

Key words: *sediment, deformation, matrix, correlation moment, correlation, function, confidence interval.*

Надійшла до редакції

02.03.2018

УДК 528.48

В. С. Староверов, канд. техн. наук, професор,
К. О. Нікітенко, аспірант кафедри інженерної геодезії,
Київський національний університет будівництва і архітектури

ОЦІНКА ТОЧНОСТІ ДИСТАНЦІЙНОЇ ДІАГНОСТИКИ ТРУБОПРОВОДУ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ БПЛА СЕРІЇ SUPERCAM

У роботі розглянуто методи дистанційної діагностики трубопроводу, їх переваги і недоліки. Проаналізовано різні класи безпілотних літальних апаратів (БПЛА), що можуть бути економічнішими під час проведення ряду робіт порівняно з традиційними методами, а також здатними підвищувати безпеку і якість виконуваних робіт.

Запропоновано використання БПЛА серії Supercam, визначено їх точність і значний внесок в проведення інженерно-геодезичних вишукувань для газотранспортної системи. Завдяки безпілотникам для геодезії фахівці отримують дані, що дають змогу розробити моніторинг трубопроводу, зважаючи на раціональне використання й охорону навколишнього середовища, прогнозувати зміни природного середовища ділянки під впливом будівництва й експлуатації трубопроводу.

Ключові слова: *газопровід, безпілотні літальні апарати (БПЛА), дрон, дистанційна діагностика, цифрова модель поверхні (ЦМП).*

Вступ. Безпілотні літальні апарати (БПЛА), відомі також як безпілотники або дрони, вже міцно закріпилися в багатьох галузях людської діяльності. Кількість їх зростає з величезною швидкістю, як і коло завдань, які можна вирішувати за їх допомогою.

Вимірювання й аерофотозйомка місцевості, виконувані безпілотними літальними апаратами, нині є актуальним і рентабельним вирішенням багатьох питань в галузі геодезії і топографії.

Використовувані в геодезії БПЛА, пролітаючи заданим маршрутом як в автоматичному, так і в напівавтоматичному режимі, отримують точні і достовірні фото- і відеоматеріали про особливості рельєфу місцевості, на якій заплановано будівельні роботи, виконують наземне лазерне сканування, геологорозвідку, моніторинг будівель і споруд. Отримані з безпілотника й оброблені в спеціалізованому програмному забезпеченні дані є основою в проектуванні будівництва, створенні цифрових й електронних карт, складанні топографічних

планів місцевості та виконанні моніторингу інженерних споруд великої протяжності.

Дрони можна використовувати для повітряної інспекції факельних труб, паливних сховищ, ліній електропередачі та трубопроводів. Їх основна перевага - можливість доступу до важкопрохідних і небезпечних зон. Завдяки БПЛА заощаджують значні кошти і підвищують безпеку виконуваних робіт.

За допомогою безпілота можна зібрати велику кількість даних, на підставі яких складають моделі, що відображають збої і неполадки в роботі трубопроводу. БПЛА може обстежити елементи технологічних вузлів, небезпечних або недоступних для людини, не зупиняючи всього процесу, наприклад, факельні системи.

Дрони здатні також відстежувати тріщини і корозію і картографувати динаміку їх поведінки, виявляти витікання газу, розливи нафти, а також запобігати спробам незаконних врізань в трубопровід, що можуть призвести до розкрадання або аварії. За допомогою безпілотних літальних апаратів можна виконувати інспекцію і патрулювання, обстеження лінійної частини та моніторинг трас магістральних трубопроводів.

Отже, актуальним завданням є визначення основних методів повітряного моніторингу технічного стану газотранспортної системи.

Аналіз досліджень і публікацій. Останніми роками з'явилася велика кількість публікацій про використання для вирішення топографічних завдань безпілотних літальних апаратів або безпілотних авіаційних систем (БАС), авторами яких є С.Л. Данилюк, Г. Євстафьев, М. Павлушко, І.С. Романченко, С.М. Чумаченко, Д.Ф. Хасенов та багато інших провідних російських й українських учених і приватних організацій.

