

ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДАХ ДИАГНОСТИКИ УТЕЧЕК ГАЗА НА ПРОМЫСЛОВОМ ГАЗОПРОВОДЕ

Аннотация. В статье рассматривается возможность оптимизации и автоматизации своевременного обнаружения утечек метана из промышленных газопроводов через применение искусственного интеллекта. Рассмотрены методы поиска утечек газа традиционными способами, а также, предложено решение по поиску утечек с помощью математической модели через ИК-камеры и газоанализаторов. Модель позволит повысить оперативность обнаружения утечек и снизить издержки.

Ключевые слова: математическая модель, искусственный интеллект, утечка газа, компьютерное зрение, мультимодальные данные.

Введение. Газовая отрасль является неотъемлемой частью экономики страны. Добываемый газ идет как на внутренний рынок, так и на экспорт, способствуя ее развитию [1, 2]. Учитывая сложность, систем добычи газа, его перекачки, климатические условия, в которых эксплуатируются газопроводы и их протяженность риск возникновения нештатных ситуаций достаточно велик, одной из наиболее частых ситуация, является утечка газа из системы трубопроводов [3].

Опасность возникновения утечек газа заключается в том, что это несет за собой и экономические издержки от потери газа, риски техногенных катастроф, например, пожаров, влияние на окружающую среду, т.е. экологические риски, риски для жизни и здоровья людей [3]. О необходимости регулярного контроля за утечками газа и принятия оперативных мер говорят и мнения экспертов, меры и технологии, которые применяются для предотвращения, мониторинга и оперативного устранения утечки.

Учитывая, что трубопровод — это сложная система, и условия, в которых эта система эксплуатируется, избежать утечек на всем протяжении газопровода невозможно.

Для решения этой проблемы, существует множество технологий и методов, основной задачей которых является своевременное обнаружение утечек и их идентификация, установление места утечки, а, также, регулярный и непрерывный мониторинг.

Среди наиболее распространенных способов можно выделить регулярный обход выездными бригадами, визуальный контроль и с помощью датчиков изменения давления или газоанализаторы.

Все эти способы имеют как преимущества, так и недостатки, среди которых можно отметить слабую чувствительность к мелким утечкам, невозможность применения непрерывного мониторинга, невозможность точно установить место утечки, фоновые «шумы» и другие [3].

В настоящее время одной из основных задач стоит регулярность и непрерывность мониторинга и максимально точное определение места утечки, с целью своевременного обнаружения утечек и оперативного реагирования.

Сейчас одними из самых распространенных способ являются выездные бригады, чья эффективность достаточно низкая, в виду того, что отсутствует непрерывный мониторинг за местами возможных утечек и облет газопровода (магистрального), этот способ, также, слабоэффективен, т.к. является достаточно дорогостоящим и больше направлен поиск врезок [3].

Из современных способов выделяют несколько, акустический, с применением ИК-камер, и лазерная детекция. Все способы имеют как преимущества, так и недостатки, для исследования был выбран метод обнаружения утечек через ИК-камеры, т.к. он позволяет точно выявить место утечки, есть возможность круглосуточного непрерывного мониторинга, а, также, относительно слабо подвержен «шумам».

К ключевым недостаткам этого метода можно отнести необходимость круглосуточного наблюдения за мониторами со стороны оператора, чтобы не упустить утечку. Существует множество автоматических систем, которые снимают рутинные задачи с человека и могут самостоятельно выявлять утечки, и при обнаружении, оповещать оператора.

Среди таких инструментов зачастую применяют искусственный интеллект (далее — ИИ), одной из задач которого взять на себя выполнение рутинных задач [4].

ИИ достаточно обширно начинает внедряться в нефтегазовую отрасль как на этапах добычи, так и на этапах транспорта газа по трубопроводу.

Применение ИИ вызвано рядом преимуществ, во-первых, это экономически выгодно, во-вторых, снимает рутинные задачи с человека, в-третьих, он работает круглосуточно [4, 5].

Одним из популярных направлений развития ИИ, является компьютерное зрение, которое способно по изображения «понимать» картину и контекст происходящего. Существуют исследования, где ИИ применяется для обнаружения курильщика в местах, где это запрещено [6], или исследования, где с применением рекуррентных нейросетей определяется концентрация метана [7].

ИИ не лишено и недостатков, одним из главных, является ошибки ИИ при выполнении своих задач. Точность, как правило, снижается за счет недостаточного обучения нейросети, при наличии достаточного большого количества данных для обучения, можно повысить и точность ИИ, тем самым, снижая риск ложного срабатывания [8].

Настоящие исследования посвящены выявлению утечек газа на промышленных газопроводах через применение ИИ. Сложность обнаружения газа, влияние различных факторов, ряда ограничений со стороны требований внутренних локальных актов и законодательства, накладывает необходимость учитывать такое влияние.

