

Научная статья

УДК 628.143

doi: 10.34987/2712-9233.2025.84.36.003

## Методы мониторинга состояния нефтегазовых объектов

**Юлия Леонидовна Павлович**  
**Любовь Викторовна Долгушина**  
**Екатерина Сергеевна Кабакова**  
**Роман Викторович Литвинов**

*Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России*

*<https://orcid.org/0000-0003-1821-144X>*

**Автор ответственный за переписку: Любовь Викторовна Долгушина, [se.sibpsa@mail.ru](mailto:se.sibpsa@mail.ru)**

**Аннотация.** В современной индустрии добычи и транспортировки нефти и газа особое внимание уделяется обеспечению надежности и безопасности нефтегазовых объектов. Рост технологической сложности систем и повышение требований к экологической безопасности обуславливают необходимость внедрения эффективных методов мониторинга. Отслеживание состояния оборудования, трубопроводов и хранилищ позволяет своевременно выявлять и предотвращать возможные аварии и утечки, минимизируя риски для окружающей среды и потери ресурсов.

Применение современных технологий в мониторинге – от дистанционного зондирования до систем автоматизированного контроля и искусственного интеллекта – значительно увеличивает эффективность наблюдений за состоянием объектов. Рассмотрение разнообразных методов мониторинга, от аналитических приборов до комплексных систем сбора и обработки данных, открывает новые возможности для повышения безопасности и эксплуатационных характеристик нефтегазовой инфраструктуры.

**Ключевые слова:** мониторинг, нефтегазовые объекты, аэрокосмический мониторинг, внутритрубный мониторинг, ультразвуковой контроль, беспилотные авиационные системы, тепловизоры, датчики контроля

**Для цитирования:** Павлович Ю.Л., Долгушина Л.В., Кабакова Е.С., Литвинов Р.М. Методы мониторинга состояния нефтегазовых объектов // Актуальные проблемы безопасности в техносфере 2025. № 1 (17). С. 16-29. URL:<https://doi.org/10.34987/2712-9233.2025.84.36.003>.

## Methods of monitoring the condition of oil and gas facilities

**Julia L. Pavlovich**  
**Lyubov V. Dolgushin<sup>1</sup>**  
**Ekaterina S. Kabakova**  
**Roman V. Litvinov**

*Siberian Fire and Rescue Academy EMERCOM of Russia*

<sup>1</sup>*<https://orcid.org/0000-0003-1821-144X>*

**The author responsible for the correspondence: Lyubov Viktorovna Dolgushina, [se@sibpsa.ru](mailto:se@sibpsa.ru)**

**Abstract.** The task of this work was to analyze the composition of the wastewater of the enterprise for the production of reinforced concrete products in order to assess the effectiveness of measures to prevent pollution of surface water bodies. The article presents the results of studies of the composition of industrial wastewater of reinforced concrete products located in Eastern Siberia. The samples were determined by acidity (pH), color, smell; content of suspended matters, oil products, iron, sulfates, chlorides.

Wastewater of the enterprise does not have a smell and color. The level of acidity meets the requirements for water properties for drinking and recreational water use. Ineffective effectiveness of wastewater treatment from suspended solids has been identified. The methods of wastewater treatment applicable to reinforced concrete production are considered. On the basis of the analysis of the best available techniques, technical solutions for wastewater treatment have been substantiated, which make it possible to achieve the normative indicators for discharging pollutants into a surface water body.

**Keywords:** wastewater, reinforced concrete products, pollutants, suspended matters, oil products, best available techniques, filtration.

**For citation:** Pavlovich Y.L., Dolgushina L.V., Kabakova E.S. Methods of monitoring the condition of oil and gas facilities // Actual problems of safety in the Technosphere 2025. № 1 (17). p. 16-29. URL:<https://doi.org/10.34987/2712-9233.2025.84.36.003>.

В современных условиях критически важно проводить всестороннюю оценку комплекса противопожарных мер, поскольку действующие регламенты и стандарты не дают возможности точно определить экономическую целесообразность различных защитных систем. Специфика возгораний в местах хранения нефтепродуктов заключается в их продолжительном характере, интенсивном тепловом излучении и стремительном охвате территории пламенем. Учитывая эти особенности, промышленные объекты обязаны быть оснащены эффективными техническими решениями для предотвращения и борьбы с огнем, при этом существующая методология оценки эффективности противопожарного оборудования и превентивных мер требует существенной доработки.

Нефтеперерабатывающая промышленность России характеризуется наличием крупнейших резервуарных комплексов. Эти парки представляют собой ключевой элемент инфраструктуры наземного хранения, поглощая более половины инвестиций в строительство - порядка 60% от общего объема капиталовложений.

Статистика показывает, что основная доля возгораний в нефтехранилищах - около 35% - фиксируется во время ремонтных и очистительных работ. При этом наибольшую пожароопасность представляют емкости с сырой нефтью, на которые приходится примерно 70% всех инцидентов.

За последнее десятилетие стоимость нефтепродуктов выросла в 10 раз. Это существенно повышает финансовые риски при возникновении пожаров. В совокупности с расширением нефтеперерабатывающего сектора России данные факторы делают вопрос противопожарной безопасности резервуарных парков особенно актуальным и требующим повышенного внимания [1].