Такий інтерес значною мірою викликаний простотою експлуатації згаданих літальних апаратів, їх економічністю, відносно невисокою вартістю, оперативністю та ін., що за наявності ефективних програмних засобів автоматичної обробки матеріалів аерофотозйомки (зокрема вибір потрібних точок) відкривають можливості для широкого використання програмно-технічних засобів безпілотної авіації в практиці інженерно-геодезичних вишукувань. Але повною мірою виявити небезпеку, що може виникнути на трасі газопроводу, БПЛА не може, оскільки залежить від стану атмосфери; не завжди достатнього рівня точності для топографо-геодезичних додатків; погіршення точності внаслідок збільшення висоти; недостатньо високої кваліфікації персоналу.

Постановка завдання. Метою роботи є підвищення безпеки магістральних газопроводів на зсувонебезпечних ділянках за допомогою сучасних БПЛА.

Основна частина. Можливості проведення видів зйомки, які розглянуто в попередній статті [1], за короткий проміжок часу в поєднанні з мінімальними фінансовими витратами на виконання всіх видів робіт досягають завдяки безпілотним літальним апаратам. Методи дистанційної діагностики трубопроводу із застосуванням БПЛА є, по суті, окремим випадком сучасного розвитку аерокосмічних методів діагностики трубопровідних систем. Таку діагностику виконують за три етапи [2]:

а) етап передполітної підготовки:

- аналіз проектної, будівельної, експлуатаційної документації на об'єкти обстеження;

- вирішення питань підбору цільового устаткування і літальних апаратів;
- калібрування і юстирування знімального обладнання;
- підбір або створення картографічної основи для політних карт;
- розробка й узгодження програми практичних польотів;

б) етап натурних досліджень:

- вирішення організаційних питань в експлуатаційних підрозділах замовника;
- виконання наземної розвідки, уточнення точок стартів;
- тестові польоти БПЛА;
- виконання різних видів цифрової аерофотозйомки (фото-, відеозйомка, зйомка тепловізором);

- отримання й оперативна оцінка якості результатів;

в) етап обробки даних, що охоплює:

- систематизацію даних;
- інтерпретацію телеметричної інформації;
- геопросторову прив'язку і геометричну корекцію результатів зйомки;
- дешифрування отриманих матеріалів; фотограмметричні вимірювання й обробка їх результатів в ГІС-програмах для БПЛА;

- комплексний аналіз даних попередніх обстежень, результатів виконаних робіт, знімків ДЗЗ у фірмовому програмному продукті для аналізу зображень з БПЛА з можливістю під'єднання до мережі користувачів;

- створення звітних матеріалів в різних форматах, зокрема оцифрування знімків в програмах MapInfo, Panorama, AutoCAD, MicroStation V8i.

У процесі дистанційного моніторингу газо- і нафтопроводів можуть бути виявлені дефекти таких типів:

- ділянки відхилення глибини закладення трубопроводів від проектного значення з втратою стійкості (ділянки, що спливли, й оголені ділянки);

- ділянки виходу труб на поверхню;
- ділянки обводнення труби;
- місця розмивання і заболочування;

- негативні природні фактори гідрогеологічного генезису (карстові форми, підземні водотоки (перетоки), обводнені ділянки траси);

- техногенні порушення;
- розливи нафти, нафтопродуктів;
- місця несанкціонованих врізань;
- місця несанкціонованих дій третіх осіб на підконтрольних об'єктах;
- загоряння лісових масивів, торфовищ в районах прокладених трубопроводів;
- місця захаращеності вздовж трасового проїзду;
- місця несанкціонованого складування будівельних матеріалів і труб в охоронних зонах;

- місця перебування сторонніх осіб і транспортних засобів в охоронних зонах;

• пошкодження земляного покриття, заростання трас трубопроводів деревами і кущами, розмивання й оголення трубопроводів, ділянок трубопроводів з непроєктною глибиною закладення.

Надійність, збереження і подальший розвиток трубопровідного транспорту і всієї газової галузі в сучасному світі є неможливими без застосування дистанційного моніторингу з використанням, зокрема, безпілотних літальних апаратів, які добре зарекомендували себе на світовому ринку геоінформаційних послуг та будуть потрібні повсюдно ще не одне десятиліття.

Розрізняють такі безпілотні літальні апарати:

- * безпілотні некеровані
- * безпілотні автоматичні
- * безпілотні дистанційно пілотовані літальні апарати (ДПЛА).

