

УДК 528.48
DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.6-2/38>

Олесків Р.Є.

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Гера О.В.

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

СУЧАСНІ ГЕОДЕЗИЧНІ МЕТОДИ МОНІТОРИНГУ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ НАЗЕМНИХ ОБ'ЄКТІВ НАФТОГАЗОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

Наведені дослідження стосуються розгляду можливостей застосування сучасних геодезичних методів для спостереження за станом об'єктів нафтогазової промисловості. Подано коротку характеристику та склад системи магістральних нафтопроводів, а також газотранспортної системи України. Обґрунтовано стратегічну важливість питання безперебійного та безпечного їхнього функціонування для забезпечення добробуту населення та позитивного міжнародного іміджу держави.

Розглянуто способи моніторингу технічного стану трубопровідних систем, основна увага зосереджена на методах геодезичного контролю. Проведено аналіз вітчизняних і зарубіжних публікацій, який свідчить про хороші перспективи застосування наземного лазерного сканування як альтернативи класичних геодезичних методів.

У статті обґрунтовано можливість використання 3D-сканування для знімання надземних частин трубопроводів, повітряних переходів із метою аналізу їхнього актуального стану, моніторингу за деформаціями, контролю за якістю виконаних монтажних чи ремонтних робіт.

Візуалізовано 3D-модель частини нафтопроводу «Дружба», отриману у результаті сканування ділянки нафтопроводу (Львівська область) із застосуванням лазерного сканера LeicaScanStation C10. Для порівняння технічних можливостей методів створено 3D-модель площинного об'єкта – газорозподільної станції, побудовану на основі даних інженерно-геодезичних вишукувань із використанням тахеометра Sokkia SET630RK. Визначено переваги та недоліки лазерного сканування порівняно з іншими геодезичними методами. За результатами досліджень підбито підсумки щодо доцільності активного впровадження наземного лазерного сканування для спостережень за станом і діагностики різних об'єктів нафтогазової промисловості.

Ключові слова: магістральний нафтопровід, газотранспортна система, геодезичний контроль, інженерно-геодезичні роботи, наземне лазерне сканування, 3D-модель трубопроводу, контроль за деформаціями.

Постановка проблеми. Нафтогазова галузь України разом з іншими галузями забезпечує пошук, розвідку та розроблення родовищ нафти і газу, транспортування, переробку, зберігання і реалізацію нафти, газу та продуктів їхньої переробки. Зважаючи на географічне розташування держави, Україна має потужні системи транспортування вуглеводнів.

Оператором системи магістральних нафтопроводів України є АТ «Укртранснафта», другий за величиною у Європі. Засновником і єдиним акціонером компанії є НАК «Нафтогаз України». Схема магістральних нафтопроводів та основні технічні характеристики представлено на рис. 1.

Система магістральних нафтопроводів (МН) України включає 19 нафтопроводів, морський нафтовий термінал «Південний», 28 газоперекачувальних станцій (НПС) і низку технологічного оснащення.

Основна характеристика ГТС України	
ЗАГАЛЬНА ДОВЖИНА ГАЗОПРОВІДІВ	37 600,177 км
КОМПРЕСОРНІ СТАНЦІЇ (КС)	73 шт.
КОМПРЕСОРНІ ЦЕХИ	111 шт.
ГАЗОПЕРЕКАЧУВАЛЬНІ АГРЕГАТИ	705 шт.
ПОТУЖНІСТЬ КОМПРЕСОРНИХ СТАНЦІЙ	5 496 МВт
ГАЗОРОЗПОДІЛЬНІ СТАНЦІЇ (ГРС)	1 473

ГТС України виконує дві основні функції: забезпечення природним газом внутрішніх споживачів, а також транзит природного газу через територію України до країн Західної та Центральної Європи. До складу газотранспортної системи входять: магістральні газопроводи і розпо-

Основний опис системи МН України	
19 НАФТО-ПРОВОДІВ	діаметром до 1220 мм включно; загальною довжиною 3506,6 км
ХАРАКТЕРИСТИКИ	потужність системи на вході – 114 млн т/рік, на виході – 56,3 млн т/рік; заг. номінальна ємність резервуарних парків системи МН 1083 тис. м ³
ТЕРМІНАЛ І НПС	морський нафтовий термінал «Південний», 28 нафтоперекачувальних станцій (НПС), 18 з яких діючих, а 10 – переведені в режим утримання в безпечному стані
ОБЛАДНАННЯ	резервуарні парки, системи електропостачання, захисту від корозії, телемеханіки, технологічного зв'язку, протипожежні та протиерозійні споруди