В своей деятельности подразделения МЧС России используют целый ряд автоматизированных информационных систем: автоматизированные информационные системы оценки рисков, системы мониторинга и прогнозирования окружающей среды.

Актуальность данной работы состоит в том, что при возникновении пожаров на предприятиях хранения и переработки нефтепродуктов, создается колоссальная угроза для человека, не говоря об экономических потерях в результате возможных пожаров. Поэтому рассмотрение методов и систем мониторинга чрезвычайных ситуаций, обусловленных разливами нефти и нефтепродуктов является основным направлением в предупреждении данных чрезвычайных ситуаций.

В сфере нефтегазовой промышленности актуальность мониторинга состояния объектов вызвана необходимостью обеспечения их надежности и безопасности. Среди основных объектов, подлежащих исследованию, выделяют скважины, магистральные и промысловые трубопроводы, нефтегазоперерабатывающие заводы, а также хранилища углеводородов. Для анализа состояния данных объектов используются различные методы, например, акустический контроль, который позволяет выявлять наличие дефектов в материале оборудования. Визуальный осмотр и фотографирование происходят как в ручном режиме, так и с использованием беспилотников. Применение термографии способствует выявлению участков с аномальными температурами, что может свидетельствовать о нарушениях в работе оборудования. Важным направлением является использование коррозионного

мониторинга, благодаря которому можно оценить скорость коррозии и предпринять меры для ее предотвращения. Таким образом, комбинирование различных методов исследования позволяет комплексно оценить состояние нефтегазовых объектов и принять необходимые меры по их обслуживанию и ремонту.

Эффективность систем экологического мониторинга в нефтегазовом секторе стала предметом углубленного изучения. В работе [2] авторами проведен анализ различных способов отслеживания загрязнений, возникающих при добыче и транспортировке нефти и газа. Особое внимание уделено практическому применению систем наблюдения как с воздуха, так и из космоса, включая их достоинства и недостатки. Детально разобраны факторы, влияющие на выбор конкретной методики контроля загрязнений акваторий и материковой части. На основе реальных примеров продемонстрирована эффективность различных подходов к мониторингу объектов нефтегазовой отрасли. Заключительная часть работы посвящена перспективам развития комплексных технологий экологического мониторинга и прогнозированию возможных путей их дальнейшего совершенствования.

### **Аэрокосмические методы мониторинга**

Важную роль при добыче углеводородов играет их транспортировка. В настоящее время общая протяженность различного типа нефтегазопроводов превышает 1 миллион километров и охватывают более 35% общей площади нашей необъятной страны. Ежегодно на объектах хранения нефти и нефтепродуктов совершается более 50 аварий, а требования нормативных документов ужесточаются. В связи с этим увеличивается необходимость создания новых систем диагностики и мониторинга объектов нефтегазового комплекса [3].

Актуальность разработки и внедрения новых систем мониторинга и диагностики объектов нефтегазового комплекса возрастает в связи с существованием следующих обстоятельств:

1. значительная площадь добычи углеводородов;
2. большая протяженность нефте- и газопроводов;
3. труднодоступность мест добычи сырья;
4. агрессивные природно-климатические условия;
5. увеличением объемов добычи углеводородов в стране;
6. износ оборудования;
7. несвоевременный контроль.

Высокоэффективным методом в этой сфере является метод аэрокосмического мониторинга. Современные технологии аэрокосмического мониторинга открывают широкие возможности для нефтегазовой индустрии. С их помощью эффективно решается целый комплекс отраслевых задач: от разведки новых месторождений до контроля экологической обстановки. Особую значимость эти методы приобретают при освоении арктических территорий и морских акваторий. Спутниковые данные позволяют исследовать геологические структуры перспективных районов, отслеживать состояние трубопроводной инфраструктуры и оценивать воздействие добычи на окружающую среду. В исследовании проводится детальный анализ и классификация направлений применения аэрокосмической информации в нефтегазовом секторе, демонстрируется их практическая ценность для решения текущих производственных задач.

В статье [4] Бондур В.Г. описывает методы дистанционного зондирования и их физические принципы для мониторинга объектов нефтегазовой отрасли с помощью аэрокосмических технологий. Особое внимание в работе уделяется практическому применению этих методов в различных сферах: от наблюдения за состоянием трубопроводных систем до оценки экологической ситуации в районах добычи нефти. Кроме того, автором представлен анализ использования космического мониторинга при ликвидации последствий катастрофы на платформе в Мексиканском заливе 2010 года, когда производилось отслеживание нефтяных загрязнений морской акватории. Также освещается роль аэрокосмических технологий в исследовании ледовых условий при разработке арктических месторождений нефти и газа.

Суть проведения аэрокосмического мониторинга сводится к использованию соответствующих летательных аппаратов (космических спутников, самолетов, вертолетов, беспилотных летательных

аппаратов, дельтапланов), оснащенных различными типами аппаратуры, средства связи, приема и обработки данных для выполнения необходимых задач.

Для мониторинга объектов нефтегазового комплекса могут использоваться: спутники различных классов; пилотируемые космические станции; воздушные средства гражданской и военной авиации; центры управления в кризисных ситуациях; программные и технические средства обработки данных.

На рисунке 1 приведена структурная схема проведения аэрокосмического мониторинга различных объектов нефтегазового комплекса и формирования решения, на основе полученных данных. Отражена цепочка взаимодействия объектов системы и выполняемых ими задач, для достижения конечной цели – получения информации, на основе которой уже будет строиться план дальнейших действий.