Нині в Україні немає прийнятої класифікації БПЛА. Для систематизації наявних систем БПЛА пропонується класифікація за такими взаємопов'язаними параметрами, як маса, час, дальність і висота польоту. Виділяють такі класи апаратів:

1. Мікро- і міні-БПЛА близького радіуса дії (злітна маса – до 5 кг, час польоту – близько години і дальність польотів – 25...40 км).
2. Легкі БПЛА малого радіуса дії (злітна маса – 50...100 кг, час польоту – кілька годин, дальність дії – 10...70 км).
3. Легкі БПЛА середнього радіуса дії (злітна маса – 50...100 кг, час польоту – кілька годин, дальність – 70...150 км).
4. Середні БПЛА (злітна маса – 100...300 кг, час – 10-12 год, дальність дії – 150...1000 км).
5. Середньоважкі БПЛА (злітна маса – 300...500 кг, час – 10-12 год, дальність дії – 70...300 км).
6. Важкі БПЛА середнього радіусу дії (злітна маса – понад 500 кг, час польоту – 24 год і більше, дальність дії – 70...300 км).
7. Важкі БПЛА великої тривалості польоту (злітна маса – понад 1500 кг, дальність – 1500 км).
8. Безпілотні бойові літаки (ББЛ) (злітна маса – понад 500 кг, дальність – 1500 км).

Для визначення координат і земної швидкості у сучасних БПЛА зазвичай використовують супутникові навігаційні приймачі (GPS або ГЛОНАСС). Кути орієнтації і перевантаження визначають з використанням гіроскопів й акселерометрів. Програмне забезпечення пишеться зазвичай мовами високого рівня, такі як Сі, Сі ++, Модула-2, Оберон SA або Ада95 [7].

Методами моніторингу місцевості, який ґрунтується на картографічній основі контрольованої території, зазвичай виконують шляхом візуального спостереження з подальшим нанесенням ситуації на картографічну карту. Недоліком такого методу є його великозатратність і наявність людського фактора, що призводить до значних похибок. Звичайні аерофотозйомки на малій висоті належать до складних технологічних процесів. Традиційно їх виконують за допомогою носіїв фотоапаратури, таких як літак (АН-2), літаки-лабораторії аерофотозйомки (АН-26, гелікоптери (МІ-6) та ін. [3].

Однак через високу вартість робіт, необхідність наявності близько розміщеного аеродрому й обмежену висоту польоту (понад 200 м) такі засоби є недоступними для виконання більшості завдань з моніторингу місцевості. Згадані недоліки підвищують вартість аерофотозйомки та знижують рентабельність. Тому використання БПЛА є виправданим тоді, коли треба швидко отримати точні дані за невисокої собівартості аерофотозйомки.

Нині, за даними UVS International (провідної міжнародної асоціації безпілотних систем), БПЛА виготовляють в 52 країнах світу, серед яких провідними є Росія і США [4].

На кожному сучасному БПЛА встановлюють фотокамеру, відеокамеру, тепловізор і гіростабілізовану телевізійну камеру, що дає змогу досліджувати екзогенні процеси (селі, зсуви, обвали та ін.).

За матеріалами аерофотозйомки отримують цифрову модель поверхні (ЦМП) у вигляді щільної хмари тривимірних точок. Точність такої моделі залежить від багатьох чинників, таких як якість вихідних знімків, наявність і точність визначення координат центрів фотографування, координат точок планово-висотного обґрунтування, і значною мірою визначається технічними характеристиками безпілотного літального апарата і встановленого на ньому обладнання [5].

Сучасні БПЛА серії Supercam характеризуються високою надійністю і стабільністю автоматичного польоту, дають змогу виконувати аерофотозйомку з високою роздільною здатністю протягом трьох-семи годин, а також закладені всі необхідні системи для отримання високоякісних знімків з точною геодезичною прив'язкою до місцевості і можливістю дистанційної зміни параметрів зйомки залежно від погодних умов.

Розглянемо Supercam S250, оснащений двочастотним приймачем, камерою Sony Alpha ILCE-6000 з матрицею 24 Мпікс, об'єктивом з $f = 20$ мм і з параметрами зйомки ISO800, витримка – 1/1000.

У разі аерофотознімання з різної висоти (150, 200 і 250 м) за двома маршрутами в різних напрямках поздовжнє покриття становить 80%, поперечне - 60%; при побудові фотограмметричних мереж середні величини розбіжностей планового положення опорних точок не перевищують 5-10 см, контрольних точок - 5-15 см, що відповідає точності зйомки масштабу 1: 500; а середні величини розбіжностей висотного положення опорних точок у фотограмметричних мережах, отриманих з використанням центрів проекції і розпізнавальних знаків, розставлених через 250, 500, 1000 і 2300 м, не перевищують 5-7,5 см, контрольних - 5-10 см, що відповідає точності зйомки з перетином рельєфу 0,5 м [6].

