

УДК 528.527 (550.8)

ВИДЕОТЕПЛОВИЗИОННЫЙ КОНТРОЛЬ СОСТОЯНИЯ ГАЗОПРОВОДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СВЕРХЛЕГКИХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Кретов Л.Т.¹, Подколзин О.А., Иванников Д.И., Халин И.А., Чекин В.В.

ФГБОУ ВПО «Ставропольский государственный аграрный университет», Ставрополь, Россия (355012, Ставрополь, пер. Зоотехнический 12), e-mail: sgaukadastr26@mail.ru

В статье дано описание видеотепловизионного контроля состояния магистральных газопроводов, рассмотрены современные средства выполнения видео и тепловизионной съемки газопроводов, определены задачи, решаемые видеотепловизионной съемкой. Обосновывается необходимость и целесообразность выполнения контроля состояния магистральных газопроводов с применением сверхлегких летательных аппаратов. Рассмотрены способы повышения точности определения координат мест утечек газа, методы обработки материалов съемки, обосновывается необходимость автоматизированной обработки результатов видеотепловизионного обследования с целью исключения ошибочного определения мест утечек газа. На примере выполнения видеотепловизионной съемки участка подземного газопровода приводится вид термограммы места утечки газа, вид аппроксимации контура температурной аномалии и положение контура изображения утечки в пространстве возможных эллипсов.

Ключевые слова: видеотепловизионный контроль, сверхлегкий летательный аппарат, газопровод, аэросъемка, утечка газа, температурная аномалия

VIDEOTEPIOVIZIONNY CONTROL OF GAS WITH MICROLIGHTS

Kretov L.T.¹, Podkolzin O. A. ¹, Ivannikov D.I., Khalin I.A., Chekin V.V.

FGBOU VPO "Stavropol State Agrarian University", Stavropol, Russia (355012, Stavropol, trans. Zootechnical 12), e-mail: sgaukadastr26@mail.ru

The article describes videoteplivizionnogo monitoring gas pipelines, deals with modern means of doing video and thermographing pipelines defined problems solved videoteplivizionnoy shooting. Necessity and appropriateness of the monitoring of gas mains using ultralight aircraft. The methods for improving the accuracy of the coordinates of the gas leak, methods of data processing surveys, the necessity of an automated data processing videoteplivizionnogo examination in order to exclude false positive leak gaza. Na embodiment videoteplivizionnoy shooting portion of an underground pipeline is kind of the thermogram of a gas leak, the kind of approximation circuit temperature anomalies and the outline of the image position in the space of possible leakage of ellipses.

Keywords: videoteplivizionny control, Microlights, gas, aerial photography, gas leak, the temperature anomaly

Единая общегосударственная система газоснабжения (ЕСГ) в России крупнейшая в мире. Среди них наиболее значимыми являются газопроводы Ставропольского края. Уровень газификации края по оценкам специалистов превышает 90%. По территории края проходят несколько магистральных газопроводов, в том числе Ставрополь – Москва – первый многониточный газопровод в мире и экспортная система «Голубой поток», который берет свое начало от крупнейшего в Европе Северо – Ставропольского подземного хранилища газа (ПХГ). ПХГ (п. Рыздвянный) позволяет варьировать объемы поставок газа в соответствии со спросом, обеспечивает надежность экспортных поставок, выполняет роль автономного источника в газотранспортной системе страны.

Известно, что в системах газопроводного транспорта происходят утечки, которые могут стать косвенной причиной серьезной аварии, например, разрыва трубопровода с

последующим взрывом высвободившегося газа. Поэтому гораздо выгоднее обнаруживать и устранять утечки на ранней стадии их появления, чем компенсировать последствия аварий.

Для своевременного определения утечек, их локализации и общей оценки состояния газопроводов наиболее подходит метод воздушного видеотепловизионного контроля с использованием сверхлёгких летательных аппаратов (СЛА).

Видеотепловизионное обследование проводят с целью оперативной оценки состояния трасс газопроводов и обнаружения мест возможных утечек газа по косвенным признакам. Этими признаками являются:

- изменения температуры почвы в местах средних и сильных утечек, наблюдаемые в инфракрасном диапазоне излучения;
- изменения в растительном покрове, наблюдаемые в видимом диапазоне излучения.

Локальное понижение температуры почвы наблюдается в области выхода газа при его дросселировании к поверхности земли. При адиабатном понижении давления газ охлаждает почву над утечкой. Величина температурной аномалии определяется состоянием газа при фильтрации через почву и внешними условиями, влияющими на обмен теплом между поверхностью земли и атмосферой. Под величиной температурной аномалии понимается максимальная разность температур на поверхности внутри холодного пятна и в стороне от него.