Рис. 1. Структурная схема проведения аэрокосмического мониторинга объектов нефтегазового комплекса

В процессе осуществления аэрокосмического мониторинга объектов нефтегазовой отрасли собирается (формируется) исходная информация различного характера (аэрокосмические фотографии, данные дистанционного зондирования, геолокации). Процесс обработки информации может происходить как на земле, так и на борту авиационных средств, с целью повышения оперативности.

Общая схема организации приема, обработки и хранения информации при осуществлении космического мониторинга приведена на рисунке 2. Аэрокосмическая информация, полученная в результате осуществления аэрокосмического мониторинга, подвергается обработке с учетом поставленных задач. На основании результатов формируются промежуточные выводы, строятся тематические карты и геоинформационные системы различной направленности, которые служат основой для формирования дальнейших рекомендаций и принятия управленческих решений.



Рис. 2. Организация приема, обработки и хранения данных при космическом мониторинге

Аэрокосмический мониторинг позволяет с высокой точностью выявить на ранней стадии такие изменения ландшафта. Для высокой степени контроля необходим периодический мониторинг наиболее опасных зон.

Аэрокосмический мониторинг применим во многих случаях, и может применяться для обнаружения утечек из нефтепроводов, комплексного мониторинга состояния трубопроводов объектов хранения нефти и нефтепродуктов.

С появлением аэрокосмического мониторинга заметно увеличились возможности по сбору информации, а также возможности решения других актуальных задач. Данный метод имеет высокий потенциал к развитию и масштабированию по территории нашей страны.

### Внутритрубные методы мониторинга

В настоящее время магистрали нефтегазопроводов имеют большую протяженность, в связи с этим, характер разрушающих воздействий весьма различен, в связи, с чем необходимы новые системы мониторинга и контроля состояния таких объектов. На сегодняшний день существуют различные методы внутритрубного мониторинга, которые имеют свои преимущества и недостатки, но получили весьма широкое применение из-за того, что позволяют не оснащать трубопроводы дополнительной контролирующей аппаратурой, тем самым увеличивая их вес. Основными видами мониторинга в данной области являются: акустическая эмиссия, «эхо» или метод неразрушающего контроля, метод магнитной памяти металла.

Как правило, такие способы мониторинга применяются при оценивании состояния стенки трубы, состоянии изоляции трубы, а также расположения трубопровода. Наиболее эффективным является способ с применением внутритрубного диагностического прибора-дефектоскопа (рис.3), но его применение не всегда возможно, так как трубопровод не оснащен узлами пуска и приема диагностических устройств. Так же данный способ является достаточно медленным, по сравнению с другими способами диагностики.



*Рис. 3. Внутритрубный диагностический снаряд-дефектоскоп*

Следующим способом диагностики по критерию эффективности является метод акустической эмиссии (рис. 4), который позволяет локализовать и ранжировать по степени опасности любые нарушения состояния трубы. Суть метода заключается в увеличении давления до максимального давления, а потом резкого сброса, в результате чего тела трубы начинают испускать акустические волны в ультразвуковом диапазоне. Одновременно с этим производится пеленг источников излучения, с целью определения характера повреждений и их локализацией. К недостаткам метода следует отнести необходимость снятия изоляции с трубы, что увеличивает стоимость работ [5].



*Рис. 4. Метод акустической эмиссии*

Наравне с методом акустической эмиссии стоит метод «эхо» или метод неразрушающего контроля. Суть метода в том, что потоки внутри трубопровода при постоянном сечении ламинарны, то есть отсутствуют завихрения и разрывы однородности протекающей жидкости. При помощи высокочувствительного микрофона прослушивается характерный шум, при нарушении целостности трубопровода интенсивность шума уменьшается, так как разрешение приводит к затуханию волны. При наличии чувствительной аппаратуры дефект может быть обнаружен на расстоянии до 100 метров. Необходимо учитывать и особенности применения данного метода, а именно соблюдения полной тишины, в радиусе 500 метров от места проведения диагностики. То есть при осуществлении различного рода работ в прилегающей окрестности их необходимо будет остановить, что не всегда возможно или будет экономически очень невыгодно.

Следующий способ внутритрубного мониторинга по эффективности является метод магнитной памяти металла, но обычно используется как вспомогательный. Его применение требует открытой трубы, так как он контактный. Основная цель – локализация напряжений в трубе, т.е. поиск потенциально возможных мест разрушения конструкции. Суть метода заключается в анализе

распределения собственного магнитного поля изделия, осуществляемого при помощи прибора (рисунок 5).



*Рис. 5. Сканирование трубы методом магнитной памяти металла*

Оценка остаточной намагниченности, возникшей в результате сварки шва, позволяет оценить физическое состояние шва и распределение в нем остаточных напряжений. Таким образом, использование метода возможно без дополнительного намагничивания конструкции, другими неоспоримыми преимуществами являются: возможность определения мест концентрации напряжений, отсутствие требований к предварительной обработке металла, а также высокая скорость проведения экспертизы.