Отже, описана продукція є відповідною точності, необхідної для створення топографічних планів масштабу 1: 500 з перерізом рельєфу 0,5 м.

Висновки. Головна позитивна особливість безпілотника – це відсутність на борту людини, завдяки чому, незалежно від складності й небезпечності виконуваної роботи, їй не загрожує небезпека. Уже тепер можна дійти висновку, що завдяки прискореним темпам розвитку науки і техніки не далекий той день, коли принципи дистанційного управління переважатимуть над звичайними

видами зйомок. Застосування БПЛА дає змогу скоротити терміни геодезичних робіт від одного місяця до одного дня, контролювати обсяги земляних робіт, отримувати точніші дані для відтворення маркшейдерських планів, контролювати, чи відповідає факт плану і технології будівництва.

Використання безпілотних апаратів дає можливість швидко отримати точні дані. Собівартість аерофотозйомки з БПЛА є на порядок нижчою, ніж застосування «малої» авіації, а щодо деяких проектів це, безперечно, є важливим аргументом.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Чибіряков В.К. Застосування методів дистанційного контролю для моніторингу магістральних нафтопроводів і газопроводів / В.К. Чибіряков, В.С. Староверов, К.О. Нікітенко // Містобудування та територіальне планування. – 2007. – Вип.63. – С. 475-479.

2. *Перспективы развития беспилотных летательных аппаратов (БПЛА)*. [Електронний ресурс].- Режим доступу: <http://modern.sawame.ru/eto-interesno/perspektivi-razvitiya-bespilotnich-letatelnych-apparatov-bpla/> – Назва з екрана. – Дата звернення 27.12.2017.

3. Романченко І. С. Моделі застосування інформаційно-телекомунікаційних технологій на основі безпілотних авіаційних комплексів у надзвичайних ситуаціях: монографія / І.С. Романченко, С.Л. Данилюк, С.М.Чумаченко [та ін.]. – Київ: НАУ, 2016. – 232 с.

4. *Побудова системи моніторингу місцевості на базі безпілотних літальних апаратів*: зб. наук. праць / Військовий Ін-т КНУ ім.Тараса Шевченка. – Вип. №50. – 2016. – С. 50.

5. *Беспилотные системы*. [Електронний ресурс].- Режим доступу: <http://unmanned.ru/service/oilpipe.htm/> – Назва з екрана. – Дата звернення 03.01.2018.

6. *Беспилотники - Лазерная локация земли и леса*. [Електронний ресурс].- Режим доступу: http://www.laserlocation.ru/catalog/aircraft/UAV/?PAGEN_1=3/ – Назва з екрана.- Дата звернення 27.12.2017.

7. Павлушенко М. БПЛА: история, применение, угроза распространения и перспективы развития / М. Павлушенко, Г. Евстафьев, М. Макаренко. – М.:Права человека, 2005. – 612 с.

REFERENCES

1. Chibiryakov V.K., Staroverov V.S., Nikitenko K.A. (2007). Zastosuvannya metodiv dystancijnogo kontrolyu dlia monitoryngu magistralnyh naftoprovodiv i gazoprovodiv [Application of remote control methods for monitoring of main oil pipelines and gas pipelines]. *Inzhenerna heodeziia - Engineering geodesy*, 63, 475-479 [in Ukrainian].

2. *Perspektivy razvitiya bespelotnyh letatelnyh apparatov (BPLA)* [Prospects for the development of non-flying aircraft]. (n.d.) *modern.sawame.ru*. Retrieved from <http://modern.sawame.ru/eto-interesno/perspektivi-razvitiya-bespilotnich-letatelnych-apparatov-bpla/> [in Russian].