Поэтому модель обнаружения утечек имеет следующую концепцию: ИК-камеры работают в непрерывном мониторинге мест потенциальных утечек. Изображения с камер обрабатывает нейронная сеть и фиксирует аномалии, если такие происходят. Параллельно с этим регулярный мониторинг концентрации газа ведется через газоанализаторы, данные с которых поступают в другую нейросеть, рекуррентную, которая отслеживает фоновую концентрацию газа и ее изменение. В случае возникновения аномалии на ИК-камерах, происходит идентификация на предмет утечки и опрос газоанализаторов и хронологии фоновой концентрации газа. В случае, если утечка подтверждается, ИИ подключается заранее заложенные в него инструкции о применении сценариев и, в зависимости от ситуации, передает оператору информацию о наличии утечки, места утечки, указаниям причин, по которым ИИ принял решение о том, что это утечка и предложением аргументированного сценария действия, наиболее подходящего для такой ситуации.

Такой подход позволяет снизить рутинные задачи оператора, проводить круглосуточный непрерывный мониторинг, с высокой точностью установить место утечки, за счет получения информации из разных источников с высокой точностью подтвердить наличие утечки, а также выбрать наиболее подходящий ситуации сценарий.

Таким образом, проблема утечки газа является достаточно острой, по причине сложности системы, в которой утечки неизбежны, большой протяженностью газопровода, которая делает невозможным полный контроль над ним, и исследованиями, которые проводятся для снижения риска утечек или их своевременного обнаружения.

Проблематикой исследований, является то, что существующие решения не позволяют в полной мере отследить утечки в режиме реального времени, либо связаны с высокой стоимостью обнаружения таких утечек. На это влияет ряд факторов: климатические условия, рельеф, удаленность газопровода от оперативных центров, протяженность газопровода и другие. При решении такой проблемы, по мнению экспертов, необходимо использовать системный подход, когда объединяются несколько систем, тем самым компенсируя недостатки друг друга.

Целью исследований является — моделирование диагностики и идентификации утечек газа, использующей мультимодальные данные с ИК-камер и датчиков фоновое наличие газа и выдающей наиболее оптимальные рекомендации согласно заложенных сценариев и требований действий в различных ситуациях.

Задачами исследований является моделирование диагностики и идентификации утечки метана на промышленных газопроводах с применением искусственного интеллекта на основе мультимодальных данных. Генерация синтетических данных для применения машинного обучения нейросети для идентификации утечек метана через ИК-камеры.

Актуальность исследований подтверждается тем, что газопровод — это сложная система, утечки в которой неизбежны, они несут большие экономические затраты, создают пожарную опасность, опасность для жизни и здоровья людей, а также экологические риски.

Научная новизна исследования заключается в создании модели, которая включает в себя обработку мультимодальных данных различных устройств, анализирует информацию и предлагает наиболее оптимальный сценарий действий из заложенных в него с учетом наложенных ограничений.

Материалы и методы. Одной из проблем получения данных, а именно изображений утечки метана в ИК-спектре для обучения нейронной сети, является сложность получения информации, т.к. во-первых, сложно выявить место, где произойдет утечка, а учитывая протяженность газопровода эта проблема еще более усугубляется. Во-вторых, специфика оборудования, необходимая для визуализации утечки метана.

Метан виден в инфракрасном спектре на длине волн от 3 до 4 мкм, поэтому стандартные ИК-камеры неспособны его увидеть, т.к. в подавляющем большинстве, они работают в спектре от 8 до 14 мкм, таким образом, метан для них, так же как и для человеческого глаза, невидим.

В настоящее время существуют различные ИК-камеры с пропускными полосовыми фильтрами, которые могут «видеть» метан в его спектре (рис. 1) [9].

Подобные камеры возможно применять как стационарно, так и на БПЛА. Принцип работы такого метода следующий, метан поглощает инфракрасный спектр в диапазоне волн 3-4 мкм, поэтому, при возникновении утечки, газ выделяется на фоне окружающей среды, становясь неким «темным облаком», оператор засекая такую утечку предпринимает необходимые действия.

