

УДК 528.48

к.т.н., професор Староверов В.С.,
Staroverov@ gmail.com, ORCID: 0000-0001-6319-0153,
Нікітенко К.О., kira_n85@ukr.net, ORCID: 0000-0002-9936-5231
Київський національний університет будівництва та архітектури

РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ТЕПЛОВІЗОРНОЇ АЕРОФОТОЗЙОМКИ ПРИ ВИЗНАЧЕННІ ПРОСТОРОВОГО ПОЛОЖЕННЯ ТРУБИ МАГІСТРАЛЬНОГО ГАЗОПРОВОДУ

Розглянуто принцип дії сучасних тепловізорів, що є оптимальним варіантом для оперативного збирання температурних показників протягом тривалого часу і судити про тепловий стан об'єкта. На відміну від звичайної денної камери оптичного діапазону, яка вловлює відбитий від предмета світло, тепловізор "бачить" ступінь нагрятості тіла (інфрачервона зйомка), тобто для нього не існує поняття день чи ніч. Тепловізор вловлює випромінювання самого тіла і показує на екрані те, наскільки він нагрітий щодо інших предметів.

Проаналізовані параметри тепловізорної аерофотозйомки, що дозволяють виявити дефекти та зафіксувати зміну температурного поля магістрального газопроводу, що допомагає оцінити якість виконуваних на об'єкті моніторингових робіт, і отримати просторові данні положення труби магістрального газопроводу. Крім того, матеріали отримані в результаті тепловізорної діагностики створюють напрямок проведення серії розрахунків, в результаті яких будуть визначені параметри напружено-деформованого стану магістрального газопроводу та сформульовані рекомендації про ефективність проведення тепловізійних зйомок підземних газопроводів в залежності від наявності природних факторів.

Ключові слова: тепловізорна зйомка, безпілотні літальні апарати (БПЛА), інфрачервона зйомка (ІЧ).

Вступ. Тепловізорна діагностика відноситься до одного з основних напрямків розвитку системи технічної діагностики, що забезпечує точний контроль теплового стану обладнання і споруд без виведення їх з експлуатації. Проведення тепловізорної аерофотозйомки на ранніх етапах це запорука збереження дорогого устаткування, будівель, енергоресурсів, а також запобігання можливих техногенних катастроф, при цьому витрати на проведення термозйомки значно менше витрат на ліквідацію аварії.

Будь-який об'єкт випромінює електромагнітні хвилі в дуже широкому діапазоні частот, в тому числі і хвилі в інфрачервоному спектрі, так зване «теплове випромінювання». При цьому інтенсивність теплового випромінювання безпосередньо залежить від температури об'єкта, і лише в дуже малому ступені залежить від умов освітленості у видимому діапазоні. Таким чином, за допомогою тепловізорного приладу про будь-якому спостережуваному об'єкті може бути зібрана і візуалізована додаткова інформація, недоступна людському оку і приладам. ІЧ-зйомка даних об'єктів може бути виконана з малих (до 100м) висот, при цьому роздільна здатність складає 0,1-0,2 м. Тепловізор - пристрій, що дозволяє візуалізувати картину теплового випромінювання об'єкта, що спостерігається. Це відкриває ряд унікальних можливостей для різних сфер діяльності: точних вимірювань, контролю технологічних процесів, і звичайно визначення просторового положення магістральних газопроводів. Для отримання ІЧ-зображень, діагностики газопровідних систем застосовуються двоканальні тепловізори з діапазонами 2-5 і 8-12мкм.

Отже, актуальним завданням є визначення параметрів тепловізорої аерофотозйомки при визначенні просторового положення труби магістрального газопроводу.

Аналіз досліджень та публікацій. В останні роки з'явилася велика кількість публікацій по використанню тепловізорої аерофотозйомки за допомогою безпілотних літальних апаратів (БПЛА) для вирішення моніторингу та визначенню просторового положення газопровідної системи, а саме: *Вікторов В.А., Лункін Б.В., Совлуков А.С., Павлов Н. І.*, та багатьох інших провідних російських та українських учених і приватних організацій.