#### **Ультразвуковой контроль объектов хранения нефти и нефтепродуктов**

Данный способ диагностики не требует снятия защитного слоя и позволяет обнаружить самые незначительные повреждения сварных соединений и стенок труб. Метод основан на использовании акустических волновых колебаний, неразличимых для слуха человека. Данные волны проходят через металл с определенной скоростью, если на пути волны встречается какая-либо пустота. То скорость ее меняется и это изменение фиксирует прибор. По характеристике акустической волны можно понять геометрию дефекта, а также определить его местоположение. Проведение мониторинга таким способом, как правило, производится в автоматическом режиме на основе аппаратных и программных методов. Приборы приема акустического сигнала расположены на определенном интервале вдоль участка трубопровода, они передают информацию в контрольно-вычислительные пункты, где информация интегрируется и анализируется. Автоматизированная система ультразвукового контроля осуществляет постоянный мониторинг участков трубопровода. Обычно такие системы устанавливают в труднодоступных и стратегически важных участках, так как позволяет определить разрушение на начальном этапе с высокой точностью [6].

К основным недостаткам метода следует отнести необходимость создания контрольно-вычислительного пункта, который должен отвечать многим требованиям. А также круглосуточного нахождения оператора для оценки ситуации.

Неоспоримым преимуществом способа является его неразрушимость, т.е. его применение не наносит какого-либо ущерба конструкции, в связи с чем часто применяется для контроля качества сварных соединений (рис. 6). Сварной шов сам по себе может быть выполнен некачественно вследствие влияния человеческого фактора, поэтому дополнительно контролируется, так как является потенциальным местом разрушения конструкции.



Рис. 6. Метод ультразвукового контроля

Ультразвуковым контролем решаются задачи локализации коррозии. Данный способ для решения задачи является наиболее оптимальным и имеют высокую точность. При осуществлении данного метода производится сканирование участка с целью выявления мест затухания частот для дальнейшего анализа (рис. 7).

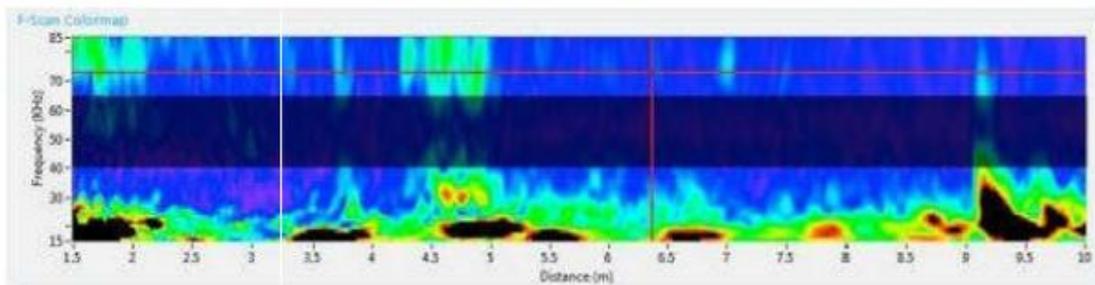


Рис. 7. Осевое сканирование

Далее на основе данных локализуются места, с подозрениями на коррозию, а потом определяется точно места, при помощи использования дополнительных датчиков, которые располагают по всему диаметру трубы в исследуемом участке.

На основании диаграмм частоты, полученных из каналов, появляется возможность точно определить место с коррозией (рис. 8), далее данный участок маркируется соответствующим образом и следует ряд мероприятий, по устранению потенциально опасного для разрушения места.

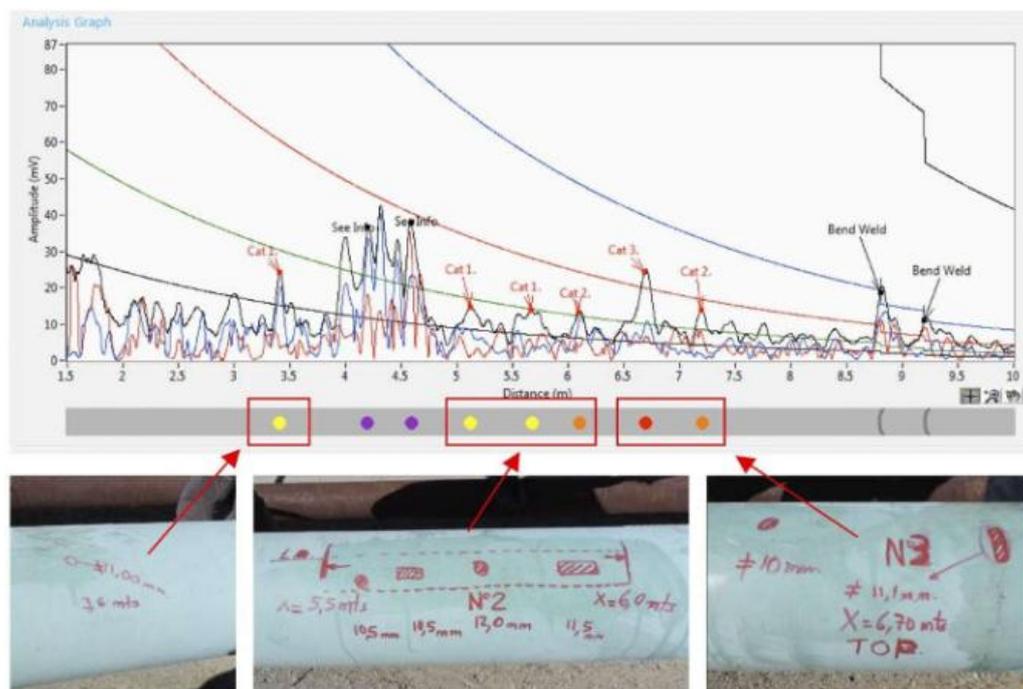


Рис. 8. Маркировка коррозионного места

Графическое представление полученных данных помогает проанализировать оборудование и участки трубопроводов объектов хранения нефти и нефтепродуктов на соответствие требуемым параметрам.

