

УДК 620.192

## ДИСТАНЦИОННОЕ ОБНАРУЖЕНИЕ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ НА ПОДЗЕМНЫХ ТРУБОПРОВОДАХ

*Н. И. МУРАШКО, Д. В. ГОЛУБЦОВ, К. А. РОМАНОВИЧ*

Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси  
Минск, Беларусь

UDC 620.192

## REMOTE DETECTION OF EMERGENCIES ON UNDERGROUND PIPELINES

*N. I. MURASHKO, D. V. GOLUBTSOV, K. A. ROMANOVICH*

**Аннотация.** Дистанционное обнаружение дефектов трубопроводов, включая сварные швы, представляет собой направление неразрушающего контроля, которое используется для оперативного обнаружения аварийных ситуаций на протяженных объектах теплоэнергетики, нефтехимической и газовой отраслей.

Рассмотрены методы дистанционного обнаружения дефектов магистральных трубопроводов по данным воздушного мониторинга в видимом, ближнем и среднем (тепловом) инфракрасном диапазонах электромагнитных волн. Представлены требования к средствам обнаружения аварийных ситуаций на подземных трубопроводах по данным многоканальной спектральной авиационной съемки.

**Ключевые слова:** неразрушающий контроль, магистральный трубопровод, сварные швы, многоканальная спектральная съемка, авиационный мониторинг.

**Abstract.** Remote detection of pipeline defects, including welding seams, is a direction of non-destructive testing, which is used for the rapid detection of emergency situations at extended facilities of the heat power, petrochemical and gas industries.

Modern methods of remote detection of defects in trunk pipelines based on air monitoring data in the visible, near and middle (thermal) infrared ranges of electromagnetic waves are considered. The requirements for the means of detecting emergency situations on underground pipelines based on the data of multichannel spectral aviation survey are presented.

**Key words:** non-destructive testing, main pipeline, welding seams, multichannel spectral survey, aviation monitoring.

### *Введение*

К неразрушающим методам контроля объектов относятся контроль внешним осмотром и различные виды дефектоскопии. Так, для выявления дефектов сварных швов трубопроводов в процессе их создания используются рентгеновские и гамма-излучения, ультразвук, магнитные методы дефектоскопии и др. В процессе эксплуатации возможности обнаружения дефектов трубопроводов, включая сварные швы, которые являются причинами утечки природного газа, нефти и нефтепродуктов, горячей воды, ограничены не только техническими, но и экономическими факторами. Одной из причин этого является то, что трубопроводы

покрываются гидроизоляцией и укладываются под землю на глубину от 0,8 до 1,0 м.

Принимая во внимание, что трубопроводы являются протяженными объектами, экономически целесообразно применять дистанционные методы обнаружения в реальном времени мест утечки транспортируемых газообразных и жидких веществ. При этом возникает проблема автоматического обнаружения факта утечки продукта и точного измерения координат места его утечки. Здесь под дистанционным обнаружением понимается автоматическая регистрация с борта летательного аппарата прямых и/или косвенных причин, вызванных дефектами трубопровода.

### **1 Дистанционное обнаружение дефектов подземных трубопроводов.**

Далее рассматриваются прямые и косвенные признаки, по которым дистанционно обнаруживаются дефекты трубопроводов при транспортировке жидких и газообразных продуктов: нефть и нефтепродукты (нефтепровод), природный газ (газопровод) и теплая вода (теплосеть).

При утечке природного газа, вызванной дефектом сварного шва, наблюдается эффект дросселирования – понижение давления газа при его протекании через узкую щель канала трубопровода. Дросселирование реального газа обычно сопровождается изменением его температуры. Если температура природного газа перед дросселированием меньше температуры инверсии, то при дросселировании газ будет охлаждаться. Вследствие дросселирования температура газа в магистральных газопроводах может опускаться ниже температуры окружающей среды. Обнаружение факта и места утечки природного газа возможно в процессе синхронной съемки местности в среднем инфракрасном (тепловом) и видимом диапазонах.

При аварии на нефтепроводе на поверхности земли и водоема возникают темные нефтяные пятна, которые могут быть обнаружены в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах. Утечка нефти в местах, где имеет место растительность, может быть обнаружена по косвенным признакам. Экспериментально установлено [1], что при содержании нефти в верхних горизонтах почв в диапазоне 10...40 % угнетение древостоя и подроста может составлять 30...90 %, и даже через 15 лет после загрязнения продолжается процесс отмирания древостоя. При содержании в органогенном горизонте более 40 % нефти происходит полная гибель растительности через 2–3 года после разлива, причем основная ее часть отмирает уже в первый год.