Досвід експлуатації газопроводів свідчить про недосконалість існуючих підходів визначення просторового положення труби магістрального газопроводу. Більшість відновлених ділянок, що були в непроектному положенні продовжують трансформуватися, що обумовлює збільшення згинальних напружень в стінці труби і призводить до втрати як загальної, так і місцевої стійкості.

Постановка завдання. Метою роботи є розрахунок параметрів тепловізорої аерофотозйомки при визначенні просторового положення труби магістрального газопроводу.

Основна частина. Тепловізорну діагностику нафто- і газопроводах проводять в холодну пору року, особливо у важкодоступних районах, де виявлення дрібних вогнищ витоків і розливу здатне запобігти місцеві екологічні катастрофи. Тепловізорна аерофотозйомка полягає в порівнянні еталонного і аналізованого полів температури. Аномалії температури служать індикаторами

дефектів, а величина температурних сигналів і їх поведінка в часі, лежать в основі оцінок параметрів об'єктів. Над трасою магістрального газопроводу запускають безпілотний літальний апарат, обладнаний системою, що складається з відеокамери, тепловізора та системи супутникової навігації. БПЛА переміщаючись по заданому маршруту, здійснює запис і передачу на землю цифрової діагностичної інформації у вигляді послідовності прив'язаних до карти зображень. Стационарний комплекс на землі в режимі реального часу здійснює зшивання зображень в стрічку, а також обробку і аналіз отриманої цифрової інформації з метою виявлення місць розривів і витоків [1].

Принцип дії сучасних тепловізорів заснований на здатності деяких матеріалів фіксувати випромінювання в інфрачервоному діапазоні. За допомогою оптичного приладу, до складу якого входять лінзи, виготовлені із застосуванням рідкісних матеріалів, прозорих для інфрачервоного випромінювання (таких як германій), теплове випромінювання об'єктів проектується на матрицю датчиків, чутливих до інфрачервоного випромінювання. Далі складні мікросхеми зчитують інформацію з цих датчиків, і генерують відеосигнал, де різниці температур об'єкта, що спостерігається відповідає різний колір зображення. Шкала відповідності кольору точки на зображенні до абсолютної температури спостережуваного об'єкта може бути виведена поверх кадру. Також можливе зазначення температур найбільш гарячої і найбільш холодної точки на зображенні. Залежно від моделі тепловізори розрізняються по величині ступеня зміни температури. Сучасні технології дозволяють розрізняти температуру об'єктів з точністю до 0,05-0,1 К [2].

Для вимірювань за допомогою тепловізорів необхідно перш за все знати їх параметри і характеристики. До параметрів відносяться: поле і миттєве поле зору, кутовий дозвіл, поріг температурної чутливості, дальність виявлення (малорозмірних тепловипромінюючих об'єктів) і оптична передавальна функція. Основними технічними характеристиками тепловізора, на які звертають увагу фахівці, є: матриці, фокусна відстань, чутливість матриці, кути огляду і температурний діапазон роботи.

Поле зору - плоскі кути по вертикалі і горизонталі, що обмежують область простору, що потрапляє в кадр. *Миттєве поле зору* - плоскі кути по вертикалі і горизонталі визначаються фокусною відстанню об'єктива і лінійними розмірами чутливої площадки приймача випромінювання. *Кутовий дозвіл* - мінімальне значення плоского кута між центрами однаково випромінюючих елементів тест-об'єкта, відокремлених один від одного елементом, рівним їм за розміром і відрізняється за радіаційним контрастом, при якому ці елементи окремо відтворюються в телевізійному зображенні [3].

Поріг температурної чутливості - мінімальна різниця температур об'єкта і фону, що викликає вихідний сигнал, пікове значення якого дорівнює середньоквадратичного значення шуму[4]. *Дальність виявлення* - максимальна відстань між точковим об'єктом спостереження і тепловізором. Цей параметр залежить від великої кількості факторів (характеристик теплоізлюючого об'єкта, стану атмосфери, характеристик фону, на якому знаходиться спостережуваний об'єкт). *Оптична передавальна функція* - міра здатності тепловізора відтворювати просторові частоти, що містяться в зображувальній картині.