### Мониторинг магистральных нефтегазопроводов с помощью беспилотных летательных аппаратов

Необходимость осуществления визуального мониторинга состояния объектов хранения нефти и нефтепродуктов может возникнуть в различных ситуациях, как правило, в таких случаях используют беспилотные летательные аппараты (БПЛА). Обусловленность их применения вызвана экономической выгодой, по сравнению разведки при помощи вертолета или доставки фотографа при помощи вездеходов к месту съемки [7].

**Данный способ позволяет выполнить следующие задачи:**

1. анализ экологического состояния прилегающей к трубопроводу полосы;
2. контроль и оценка технического состояния магистралей и оценка состояния внешних защитных слоев;
3. выявление изменения грунта под объектом хранения нефти и нефтепродуктов;
4. контроль от постороннего вмешательства человека в целостность трубопровода объектов хранения нефти и нефтепродуктов;
5. координация сил и средств в случае возникновения нештатных случаев;
6. контроль качества выполнения технических работ.

Для реализации указанных выше задач необходимо, чтобы БПЛА мог осуществлять несколько видов съемки. Как правило, используется видео и фотосъемка, но также и применяются тепловизоры. На использование тех или иных видов съемки могут вносить коррективы, к примеру, погодные условия. Так инфракрасная фотосъемка актуальна, только при наличии большого количества солнечной радиации, так как принцип основан на свойстве высокой излучательной способности нефтепродуктов под действием солнечной радиации [8]. При высокой солнечной активности разливы нефти в инфракрасном спектре будут хорошо видны см. рисунок 9.



Рис. 9. Пятно разлива нефти под ИК излучением

Наилучший результат достигается, при одновременном использовании различных способов съемки одновременно.

В мире существует множество различных видов БПЛА от легких моделей, работающих на аккумуляторе, заканчивая беспилотниками самолетного типа оборудованных двигателем внутреннего сгорания. Выбор конкретной модели БПЛА для выполнения поставленной задачи будет зависеть от множества параметров, таких как климатические условия. Размер участка исследования, необходимости передачи данных on-line и т.д. Сравнение характеристик аппаратов различных классов представлены в таблице 1.

**Табл. 1. Основные характеристики беспилотных летательных аппаратов**

Характеристика	БПЛА самолетного типа большой дальности	БПЛА самолетного типа средней дальности	БПЛА самолетного типа малой дальности
Радиус действия	50-70 км	15-25 км	2-5 км
Продолжительность полета	4-5 ч	1-2,5 ч	40-60 мин
Скорость	65-130 км/ч	65-130 км/ч	30-50 км/ч
Взлетная масса	8-10,5 кг	2,5-6,5 кг	1,5-8 кг
Полезная масса	1,5-2 кг	0,3-1 кг	0,3-2 кг
Взлет	Пневматическая катапульта	Эластичная катапульта	Вертикальный
Размах крыла	2-3 м	1-2 м	0,6-1,5 м
Стоимость	1,7-4,5 млн. руб	1,2-3,3 млн. руб	0,9-2,8 млн. руб

Для мониторинга объектов, расположенных на большом удалении целесообразно использовать БПЛА самолетного типа большей дальности. Для оперативной съемки, как правило, используют БПЛА самолетного типа средней дальности. Наибольшую детализацию позволяет достичь БПЛА вертолетного типа малой дальности [9].

Современные тенденции увеличения добычи углеводородов предполагают увеличение протяженности трубопроводов, в связи, с чем возникает необходимость в большом количестве приборов и способов мониторинга состояния таких объектов. Поэтому, объем работ по облету таких объектов колоссальный и на рынке услуг возникают все новые предложения. Данный способ мониторинга является перспективным и имеет широкое распространение на территории нашей страны, поэтому развитию данного направления уделяется особое внимание, о чем свидетельствует динамика увеличения использования БПЛА в нефтегазовой отрасли в России.

В ведущих Российских компаниях, специализирующихся на добыче углеводородов наблюдается рост применяемых БПЛА для мониторинга объектов. В некоторых фирмах спрогнозирован большой спрос на такой вид мониторинга. В связи с чем, развитие данного направления было определено как стратегическое.

### Мониторинг нефтегазопроводов с помощью датчиков контроля

В целях повышения безопасности эксплуатации объектов хранения нефти и нефтепродуктов необходимо своевременно проводить мониторинг и получать оперативную информацию и своевременно на нее реагировать. Информация может быть получена в различных видах, но в конечном итоге после обработки анализируется оператором на удаленном расстоянии, что является неоспоримым преимуществом. Учитывая большую протяженность трубопроводов, существует множество удаленных участков, доступ к которым является затруднительным, поэтому актуальность развития данного метода очень высока [10].

Агрессивность внешних воздействий и суровых климатических условий требует повышенного контроля, с целью раннего обнаружения протечек, повреждений и других нарушений целостности агрегатов системы.