На водной поверхности при штиле 1 м<sup>3</sup> нефти за 10 мин растекается пятном площадью около 1800 м<sup>2</sup> при средней толщине слоя 100 мкм. В случае волнения 1 т нефти загрязняет поверхность воды площадью

до 10...12 км<sup>2</sup>, а нефтяные масла распространяются на расстояние до 300 км от места разлива [2].

При аварии на теплопроводе индикатором утечки горячей воды является тепловая аномалия, которая может быть обнаружена с помощью тепловизора. Синхронная тепловая аэросъемка совместно с видеосъемкой позволяет оперативно обследовать большие площади городской постройки и с высокой достоверностью определить участки тепловой аномалии, вызванной аварией подземного теплопровода.

## **2 Проблемы получения данных дистанционного обнаружения последствий дефектов подземных трубопроводов.**

Оперативное обнаружение дефектов трубопроводов, включая швы, выполняется по данным геодезически привязанной синхронной цифровой авиационной съемки местности в спектральных диапазонах электромагнитных волн. В зависимости от решаемых задач предъявляются требования к спектральным цифровым камерам многоканального аэросъемочного комплекса, среди которых необходимо отметить угол зрения, пространственное, спектральное и временное разрешение, а также требования к точности определения пространственной ориентации камер в момент съемки. В состав комплекса должны входить спектральные цифровые фотокамеры видимого RGB, ближнего NIR и среднего SWIR диапазонов, модуль измерения высоты съемки, гиросtabilизированная платформа (подвес), модуль позиционирования на базе приемника спутниковой навигации (ГЛОНАСС, GPS), бортовой вычислительный комплекс и комплексы передачи данных наблюдения и дистанционного управления цифровыми средствами съемки. При этом дальность передачи данных с борта летательного аппарата на наземный пункт управления должна быть не менее 100 км.

При проектировании авиационного многоканального спектрального комплекса (МСК) необходимо учитывать экономический эффект от его эксплуатации с учетом рисков, связанных с возможной жесткой посадкой беспилотного летательного аппарата (БЛА), при которой часть оборудования может быть повреждена или уничтожена.

Высота съемки может находиться в пределах от 30 до 1000 м. Стоимость получения качественного цифрового снимка местности площадью 1 км<sup>2</sup> зависит от высоты съемки, пространственного разрешения и угла обзора цифровой фотокамеры. На практике целесообразно использовать объектив фотокамеры, имеющий угол зрения 60°. Для обнаружения мест утечек газообразных и жидких веществ из трубопроводов пространственное разрешение снимков, полученных с высоты 1000 м, должно быть не хуже 0,2 м. Для снижения стоимости съемки трасс протяженных объектов с разных высот целесообразно использовать

объективы с переменным фокусным расстоянием. В процессе съемки возникает проблема управления системой цифровых камер МСК.

При обнаружении косвенных признаков утечки нефти используются снимки, полученные в красном и ближнем инфракрасном диапазонах [3]. Спектральное разрешение камеры зависит от характеристик оптического фильтра, который устанавливается на её объектив.

Авиационная съемка может осуществляться при изменении освещенности местности в пределах от 100 до 100000 люкс. Параметров экспозиции фотокамеры всего три: диафрагма, выдержка и светочувствительность. При использовании одной фотокамеры параметры экспозиции устанавливаются автоматически. Одновременная съемка местности двумя и более цифровыми камерами не предполагает автоматическую экспозицию: диафрагма и выдержка камер устанавливается заранее. В этом случае цифровая камера формирует снимки 32-битной разрядности без потери информации. Проблема возникает при автоматическом преобразовании 32-битных изображений в 8-битные, тематическая обработка которых выполняется стандартными средствами.

Необходимо учитывать проблему одновременной многоканальной съемки, при которой относительное время задержки срабатывания затворов цифровых фотокамер должно быть постоянным и не должно быть размытия (смаза) изображения, которое зависит от скорости летательного аппарата – носителя МСК.