Локальное изменение в растительном покрове (цвет растительности, особенности ее роста и т.д.) обусловлено присутствием в составе почвы метана. Большинство растений не может произрастать на почве, перенасыщенной метаном. Это приводит к видимым изменениям растительности на общем фоне в месте произошедшей утечки [3].

Периодическая съёмка газопровода в видимом и инфракрасном спектральных диапазонах с созданием базы видеотепловизионного наблюдения позволяет оперативно выявлять и своевременно устранять утечки в подземной части газопроводов, а также находить другие аномалии и нарушения в охранной зоне [5].

Большое количество информации, полученной при видеосъёмке, инфракрасной съёмке и путевой привязке, нуждается в обработке. Наиболее очевидной и доступной является обработка методом поочерёдного просмотра оператором полученной видеoinформации и термограмм с последующим сведением результатов и привязки их по времени к географическим координатам, полученным при записи GPS трека. Этот метод работы с информацией довольно действенный, но малопродуктивный. Наиболее эффективной видится автоматическая обработка полученных данных самообучающейся программой. Система должна опознавать обнаруженные объекты и определять их характеристики, такие как линейные размеры, географические координаты и др [6].

Использование аппаратно-программного комплекса серии OTUS дает нам возможность не только обнаружить утечку на безопасном для нас расстоянии, но и чётко определить и координировать это место, используя один и тот же материальный ресурс.

Признаком большой утечки часто является появление выхолаженного эпицентра в температурной аномалии. В качестве примера на рисунке 1 приведена термограмма одного из мест утечек, обнаруженных при видеотепловизионном обследовании.

Обнаруженная температурная аномалия выявлена на фоне луга (дикого поля). Этот фон при отсутствии дорог, стогов сена и других следов человеческой деятельности равномерен в отношении распределения температур. Изменения температур для такого фона составляет 1-2°C в пасмурную погоду с низкой влажностью.

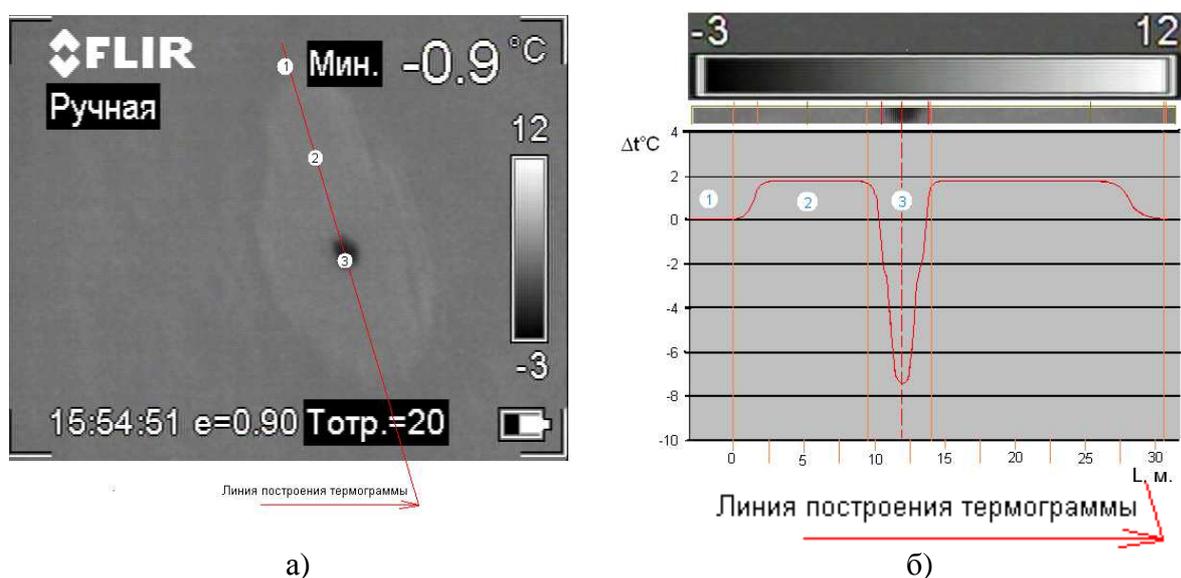


Рис.1. Термограмма участка газопровода в месте утечки (а) и термопрофиль этого участка, построенный по линии оси газопровода (б). Δt – изменение температуры относительно фона.

На термограмме и термопрофиле выделяются три зоны: зона фона (1), зона повышенной радиационной температуры (2) и зона выхолаживания в месте наибольшего выхода газа.