Суть метода заключается в установлении системы специальных датчиков, которые передают информацию по беспроводным радиоканалам. Информация концентрируется в пунктах обработки данных и далее по различным каналам связи передается на сервер. Серверы представляют базы данных, это позволяет анализировать прошлые данные и строить достоверные прогнозы разрушения.

Самым часто возникающим дефектом является коррозия металла стенок трубопровода, в результате чего происходит утечка углеводородов и нарушается целостность конструкции. Этот процесс может быть, как затяжным, то есть разрушение будет вязким, а может быть быстрым и скорость разрушения достигает до 2500 метров в секунду и сопровождается большим количеством выделения тепла, в результате чего может возникнуть возгорание и взрыв.

Другим опасным нарушением конструкции является нарушение теплоизоляции труб, так как значительно снижается энергоэффективность трубопровода.

Современные технологии позволяют создать трубопроводы, сконструированные по принципу сэндвича и на этапе производства, закладываются специальные материалы (рис. 10).



Рис. 10. Состав трубопровода с заложенными датчиками

При прокладке магистральных сетей с заложенными внутри сигнальными проводами их концы выводят наружу и закрепляют клеммами, к которым подключают специальные приборы считывания. Принцип основан на постоянном считывании сопротивления проводника. При возникновении внештатной ситуации, как правило, происходит замыкание проводников и передается сигнал на прибор. По величине сопротивления локализируют место разрушения [11].

При возникновении внештатной ситуации первоочередной задачей является локализация места происшествия, для этого необходимо грамотно выстроить цепь от датчика, считывающего информацию, до ее получения оператором. Оператор будет получать заключение о масштабах произошедшей аварии и принимать меры, по ее ликвидации. Оптимальная схема реализации удаленного мониторинга представлена на рисунке 11.

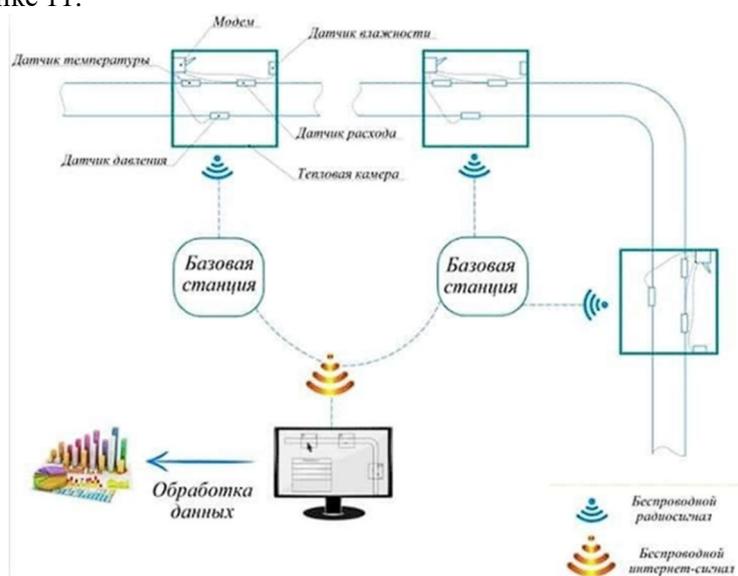


Рис. 11. Схема удаленного мониторинга объектов хранения нефти и нефтепродуктов

Сигналы по проводам передаются на модем, который установлен в камере, далее по радиоканалу передаются на базовые станции. Дальность передачи зависит от местности, но, как правило, лежит в диапазоне от 1 до 5 километров. Базовые станции должны устанавливаться на объектах, имеющих выход в сеть Интернет, для оперативной передачи информации на сервер.

В точках считывания информации устанавливаются не только приборы считывания сопротивления, но и датчики, измеряющие давление, температуру, объем протекающего вещества. В стратегических местах устанавливаются видекамеры, например, в тех местах, куда может легко добраться человек и вывести систему из строя.

В общем случае точность проводимого анализа всегда будет зависеть от точности приборов. Для нормального функционирования необходимо обеспечить требуемые заводом изготовителем условия, что в зимних условиях сделать достаточно трудно, так как температуры достигают отметки 30 градусов Цельсия.

В результате можно сделать вывод, что контроль всех узлов нефтегазовой отрасли можно осуществлять удаленно, применяя различные приборы контроля и считывания информации. Такую сеть необходимо единожды установить и наладить, и далее своевременно проводить анализ показателей приборов и своевременно реагировать на их изменения.

### Сравнение методов и систем мониторинга оценки пожаровзрыво безопасности

Решение задачи мониторинга объектов нефтегазового комплекса может быть реализовано с применением различных методов. В общем случае все методы мониторинга можно разделить на контактные, то есть получение данных производится при работе на участке и удаленные, которые работают в автоматическом или автоматизированном режиме. Последние имеют определенный период эксплуатации, который влияет на выбор системы мониторинга для трубопровода.

Каждый из приведенных выше способов имеет ряд требований, для возможности его применения. Основными ограничениями, влияющими на применение способов контроля, являются температура окружающей среды, возможность физической доставки эксперта к месту экспертизы, схема строения трубопровода и его открытость. Все способы мониторинга являются достаточно устойчивыми к внешним воздействиям, но, как правило, существует один или несколько критериев, которые оказывают существенное влияние. К примеру, для БПЛА наличие сильно ветра может явиться условием, при котором невозможно будет применить данный метод.

