствие избыточности — направленностью задач нормативно-технического регулирования на преодоление конкретных нормативных барьеров, препятствующих созданию и применению интеллектуальных систем ДЗЗ. Разработка и применение соответствующих нормативно-технических документов обеспечит повышение эффективности решения задач дистанционного зондирования Земли за счёт использования в перспективных системах ДЗЗ технологий искусственного интеллекта.

Литература

1. Гарбук С. В., Бакеев Р. Н. Конкурентная оценка качества технологий интеллектуальной обработки данных // Проблемы управления. 2017. № 6. С. 50–62.
2. Гарбук С. В., Губинский А. М. Искусственный интеллект в ведущих странах мира: стратегии развития и применение в сфере обороны и безопасности. М.: Изд-во «Знание», 2020. 590 с.
3. Chen L., Zhu G., Li Q., Li H. Adversarial Example in Remote Sensing Image Recognition // arXiv preprint. arXiv:1910.13222v2. 2020. 12 p. URL: <https://arxiv.org/pdf/1910.13222.pdf>.
4. Czaja W., Fendley N., Pekala M., Ratto C., Wang I. Adversarial Examples in Remote Sensing // Proc. 6th ACM SIGSPATIAL Intern. Conf. 6–9 Nov. 2018, Seattle, WA, USA. 2018. arXiv: 1805.10997v1 [cs. CV].
5. Garbuk S. V. Intellimetry as a way to ensure AI trustworthiness // Proc. 2018 Intern. Conf. Artificial Intelligence Applications and Innovations (IC-AIAI). 6–10 Oct. 2018, Limassol, Cyprus. 2018. P. 27–30. DOI: 10.1109/IC-AIAI.2018.00012.
6. Novikov G., Trekin A., Potapov G., Ignatiev V., Burnaev E. Satellite Imagery Analysis for Operational Damage Assessment in Emergency Situations // Business Information Systems (BIS 2018): Lecture Notes in Business Information Processing / eds. Abramowicz W., Paschke A. Cham: Springer, 2018. V. 320. P. 347–358.

Tasks of normative and technical regulation of intelligent Earth remote sensing systems

S. V. Garbuk

*National Research University Higher School of Economics, Moscow 109028, Russia
E-mail: sgarbuk@hse.ru*

The article deals with the main Earth remote sensing (ERS) tasks that are solved using artificial intelligence (AI) technologies. A task classification is singled out which is backed by the universal classification of applied intelligent tasks based on functional similarity of the artificial and natural intelligence. The article shows the types of data for which processing the use of the AI methods is most reasonable. The main regulatory and technical barriers have been defined preventing from efficient design and usage of the AI systems in ERS as well as standardization objectives intended to break these barriers. When setting up a list of crucial standardization objectives, the global and national experience in the AI standards development for ERS has been taken into account. To make the suggested objectives list complete, an approach is offered based on the holistic analysis of the ERS intelligent system life cycle processes. Therefore, the following are suggested as the main groups of tasks for regulatory and technical solution of AI usage problems for ERS: validation of requirements and harmonization of procedures for measuring essential functional characteristics of the ERS intelligent systems (ERSIS); assessment of functionalities of a skilled human operator solving a certain ERS application task manually; formalization of the specified ERSIS operating conditions; additional ERSIS learning control during operation, replication of designed software-based algorithmic decisions on related ERS tasks; provision of data confidentiality when designing and applying ERSIS; harmonization, assurance of quality and increase of accessibility of data sets required for ERSIS development and conformance evaluation.

Keywords: artificial intelligence, applied problems of artificial intelligence, intelligent problems of remote sensing of the Earth, system life cycle, evaluation of the functional characteristics of intelligent systems, intellimetry, quality of artificial intelligence systems

Accepted: 04.03.2022

DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-1-107-122

References

1. Garbuk S. V., Bakeev R. N., Competitive assessment of the quality of intelligent data processing technologies, *Problemy upravleniya*, 2017, Vol. 6, pp. 50–62 (in Russian).
2. Garbuk S. V., Gubinskii A. M., *Iskusstvennyi intellekt v vedushchikh stranakh mira: strategii razvitiya i primeneniye v sfere oborony i bezopasnosti* (Artificial intelligence in the leading countries in the world: development strategies and application in the field of defense and security), Moscow: Izd. “Znanie”, 2020, 599 p. (in Russian).
3. Chen L., Zhu G., Li Q., Li H., Adversarial Example in Remote Sensing Image Recognition, *arXiv preprint, arXiv:1910.13222v2*, 2020, 12 p., available at: <https://arxiv.org/pdf/1910.13222.pdf>.
4. Czaja W., Fendley N., Pekala M., Ratto C., Wang I., Adversarial Examples in Remote Sensing, *Proc. 6th ACM SIGSPATIAL Intern. Conf.*, 6–9 Nov. 2018, Seattle, WA, USA, 2018, arXiv: 1805.10997v1 [cs.CV].
5. Garbuk S. V., Intellimetry as a way to ensure AI trustworthiness, *Proc. 2018 Intern. Conf. Artificial Intelligence Applications and Innovations (IC-AIAI)*, 6–10 Oct. 2018, Limassol, Cyprus, 2018, pp. 27–30, DOI: 10.1109/IC-AIAI.2018.00012.
6. Novikov G., Trekin A., Potapov G., Ignatiev V., Burnaev E., Satellite Imagery Analysis for Operational Damage Assessment in Emergency Situations, In: *Business Information Systems (BIS 2018): Lecture Notes in Business Information Processing*, Abramowicz W., Paschke A. (eds), Cham: Springer, 2018, Vol. 320, pp. 347–358.