Температурная аномалия, приведённая на рисунке 1, является явно выявляемой, с отчётливо выраженной по отношению к общему температурному фону зоной повышенной радиационной температуры и наличием отчётливой зоны выхолаживания.

Температурные аномалии, вызванные утечками газа из подземных газопроводов, как и в приведённом на рисунке 1 примере, имеют форму, близкую к эллиптической.

Максимальный градиент поверхностных температур в данном случае составил 8,5°C (характерна для большинства мест крупных утечек).

Причиной появления этой аномалии явилась трещина, образовавшаяся в металле околошовной зоны поперечного сварного шва трубы диаметром 420 мм. Длина трещины составила 25 мм, а ширина раскрытия 2 мм. При рабочем давлении газа в трубе 45 атмосфер эта трещина представляла несомненную опасность и являлась причиной большой утечки.

Распознавание мест утечек газа и выявление других аномалий автоматизированной системой связано с коррекцией изображений в видеоряде и на термограммах.

В большинстве случаев сигнал от объекта в несколько раз превышает аппаратные шумы, и коррекция производится изменением цветности, яркости и контраста. В качестве инструмента такой коррекции может быть вейвлет-анализ полученных данных, – это позволит в значительной степени уменьшить вероятность пропуска или ложного обнаружения утечек и других объектов.

Выделение из видеоряда и термограмм полезной информации (места утечек, подвижка грунтов и т.д.) подробно описаны в рисунке 2.

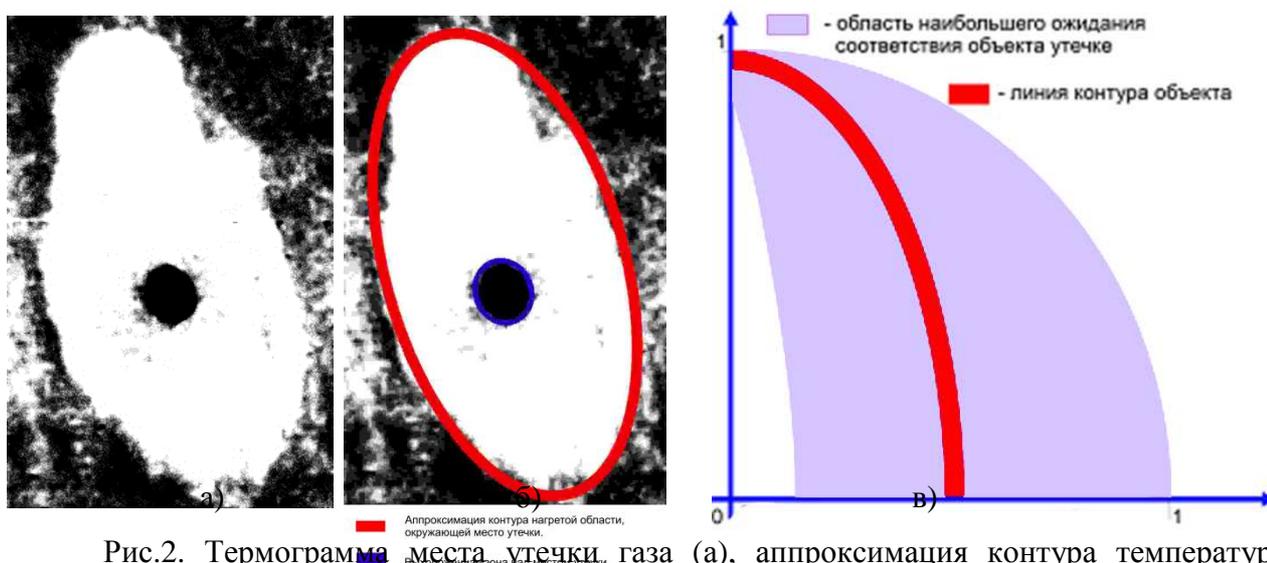


Рис.2. Термограмма места утечки газа (а), аппроксимация контура температурной аномалии эллипсом (б), положение контура изображения утечки в пространстве возможных эллипсов (в).

Высокая точность обнаружения достигается при сопоставлении изображения места утечки с некоторым его инвариантом, объединяющим свойства всех найденных до этого мест утечек. Примером такого инварианта может служить область, определённая множеством вероятных контуров выявленных утечек на их термограммах (рис. 2).

Контур зоны повышенной радиационной температуры в месте утечки может быть аппроксимирован эллипсом. Данная фигура симметрична относительно обеих осей симметрии (рис.2), поэтому для описания её геометрии достаточно привести четверть контура.

Выхоложенный центр зачастую обладает произвольной формой и может находиться на краю или внутри зоны повышенной радиационной температуры.