Таблиця 1

Параметри тепловізійної аерофотозйомки:

Параметр	Значення			
	5000	2000	1000	500
<i>Маштаба</i>	5000	2000	1000	500
<i>Щільність сканування, точок на 1 м2</i>	0,3-0,5	0,5-2	от 2 до 6	от 8 до 25
<i>Дозвіл фотознімків (RGB), см</i>	20-40	15-20	10-12	6-8
<i>Дозвіл фотознімків (тепловізор), см</i>	2-6	1,5-4	0,7-1,5	0,5-0,7
<i>Перетин рельєфу, м</i>	1 або 2	0.5 або 1	0.5	0.5
<i>Необхідність базових станцій</i>	не потрібна	не потрібна	потрібна	потрібна
<i>Точність в плані, м</i>	2	0,8	0,4	0,2
<i>Точність по висоті, м</i>	0,33-0,66	0,16-0,33	0,16	0,16

Оптимальний спектральний діапазон приймачів випромінювання тепловізорів при тепловізійному обстеженні визначається формулою закону зміщення Віна, згідно з яким обчислюють довжину хвилі λ_{\max} , що характеризується максимальним значенням спектральної поверхневої густини потоку випромінювання фізичного об'єкта:

$$\lambda_{\max} = \frac{2898}{T} \quad (1)$$

де λ_{\max} - виражена в мкм, температура контрольованого об'єкта T - в градусах Кельвіна - К [5].

Таблиця 2

Просторові характеристики тепловізорної зйомки для оптимальних висот польоту мають наступні параметри:

Висота польоту, м	50	100	300	500	1000
Маштаб зйомки	1:50	1:100	1:300	1:500	1:1000
Дозвіл по глибині, м	0.03	0.06	0.18	0.3	0.6
Максимальна глибина проникнення, м	3	6	18	30	60

Отже, встановивши параметри тепловізорної аерофотозйомки можна виконати детальний аналіз тепловтрат і проблемних ділянок, та надалі розрахувати напружено-деформований стан труби, що характеризує просторове положення магістрального газопроводу.

Висновки. Тепловізорна аерофотозйомка заснована на виявленні теплових аномалій на поверхні ґрунту, що викликаються різким перепадом тиску газу при виході з каналу витоків і появою локальних теплових градієнтів в шарі ґрунту над трубопроводом, а також визначається просторове положення газопроводу.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Викторов В.А. Радиоволновые измерения параметров технологических процессов. / В.А.Викторов, Б.В.Лункин, А.С. Совлуков. - М.: Энергоатомиздат, 1989. - 208 с.
2. Павлов Н.И. Обнаружение температурных аномалий, обусловленных заглубленными в грунт инородными объектами / Н.И.Павлов., Е.Э. Эльц // Изв. вузов. Радиоэлектроника. Т. 50, № 3. - 2007. - С. 12–20.
3. ОСТ 3-5231-82. Детали приборов высокоточные металлические. Стабилизация размеров термической обработкой. Типовые технологические процессы. - М.: Госстандарт, 1991.- 60 с.
4. ОСТ 3-4408-91. Тепловизоры. Общие технические требования. Методы измерения основных технических параметров. - М.: Госстандарт, 1991. – 57 с.
5. Параметры тепловизионного оборудования для проведения инфракрасной диагностики или съемки [Электронный ресурс].- Режим доступа : <https://www.tehnology-pro.ru/parametry-teplovizionnogo-oborudovaniya-dlya-provedeniya-infrakrasnoj-diagnostiki-ili-semki.html> – Назва з екрана. – Дата звернення 23.02.2018.