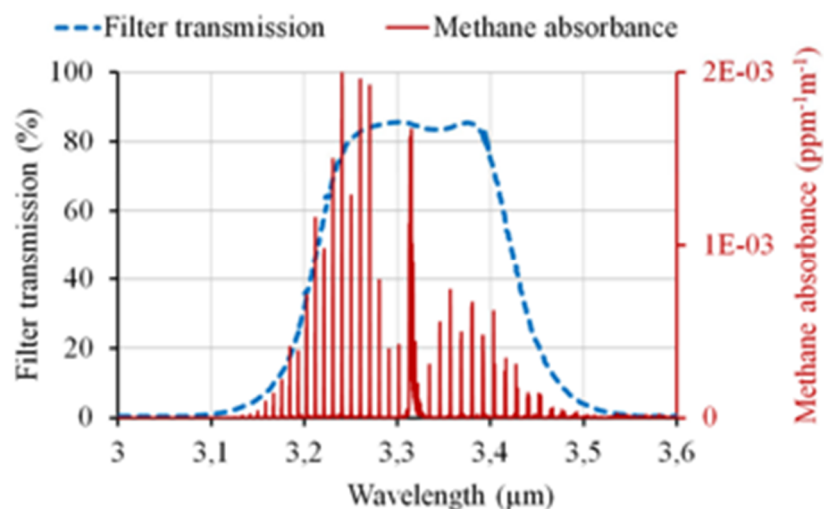


Рис. 1. Спектр поглощения метана и спектр ИК-камеры Spectrogon BP-3317-215 нм (3,2-3,4 мкм)

Одной из основных проблем такого метода является необходимость круглосуточного мониторинга утечек со стороны оператора, т.к. нет систем, которые могли бы в автоматическом режиме зафиксировать подобную аномалию и идентифицировать ее, что это именно утечка метана.

Одним из способов решения этой проблемы является моделирование на основе искусственного интеллекта с применением компьютерного зрения. Задачей такой модели будет выявление утечек метана и передача информации оператору в случае ее возникновения.

Компьютерное зрение является одним из наиболее быстро растущих направлений анализа изображений. Компьютерное зрение часто используется в различных сферах для положением объектов, детектированием и идентификации лиц, поиска и распознавания гос. номеров автомобилей и т.д. [10, 11, 12].

Для выполнения таких задач обычно используют сверточные нейросети или нейросети Deep Learning [10, 13, 14, 15]

Подобная система поможет снизить рутинные операции, повысит оперативность обнаружения утечек и, как следствие, снизить последствия от таких утечек. Также, подобная система способна снизить экономические издержки организации.

Сфера искусственного интеллекта (далее — ИИ) и машинного обучения уже давно применяется в различных сферах, которая преобразует массивы данных в ценную информацию для упрощения принятия процесса решений [4, 5].

Для возможности обучения ИИ процессу обнаружения и идентификации утечек возникает необходимость ее обучения, для этих целей используется ключевая подгруппа — машинное обучение (далее — МО) [5].

Можно выделить следующую алгоритмическую основу машинного обучения:

- контролируемое обучение — обучение с помеченным набором данных;
- неподконтрольное — исследование немеченых данных для поиска закономерностей;
- обучение в подкреплении — оптимальные действия через пробы и ошибки.

Эти алгоритмы позволяют МО выявлять закономерности, делать прогнозы и принимать решения [5, 10, 16].

Процесс обучения ИИ достаточно кропотливая работа, связанная с качеством данных и их разметкой. Учитывая специфику газопровода и сложность оборудования для выявления утечки метана в ИК-спектре, возникает необходимость генерации синтетических данных для обучения ИИ.

Сложность генерации синтетических данных заключается в том, что помимо обнаружения газа, нейросеть должна понимать контекст изображения, учитывать фон, ракурс, погодно-климатический изменений и другие.

Поэтому одной из основных задач для генерации синтетических данных является разделение изображений на несколько слоев: основной объект, фон, наложение изображения (окклюзии), различные отвлекающие факторы, шумы и другие.

Авторами [17] предложен алгоритм генерации изображения, который включает в себя необходимые параметры и, который, планируется применить при дальнейших исследованиях при генерации синтетических изображений (рис. 2).



Рис. 2. Алгоритм генерации изображений

Результаты. В качестве результатов проведенных исследований можно отметить, что:

1. Была подтверждена актуальность и проблематика исследований.
2. Были проанализированы существующие методы.

3. Выявлена возможность применения искусственного интеллекта при решении существующей проблемы.
4. Проанализированы преимущества и недостатки такого решения.
5. Разработана общая концепция системы.
6. Начат анализ существующих способов генерации синтетических данных.