В основном на территории Российской Федерации контактные способы оценки применяют в теплое время года, так как требуют доставки сил и средств к оцениваемому участку, а также при обнаружении отклонений удаленными системами с целью детализации разрушений.

Среди методов определения нарушений целостности трубы основными являются: метод акустической эмиссии, метод «эхо» - метод неразрушающего контроля, метод магнитной памяти металла, ультразвуковой метод, а также метод обнаружения при помощи применения датчиков. Для проведения оценки и сравнения данных методов между собой рассмотрим процент возникновения аварий, после проведения обследования (таблица 2).

**Табл. 2. Количество аварий, после проведения мониторинга**

Метод	Количество аварий в 2021 году	% от общего объема аварий
Акустической эмиссии	4	0,08
«Эхо»	2	0,04
Магнитной памяти металла	7	0,14
Ультразвуковой	1	0,02
Датчиков контроля	11	0,22
Другие	25	0,5

Из данной статистики видно, что рассмотренные методы имеют достаточно высокую степень обнаружения слабых мест трубопровода. Особенно выделяются из общей массы 2 метода: ультразвуковой и «эхо», так как являются контактными и трудоемкими. Таким образом, при выборе метода мониторинга может оказать влияние фактор оперативности проведения проверки. К примеру, метод мониторинга с помощью датчиков контроля имеет не такую высокую степень обнаружения, зато позволяет производить анализ в режиме онлайн, без участия человека.

БПЛА эксплуатируются в среднем в течение 5 лет, имеют малые габариты и достаточно просты в эксплуатации. На данный момент БПЛА конструируются таким образом, чтобы их мог эксплуатировать 1 человек. Самым долговечным и износоустойчивыми являются датчики контроля. Срок службы при проведении профилактических мероприятий составляет порядка 40 лет. При выборе датчиков в каждом конкретном случае необходимо учитывать множество факторов, такие как давление в сечении нефтепровода, расход нефтепровода, плотность транспортируемого продукта, внешний диаметр трубы, толщина стенки, абсолютная шероховатость секции трубы, длина секции трубы. Таким образом, данные системы мониторинга являются достаточно долговечными и в период эксплуатации позволят провести большой объем работ по контролю за техническим состоянием трубопроводов. Кроме того, позволяют подобрать оптимальное оборудование для конкретного участка и получать данные с наибольшей точностью.

Обобщенная схема всех методов мониторинга представлена на схеме (рисунок 12).



Рис. 12. Методы мониторинга объектов хранения нефти и нефтепродуктов

Таким образом, для выбора оптимального оборудования для мониторинга объектов хранения нефти и нефтепродуктов необходимо следовать следующему алгоритму: определение типа трубопровода, характеристик транспортируемых материалов, труднодоступность участка, частота использования средств контроля.

Исходя из алгоритма выбора, а также особенностей региона актуальными методами в Алтайском крае являются: аэрокосмический способ, мониторинг с помощью датчиков контроля и ультразвука.

В современной индустрии нефти и газа, где акцент смещается на безопасность, эффективность и минимизацию воздействия на окружающую среду, мониторинг состояния нефтегазовых объектов становится критически важным. Этот процесс включает в себя сбор, анализ и интерпретацию данных о состоянии оборудования, трубопроводов, хранилищ и других компонентов инфраструктуры с целью предотвращения аварий, снижения рисков загрязнения и обеспечения непрерывности производственных процессов. Развитие технологий, например, дистанционного мониторинга, использование дронов и сенсорных технологий, значительно улучшило возможности по обеспечению безопасности и эффективности эксплуатации нефтегазового комплекса. Эти методы позволяют проводить оценку состояния объектов в режиме реального времени, предоставляя ценную информацию для оперативных решений и стратегического планирования.

Аэрокосмические методы играют ключевую роль в мониторинге нефтегазовых объектов, предоставляя уникальные возможности для обеспечения экологической безопасности и контроля за состоянием инфраструктуры. Использование спутниковых снимков и аэрофотосъемка позволяет вести наблюдение за обширными территориями в режиме реального времени, выявлять утечки нефти и газа, следить за изменениями в ландшафте, вызванными деятельностью человека или стихийными бедствиями. Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) дополняют спутниковый мониторинг, обеспечивая сбор данных на местах с высокой степенью детализации. Эти методы в совокупности позволяют оперативно реагировать на возникающие проблемы, минимизируя риски для окружающей среды и обеспечивая безопасность эксплуатации нефтегазовых объектов.

Внутритрубные методы мониторинга представляют собой передовые технологии для оценки технического состояния и диагностики внутренних поверхностей нефте- и газопроводов. Основой таких методов является использование диагностических устройств - интеллектуальных пиггов, способных перемещаться по трубопроводу, собирая при этом важные данные. Эти устройства оснащены различными типами сенсоров, которые могут обнаруживать коррозию, трещины, износ, а также другие дефекты и аномалии стенок труб. Важным преимуществом внутритрубных методов является способность проводить диагностику без остановки эксплуатации объекта, что обеспечивает непрерывность производственных процессов и снижает затраты на обслуживание. Такой подход позволяет оперативно принимать меры для предотвращения аварийных ситуаций, обеспечивая высокий уровень безопасности нефтегазовых объектов.