3. Romanchenko I.S., Danyluk S.L., Chumachenko S.M. (2016). *Modeli zastosuvannia informaciyno-telekomunikaciynih tehnologiy na osnovi bezpilotnyh aviacyynuh kompleksiv u nadzvychaiynyh situaciah: monografia [Modeling of the informational and telecommunication technologies on the basis of independent aviatic complexes in super-emergency situations: monograph]*. Kyiv: NAY [in Ukrainian].
4. Pobudova systemy monitoryngu miscevoli na bazi bespilotnyh letatelnyh apparatov (2016). [Pobudova sistemi montoryngu miscevoli on the basis of bezpilotnih litalnih aparativ] *Zbirnyk naukovykh prats. Viiskovy In-t KNU im. Tarasa Shevchenka – Collection of scientific works. Military Institute of Kyiv National Taras Shevchenko University*, 50, 50 [in Ukrainian].
5. Bepelotnie sistemy [Unmanned Systems]. (n.d.) *unmanned.ru*. Retrieved from <http://unmanned.ru/service/oilpipe.htm/> [in Russian].
6. Bepelotniki – Lazernia lokacia zemli i lesa [Drones - Laser location of land and forests]. (n.d.) *laserlocation.ru*. Retrieved from http://www.laserlocation.ru/catalog/aircraft/UAV/?PAGEN_1=3/ [in Russian].
7. Pavlushenko M., Evstafev G., Makarenko M. (2005). *BPLA: istoria, primenenie, ugroza rasprostronenia i perspektivy razvitiia [Unmanned: history, application, threat of proliferation and development prospects]*. Moscow: Human Rights [in Russian].

В.С. Староверов, К.А. Никитенко

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ДИСТАНЦИОННОЙ ДИАГНОСТИКИ ТРУБОПРОВОДОВ ПО ПРИМЕНЕНИЮ БПЛА СЕРИИ SUPERCAM

В работе рассмотрены методы дистанционной диагностики трубопровода, их преимущества и недостатки. Проанализированы различные классы беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), которые могут обеспечивать экономию при проведении ряда работ по сравнению с традиционными методами, а также повышать безопасность проведения работ, их качество.

Предложено использовать БПЛА серии Supercam, определена их точность и значительный вклад в проведение инженерно-геодезических изысканий для газотранспортной системы. Беспилотник для геодезии предоставляет специалистам данные, позволяющие разработать мониторинг трубопровода с учетом рационального использования и охраны окружающей среды, прогнозировать изменения природной среды участка под влиянием строительства и эксплуатации трубопровода.

Ключевые слова: газопровод, беспилотные летательные аппараты (БПЛА), дрон, дистанционная диагностика, цифровая модель поверхности (ЦМП).

V. Staroverov, K. Nikitenko

EVALUATION OF ACCURACY OF DISTANCE DIAGNOSTICS OF THE PIPELINE WITH THE USE OF SUPERCAM SUPPLY SERIES

The paper considers the methods of remote diagnostics of the pipeline, their advantages and disadvantages. Different classes of unmanned aerial vehicles (UAVs) have been analyzed, which can provide savings when carrying out a number of works in comparison with traditional methods. In addition, they can enhance the safety of the work, their quality.

The use of Supercam series UAVs has been proposed, their accuracy and significant contribution to conducting engineering-geodetic surveys for the gas transmission system have been determined. In fact, a properly constructed work process, aerial photography using UAV will have an even greater advantage, not only in the speed of work, but also the quality and content of topographic plans will significantly increase. The UAV becomes a tool, a means of measurement similar to a tachometer, a laser scanner. This will significantly reduce the percentage of marriage, which eliminates the need to re-enter the site and to refine or eliminate mistakes made in the survey, and this is a considerable saving of money for the organization. All this will allow the development of projects for monitoring the pipeline system to a new level.

Unmanned aerial vehicle for geodesy provides specialists with data that allows the development of monitoring of the pipeline, taking into account rational use and environmental protection, to predict changes in the natural environment of the site under the influence of construction and operation of the pipeline.

Keywords: gas pipeline, unmanned aerial vehicles (UAVs), drone, remote diagnostics, digital surface model (DSM).

Надійшла до редакції

12.03.2018

УДК 528.33, 528.31

К.Р. Третяк, д-р техн. наук, професор,
М.В. Дума, аспірант,
кафедра вищої геодезії та астрономії
Національний університет «Львівська політехніка»

ОПТИМАЛЬНЕ ПРОЕКТУВАННЯ І ЗГУЩЕННЯ ІНЖЕНЕРНИХ ГНСС-МЕРЕЖ

Розроблено методику оптимізації конфігурації ГНСС-мереж із урахуванням схеми вимірювань та середньої квадратичної похибки визначення координат. Запропонована методика ґрунтується на алгоритмі послідовного вилучення спотворених вимірювань до досягнення необхідної точності ГНСС-мережі. Застосування запропонованої методики забезпечує покращення середньої квадратичної похибки визначення координат і зниження вартості виконання

© К.Р. Третяк, М.В. Дума, 2018