В 2017 г. в рамках программы Союзного государства «Мониторинг-СГ» создан многоканальный гиостабилизированный авиационный комплекс дистанционного наблюдения АПК «Спектр», который обеспечивает оперативное получение спектральных снимков видимого, ближнего и среднего инфракрасного диапазонов [4]. Технические характеристики АПК «Спектр» соответствуют лучшим иностранным образцам: UltraCam Eagle (США), A3 Edge (Израиль), CS-15000 (Канада), Quattro DigiCAM (Германия). АПК «Спектр» позволяет обнаруживать прямые и косвенные признаки возникновения дефектов трубопроводов, по которым транспортируется природный газ, нефть и горячая вода. К недостаткам АПК «Спектр» следует отнести отсутствие возможности обнаруживать дефекты трубопровода в реальном времени, а также весовые и габаритные характеристики, которые не позволяют установку его на современных беспилотных летательных аппаратах. Общий вид АПК «Спектр» представлен на рис. 1.

### *Заключение*

Сложность получения достоверной информации о состоянии линейной части магистральных трубопроводов обусловлена специфичностью самого объекта контроля. Значительная протяженность и малодоступность не

позволяют полноценно использовать хорошо известные в промышленности методы неразрушающего контроля. В настоящее время перспективными являются методы и средства дистанционного обнаружения аварийных участков магистральных трубопроводов по данным воздушного мониторинга в видимом, ближнем и среднем инфракрасном диапазонах электромагнитных волн.

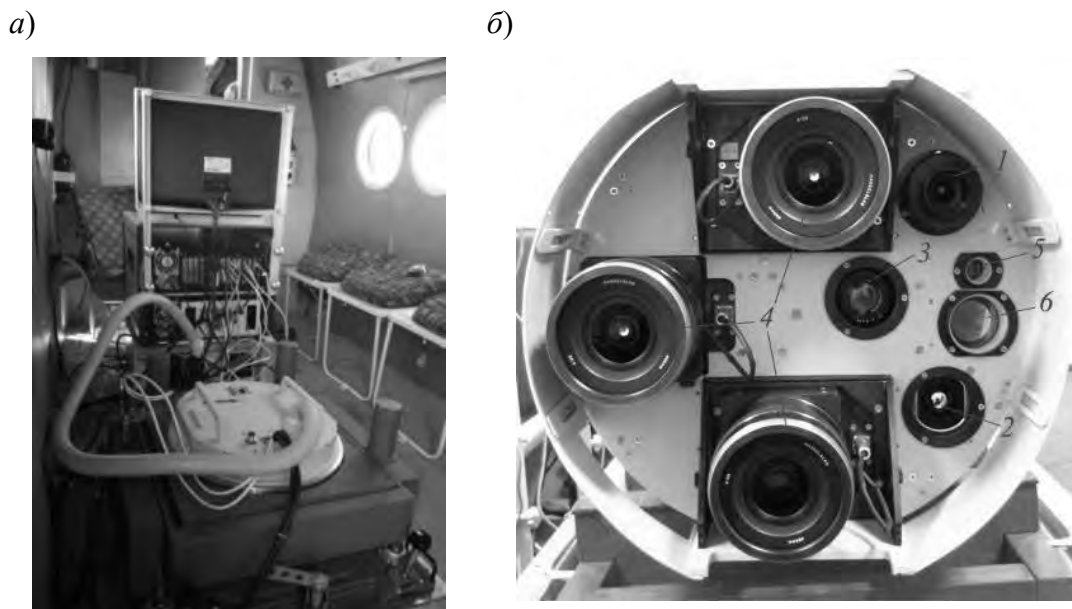


Рис. 1. Аппаратно-программный комплекс «Спектр»: а – общий вид на борту самолета Ан-2; б – многоканальная спектральная фотокамера

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Ходжаева, Г. К.** Оценка риска аварийности нефтепроводных систем в аспекте геодинамических процессов: монография / Г. К. Ходжаева. – Нижневартовск: Нижневарт. гос. ун-т, 2016. – 132 с.
2. **Яковлев, В. С.** Хранение нефтепродуктов. Проблемы защиты окружающей среды / В. С. Яковлев. – Москва: Химия, 1987. – 151 с.
3. **Андреев, А. В.** Обнаружение последствий чрезвычайных ситуаций по данным авиационного мониторинга / А. В. Андреев, Н. И. Мурашко, К. А. Романович // Материалы VII Белорус. космического конгресса. – Минск: ОИПИ НАН Беларуси, 2017. – Т. 2. – С. 99–102.
4. **Мурашко, Н. И.** О совершенствовании системы мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций / Н. И. Мурашко, А. В. Андреев, В. М. Станкевич // Вестн. УГЗ. – 2019. – Т. 3, № 1. – С. 90–96.