Ультразвуковой контроль является эффективным методом неразрушающего контроля состояния объектов хранения нефти и нефтепродуктов, включая танкеры, резервуары и трубопроводы. Этот метод позволяет обнаруживать разнообразные дефекты, такие как трещины, коррозия, эрозия и тонкостенные области, не повреждая сам объект. Работа ультразвукового оборудования основана на генерации ультразвуковых волн и их последующем приеме после отражения от внутренних структур. Анализируя время прохождения и амплитуду отраженных волн, можно судить о наличии и характере дефектов внутри материала.

Благодаря своей точности и возможности получения мгновенной обратной связи, ультразвуковой контроль стал незаменимым инструментом для проведения регулярных инспекций, позволяя оперативно идентифицировать проблемные зоны и предотвратить аварийные ситуации на объектах хранения нефти и нефтепродуктов.

Эффективный мониторинг состояния нефтегазовых объектов играет ключевую роль в обеспечении безопасности, устойчивости, и экономической эффективности энергетической отрасли. Разнообразие методов, от визуального осмотра до автоматизированных систем дистанционного контроля, позволяет комплексно подходить к анализу состояния оборудования и инфраструктуры. Интеграция данных, полученных различными методами, способствует более глубокому пониманию текущих условий эксплуатации и потенциальных рисков. Прогресс в области сенсорных технологий и искусственного интеллекта открывает новые горизонты для совершенствования систем мониторинга,

делая их более точными, надежными и оперативными. Таким образом, постоянное развитие методов мониторинга и инновационные подходы к их применению становятся залогом успешной эксплуатации нефтегазовых объектов.

#### **Список использованных источников:**

1. Безденежная, Е. Н. Пожарная безопасность на складах нефти и нефтепродуктов / Е. Н. Безденежная, Л. В. Долгушина // Актуальные проблемы безопасности в техносфере. – 2023. – № 2(10). – С. 46-48. – DOI 10.34987/2712-9233.2023.78.90.008.
2. Бондур, В. Г. Аэрокосмические методы и технологии мониторинга нефтегазовых территорий и объектов нефтегазового комплекса / В. Г. Бондур // Исследование Земли из космоса. – 2010. – № 6. – С. 3-17.
3. Сорокин, Е. В. Пожарная опасность резервуарного хранения нефти и нефтепродуктов / Е. В. Сорокин, Н. Н. Турова // Пищевые инновации и биотехнологии : материалы IV Международной научной конференции, Кемерово, 27 апреля 2016 года. – Кемерово: Кемеровский технологический институт пищевой промышленности (университет), 2016. – С. 672-673.
4. Антонен Кирилл Владимирович Комплексный мониторинг нефтегазовых загрязнений // IACSJ. 2021. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kompleksnyy-monitoring-neftegazovyh-zagryazneniy> (дата обращения: 12.02.2025).
5. Кумов В.С. Многофункциональный акустико-эмиссионный течеискатель для экологически безопасной эксплуатации магистральных трубопроводов / В.С. Кумов, Б.М. Лапшин, А.А. Обгольц, О.А. Сидуленко и др. // Безопасность труда в промышленности. – 2019. - №11. – С.27-28.
6. Лурье М.В. Способ обнаружения утечек жидких углеводородов из магистральных трубопроводов // Патент на изобретение РФ № 2368843.
7. Айроян З. А., Коркишко О. А., Сухарев Г. В. Мониторинг магистральных нефтепроводов с помощью беспилотных летательных аппаратов // ИВД. 2016. №4 (43). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/monitoring-magistralnyh-nefteprovodov-s-pomoschyu-bespilotnyh-letatelnyh-apparatov> (дата обращения: 17.01.2025).
8. Прохоров, А. В. Мониторинг магистральных нефте-газопроводов при помощи беспилотных летательных аппаратов / А. В. Прохоров, И. В. Носков // Вестник евразийской науки. – 2022. – Т. 14, № 6. – EDN TNBGJL.
9. Ремизов А.Е. Обеспечение надежности и безопасности магистральных трубопроводов на базе использования беспилотных и пилотируемых летательных аппаратов / А.Е. Ремизов, С.В. Дайнеко // Промышленный сервис. 2016. - №1. – С.24-29.
10. Василенко, Т. А. Оценка воздействия на окружающую среду и экологическая экспертиза инженерных проектов : учебное пособие / Т. А. Василенко, С. В. Свергузова. — Вологда : Инфра-Инженерия, 2017. — 264 с. — ISBN 978-5-9729-0173-9. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/95751> (дата обращения: 17.01.2025).
11. Будзуляк Б. В., Лопатин А. С., Ляпичев Д. М. Техническое диагностирование оборудования и трубопроводов объектов нефтегазового комплекса с применением инновационных технологий // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. – 2019. – №. 11. – С. 21-26. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41374005> (дата обращения: 17.01.2025).

#### **Информация об авторах**

Л.В. Долгушина – кандидат химических наук, доцент

#### **Information about the author**

L. V. Dolgushina - Ph.D. of Chemical Sciences, Docent

Статья поступила в редакция 28.12.2024; одобрена после рецензирования 01.03.2025; принята к публикации 26.03.2025.

The article was submitted 28.12.2024, approved after reviewing 01.03.2025, accepted for publication 26.03.2025.