Заключение. В статье представлены результаты исследований, которые включают в себя инженерные, математические исследования и исследования по моделированию и алгоритмизации. Проанализированы существующие решения проблемы, выявлены преимущества и недостатки методов. По проведенным исследованиям можно сделать вывод о том, что проблема существует и она актуальна. Предложенные способы решения проблемы ранее не предлагались. На текущий момент, предлагаемое решение имеет как ряд преимуществ, так и недостатков, основным из которых можно выделить сложность получения изображений утечки метана в ИК-спектре. На основе проведенного анализа состояния вопроса была сформирована концепция предлагаемого решения и составлен план и задачи дальнейших исследований для достижения поставленной цели.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Молдован, А. А. Газовая промышленность в мире и основные тенденции ее развития / А. А. Молдован // E-Scio. — 2022. — № 3(66). — С. 184-192. — EDN UBWWBK.
2. Татаренко, В. И. Газовая промышленность России: добыча, транспорт, экономические проблемы / В. И. Татаренко, Б. В. Робинсон // Интерэкспо Гео-Сибирь. — 2013. — Т. 3, № 1. — С. 80-91. — EDN QITXCB.
3. Халбакшеев А. Потери на трубопроводах: ищем утечки и врезы // Нефтегазовая промышленность № 2 (2) 2022. URL: <https://dprom.online/oilngas/poteri-na-truboprovodah-ishhem-utechki-i-vrezy/> (дата обращения: 08.05.2025).
4. Файзуллаева И. Г. «Искусственный интеллект» и достижения и проблемы человечества // Oriental Renaissance: Innovative, education, natural and social sciences 2024. May. 4 (5).
5. Мокшанов М. В. Применение искусственного интеллекта в анализе данных: обзор текущего состояния и будущих направлений // Universum: технические науки: электрон. научн. журн. 2024. 5(122). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/17513> (дата обращения: 10.05.2025).
6. Елисеева М. С. Обнаружение курения по видео и нейросетевой подход / М. С. Елисеева // Робототехника и искусственный интеллект : Материалы XI Всероссийской научно-технической конференции с международным участием, Железногорск, 14 декабря 2019 года / под науч. ред. В. А. Углева. — Железногорск: Литера-Принт, 2019. — С. 218-223. — EDN LHPSAA.
7. Шпрехер Д. М. Выбор структуры и параметров нейронной сети для прогнозирования концентрации метана в угольном забое / Д. М. Шпрехер, Г. И. Бабокин, Е. Б. Колесников // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. — 2020. — № 5. — С. 46-57. — EDN OLMDZL.
8. Горбань А. Н. Ошибки интеллекта, основанного на данных / А. Н. Горбань // Интеллектуальные системы в науке и технике. Искусственный интеллект в решении актуальных социальных и экономических проблем XXI века : Сборник статей по материалам Международной конференции и Шестой всероссийской научно-практической конференции, Пермь, 12–18 октября 2020 года / под ред. Л. Н. Ясницкого. — Пермь: Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2020. — С. 11-13. — EDN NDTSXV.

9. Визуализация утечки газа с помощью тепловизионной камеры.: URL: https://inscience.ru/library/article_post/vizualizaciya-utechki-gaza-s-pomoshchyu-teplovizionnoj-kamery (дата обращения: 10.05.2025).
10. Гладкий С.Л. Применение нейронных сетей для обнаружения фактов курения в системах видеонаблюдения // Интеллектуальные системы в науке и технике. Искусственный интеллект в решении актуальных социальных и экономических проблем XXI века : сборник статей по материалам Международной конференции «Интеллектуальные системы в науке и технике» и Шестой всероссийской научнопрактической конференции «Искусственный интеллект в решении актуальных социальных и экономических проблем XXI века» (г. Пермь, 12–18 октября 2020 г.) / под ред. Л. Н. Ясницкого ; Пермский государственный национальный исследовательский университет. — Электронные данные. — Пермь, 2020. — 16,7 Мб ; 654 с.
11. Шапиро Л., Стокман Дж. Компьютерное зрение.: пер. с англ. — 2-е изд. (эл.) — Москва: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013, 752 с.
12. Лукьяница А. А., Шишкин А. Г. Цифровая обработка видеоизображений. Москва : «Ай-Эс-Эс Пресс», 2009. — 518 с.
13. Гудфеллоу Я., Бенджио И., Курвилль А. Глубокое обучение / пер. с англ. А. А. Слинкина. — 2-е изд., испр. — Москва : ДМК Пресс, 2018. — 652 с.: цв. ил.
14. Chollet F. Deep Learning with Python. — NY.: Manning Publications Co., 2018. — 386 p.
15. Николенко С., Кадури А., Архангельская Е. Глубокое обучение. Погружение в мир нейронных сетей. — Санкт-Петербург : Питер, 2018. — 480 с.: ил.
16. Artificial Intelligence vs. Machine Learning vs. Deep Learning: What's the Difference? — URL: <https://builtin.com/artificial-intelligence/ai-vs-machine-learning>
17. Пчелинцев С. Метод создания синтетических наборов данных для обучения нейросетевых моделей распознаванию объектов / С. Пчелинцев, М. А. Юляшков, О. А. Ковалева // Информационно-управляющие системы. — 2022. — № 3(118). — С. 9-19. — DOI 10.31799/1684-8853-2022-3-9-19. — EDN LBEAQQ.