Место утечки может располагаться только на оси газопровода, определяемой во время видеотепловизионной съёмки по направлению полёта. Появление подобных температурных аномалий в стороне от оси трубы не свидетельствует об утечке.

Для повышения точности опознавания объекта сопоставим термограммы и видеоизображения. Полученные температурные изображения в большинстве случаев совсем не похожи на их изображения в видимом спектре. Например, без такого сопоставления термограмму возможного места утечки легко перепутать с термограммой островка растительности на вспаханном поле в месте установки контрольно-измерительного пункта газопровода. Поэтому определять соответствие полученной термограммы тому или иному объекту можно только после такого сопоставления.

При выполнении работ необходима привязка видеоряда непосредственно к географическим координатам обследуемой местности/

Определение географических координат при полёте над трассой газопровода должно производиться при помощи спутниковой системы глобального позиционирования, например, GPS. Существует несколько систем такого рода, позволяющих определять географические координаты и высоту полёта летательного аппарата в текущий момент с погрешностью не более ± 3 м [7].

Повысить эту точность до сантиметров позволят перспективные комплексы на базе новейшего навигационного чипа корпорации Broadcom BCM 4752. С такой же точностью будет возможно определение местоположения СЛА по вертикали, что очень важно при проведении съёмки. Все эксплуатационные свойства нового чипа в 10 раз превосходят характеристики существующих. Высокая точность определения местоположения новым чипом возможно за счет того, что он контактирует с четырьмя разными навигационными спутниковыми системами – GPS, Глонасс, QZSS и SBAS. Это позволяет получать информацию с 59 навигационных спутников. Кроме того используется информация и от вышек сотовой связи. Наиболее точное вертикальное и горизонтальное положение чип определяет с помощью множества датчиков, таких как акселерометры, твердотельные гироскопы, высотомеры и магнитомеры.

Непосредственная привязка полученных при видеотепловизионной съёмке данных к географическим координатам должна осуществляться в процессе обработки данных видеотепловизионной системой [2].

Основные проблемы, с которыми приходится сталкиваться при проведении видеотепловизионного контроля, заключаются в неточной информации о местах заложения

газопроводов. Это делает невозможным точную трассировку полёта. Необходимо дополнение существующих карт точными координатами характерных точек трассы газопровода, что позволит соблюсти точность позиционирования летательного аппарата [4].

Эффективность проведения видеотепловизионного обследования на магистральных газопроводах и их отводах подтверждается выявлением мест утечек, не выявленных другими методами дистанционного обследования.

Применение оптических систем на гиостабилизированных платформах постепенно начинают приобретать важное место в целевых нагрузках СЛА. Их сложность и насыщенность разнообразными функциями (сопровождение точки в пространстве, вычисление относительных координат точки в пространстве и т.п.) постоянно увеличиваются, растет и стоимость подобных устройств.

Поэтому задача оценки эффективности применения оптических систем на гиоплатформах становится актуальной. Тем более, что сложность задач, возлагаемых на СЛА, постоянно растет. Теоретически эффективность применения оптической системы, обеспечивающей круговой обзор, определяется условной вероятностью обнаружения объекта, находящегося в обозреваемой площади $F_{обз}$ (рис. 3). При определении этого показателя следует учитывать следующие условия:

- ЛА имеет скорость полета $V_{пол} > 0$;

- Угловая скорость поворота оптической оси объектива имеет ограничение и зависит от скорости полета, поэтому необходимо учитывать величину $V_{пол}$ и значения угловых скоростей вращения ЛА относительно нормальной системы координат при совершении эволюций. В противном случае оператор на экране будет видеть смазанное изображение.