REFERENCES

1. Viktorov V.I., Lynkin A.S., Sovlykov A.S. (1989) Radiovolnovue izmereniya parametrov tehnologicheskikh processov [Radio wave measurements of technological processes]. *Energoatomizdat*, 208. [in Russian].
2. Pavlov N.I. Elc E.E.(2007) Obnarydgenie temperatyrnuh anomalij, obyslovlennuh zaglyblennumi v grynt innorodnumi obektami [Detection of temperature anomalies caused by foreign objects buried in the ground] *Radioelectronics*. T. 50, N 3.-12–20. [in Russian].
3. OST3-5231-82(1991) Detali priborov vusokotochnue metalicheskie. Stabilizacii razmerov termicheskoj obrabotkoj. Tepovue tehnologicheskie processu [Instrument parts high-precision metal. Stabilization of the size by heat treatment. Typical technological processes] М.: *State Standard*, 57 [in Russian].
4. OST3-4408-91. (1991) Teplovizoru. Obshie trebovanie. Metodu izmereniya osnovnug tehnicheskikh parametrov [Thermal imagers. General technical requirements. Methods for measuring the main technical parameters] М.: State Standard, 57 [in Russian].
6. Parameters of thermal imaging equipment for conducting infrared diagnostics or shooting [Unmanned Systems]. (n.d.) unmanned.ru. Retrieved from <https://www.tehnology-pro.ru/parametry-teplovizionnogo-oborudovaniya-dlya-provedeniya-infrakrasnoj-diagnostiki-ili-semki.html>. [in Russian].

к.т.н., профессор Староверов В.С., Никитенко К.А.,
Киевский национальный университет строительства и архитектуры

**РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ТЕПЛОВИЗИРНОЙ АЭРОФОТОСЪЕМКИ ПРИ
ОПРЕДЕЛЕНИИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ПОЛОЖЕНИЯ ТРУБЫ
МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ**

В статье рассмотрены принцип действия современных тепловизоров, которые является оптимальным вариантом для оперативного собрании температурных показателей в течение длительного времени и судить о тепловом состоянии объекта. В отличие от обычной дневной камеры оптического диапазона, которая улавливает отраженный от предмета свет, тепловизирной "видит" степень нагретого тела (инфракрасная съемка), то есть для него не существует понятия день или ночь. Тепловизир улавливает излучение самого тела и показывает на экране то, насколько он нагрет по отношению к другим предметам.

В работе проанализированы параметры тепловизирной аэрофотосъемки, позволяющие выявить дефекты и зафиксировать изменение температурного поля магистрального газопровода, которые помогли оценить качество выполняемых

на объекте мониторинговых работ, и получить пространственные данные положения трубы магистрального газопровода. Кроме того, материалы полученные в результате тепловизирной диагностики создают направление проведения серии расчетов, в результате которых будут определены параметры напряженно деформированного состояния магистрального газопровода и сформулированы рекомендации об эффективности проведения тепловизирных съемок подземных газопроводов в зависимости от наличия природных факторов.

Ключевые слова: тепловизирная съемка, беспилотные летательные аппараты (БПЛА), инфракрасная съемка (ИК).

Staroverov V.S., Nikitenko, K.A.

Kiev National University of Construction and Architecture

CALCULATION OF PARAMETERS OF THERMAL VISION AEROPHOTIC SURVEY WHEN DETERMINING THE SPATIAL POSITION OF THE PIPE OF MAIN GAS PIPELINES

The article describes the principle of operation of modern thermal imagers, which is the best option for the rapid collection of temperature indicators for a long time and to judge the thermal state of the object. In contrast to the usual daylight camera of the optical range, which captures the light reflected from an object, the thermal-vision “sees” the degree of the heated body (infrared shooting), that is, there is no concept for it day or night. Thermal imaging captures the radiation of the body itself and shows on the screen how heated it is with respect to other objects.

The work analyzed the parameters of thermal aerial photography, allowing to identify defects and record changes in the temperature field of the main gas pipeline, which helped to assess the quality of the monitoring work performed at the facility, and obtain spatial data on the pipe position of the main gas pipeline. In addition, the materials obtained as a result of thermal imaging create a direction for a series of calculations, which will determine the parameters of the stress-strain state of the gas pipeline and formulate recommendations on the effectiveness of thermal imaging of underground gas pipelines, depending on the presence of natural factors.

Keywords: thermal imaging, unmanned aerial vehicles (UAVs), infrared shooting (IR).