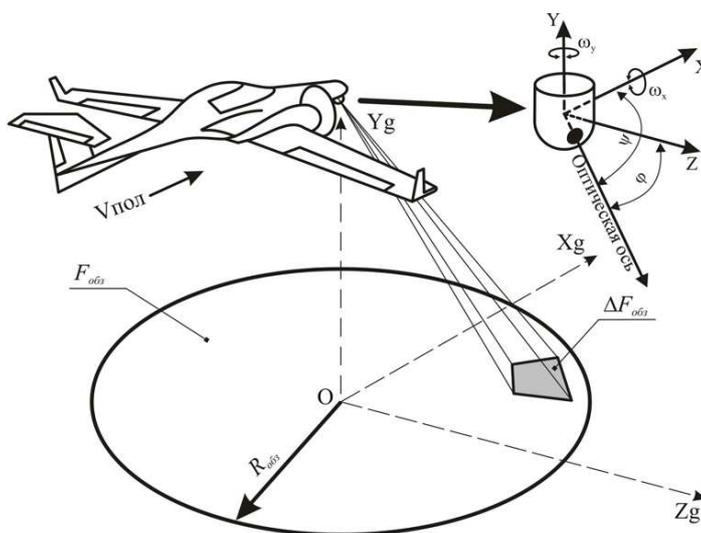


Рис. 3 Условная вероятность обнаружения объекта СЛА

Многочисленные статьи в прессе о высокой эффективности СЛА с оптическими системами на гиросtabilизированных платформах свидетельствуют только о грамотном выборе тактических условий применения СЛА. СЛА выводится в известную область земной поверхности с известными координатами искомого объекта другими способами, при этом оптическая система играет второстепенную роль.

Экономическую целесообразность реализации проекта локального мониторинга газотранспортных систем с применением СЛА оценим в сравнении космического и авиационного по цене 1км.кв. используемой информации, %.

Таблица 1 – Сравнительная характеристика систем локального мониторинга

Тип платформы	Используемая	Масштаб	Цена 1км. кв.
<u>Платформы космического базирования</u>			
EROS	2.5	1:10000	8.2
SPOT-5	1.6	1:25000	2.2
IRS-1C/1D	0.3	1:50000	0.3
SPOT-4	0.1	1:100000	0.52
<u>Авиационные платформы</u>			
АН-30	65	1:2000	38
ТУ-134СХ	56	1:5000	56
МИ-8МТ	70	1:500	45
<u>Сверхлегкие летательные аппараты</u>			
СЛА	95	1:100	3,2

Производительность системы локального мониторинга 25 кв.км./час. Стоимость

1 кв.км. – 3.2 USD. Снижение затрат на выполнение ДЗ в сравнении с КС в 6.9 раз; АФС в 11.8 раз. Прибыль от выполнения производственных летно-съёмочных работ составит не менее 800 000 – 1 000 000 USD/год [1].

Список литературы

1. Белокопытов А.С. Проблемы распознавания мест выхода газа на подземных газопроводах по результатам видеотепловизионного обследования. - Москва, 2011.
2. Лошаков А.В. Инвентаризация земель Ставропольского края с помощью космоснимков / Лошаков А.В., Кипа Л.В., Перов А.Ю., Халин И.А., Лагун С.Г. // Применение современных ресурсосберегающих инновационных технологий в АПК. - 2013. - С. 124-128.
3. Подколзин О.А. Мониторинг подтопленных земель с использованием данных дистанционного зондирования земли в Ставропольском крае /Подколзин О.А., Чекин В.В., Лагун

С.Г., Перов А.Ю. // Современные ресурсосберегающие инновационные технологии возделывания сельскохозяйственных культур в Северо-Кавказском федеральном округе.- 2012. - С. 119-121.

4. Подколзин О.А. Региональная система совершенствования управления земельными ресурсами посредством паспортизации почв / Подколзин А.И., Есаулко А.Н., Подколзин О.А., Лошаков А.В., Шевченко Д.А., Письменная Е.В., Стукало В.А., Хасай Н.Ю., Римша В.Г., Лопатин С.И., Жихарева М.С., Татаринцева А.А., Ткаченко С.С., Перов А.Ю., Кипа Л.В. // Вестник АПК Ставрополя. - 2011. - № 1. С. 15-18.

5. Седых Н.В. Использование малой авиации при проведении геодезических работ /Седых Н.В., Кретов Л.Т., Ткаченко С.С., Ковалева А.А.// Применение современных ресурсосберегающих инновационных технологий в АПК. - 2013. - С. 208-210.

6. Шопская Н.Б. Применение данных дистанционного зондирования для картографического обеспечения мониторинга природной среды в Ставропольском крае / Шопская Н.Б., Подколзин О.А., Стукало В.А.// Вестник АПК Ставрополя. 2012. - № 3. - С. 119-122.

7. Шопская Н.Б. Развитие геодезии и картографии на Северном Кавказе / Н.Б. Шопская, Д.А. Шевченко, С.С. Ткаченко, Л.Т. Кретов, С.В. Одинцов // Научно-обоснованные системы земледелия: теория и практика: сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции/ Ставрополь: Ставропольское издательство «Параграф», 2013. – С. – 261 – 264.

Рецензенты:

Подколзин А.И., д.б.н., профессор кафедры агрохимии и физиологии растений, ФГБОУ ВПО «Ставропольский государственный аграрный университет», г.Ставрополь.

Лысенко И.О., д.б.н., доцент, заведующая кафедрой экологии и ландшафтного строительства ФГБОУ ВПО «Ставропольский государственный аграрный университет», г.Ставрополь.