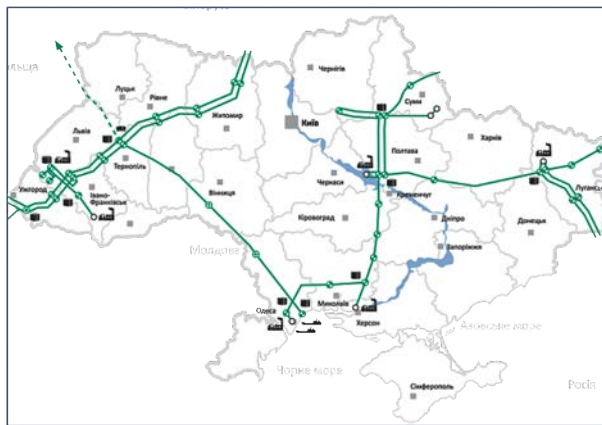


Рис. 1. Система магістральних нафтопроводів України

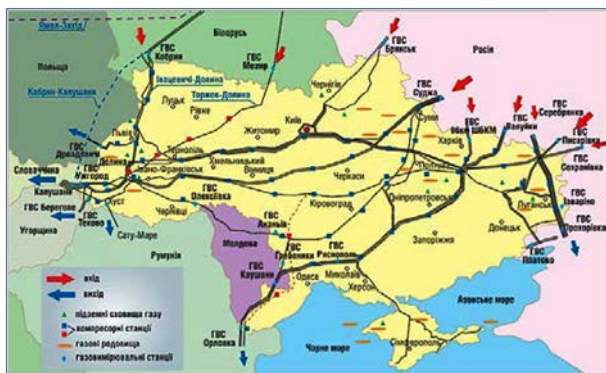


Рис. 2. Газотранспортна система України

дільні газопроводи – перемички, відводи, підводи, компресорні станції [2, с. 32] (рис. 2).

Виробнича інфраструктура сучасного підприємства характеризується великою кількістю об'єктів, розташованих як над поверхнею землі, так і під нею. Наявність точної інформації про

ці об'єкти і, перш за все, про їхнє просторове положення є найважливішим завданням побудови інформаційної системи такого підприємства. Потужна система мереж трубопроводів, яка прокладена територією України, потребує якісного контролю технічного стану.

Середній термін експлуатації окремих елементів облаштування ГТС та МН України за приблизних розрахунків становить близько 20 років. Сплив термін амортизації близько 29% українських газопроводів [6, с. 12]. Частина такого технологічного облаштування потребує ретельного аналізу безпечної експлуатації системи транспортування вуглеводнів. Сучасний рівень технологій збору та опрацювання геопросторових даних надає можливість вирішити згадані завдання.

Найбільш ефективним серед сучасних методів спостережень для одержання точної просторової інформації в короткий термін часу є лазерне сканування. Зараз лазерні сканери забезпечують дуже високу потужність, точність і швидкість зйомки. Вони реалізовані у різних варіантах (стаціонарному або мобільному), тому є досить багато методик їх практичного застосування для побудови моделей надземної тривимірної інфраструктури. Сучасні засоби GNSS (глобальні супутникові навігаційні системи) та інерціальної навігації, що також використовуються під час знімань, інтегрують цю інформацію в єдиний просторовий базис і виконують точну просторову прив'язку до обраної системи координат.

Сучасне програмне забезпечення камерального опрацювання результатів лазерного сканування дає змогу будувати високоякісні тривимірні моделі об'єктів для візуалізації результатів спостережень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Велика кількість наукових робіт і публікацій присвячено темі лазерного сканування. Здебільшого дослідження стосуються застосування результатів лазерного сканування для виконання вимірювань лінійних об'єктів, передусім автомобільних доріг, знімання маршрутів міст і населених пунктів, залізничних шляхів [3, с. 325]. Також визначено загальні принципи та методи мобільного лазерного сканування для транспортної галузі [4, с. 121] та проведено аналіз технологічних можливостей сучасних наземних лазерних сканерів [5, с. 170]. Розглянуто тему застосування методів дистанційного контролю для моніторингу магістральних нафтопроводів і газопроводів [7, с. 475], де проаналізовано методи та системи для дистанційного виявлення витоків вуглеводнів із наземних і підземних газо- та нафтопроводів.

Серед зарубіжних видань найбільш наближена до нашої тема, розглянута в статті про дослідження 3D-реконструкції нафтохімічного трубопроводу підприємства та його виявлення зіткнень на основі технології 3D-сканування [8, с. 354]. Варто звернути увагу на застосування можливостей лазерного сканування в комплексі робіт за обстеженням об'єктів нафтогазового комплексу, оскільки цей метод має суттєві переваги для якісного контролю у різних сферах.

Виклад основного матеріалу дослідження. Геодезичні роботи за наземного лазерного сканування полягають у відтворенні поверхні об'єктів у вигляді масиву точок. Одержані точки містять координати x, y, z, параметри відображення кольору RGB та інтенсивність відбиття лазерного променя. Пристрої, за допомогою яких здійснюється сканування, називають 3D-сканерами. За принципом дії лазерний 3D-сканер схожий з електронним тахеометром. Лазерний сканер оснащений високошвидкісним безвідбивачем, лазерним далекоміром і системою зміни напрямку променя лазера – спеціальним поворотним дзеркалом. Задавши ділянку сканування (так званий сектор повороту дзеркала) і крок сканування в кожному напрямку, можна отримати детальну зйомку об'єкта. Об'єктом обстеження лазерним сканером є частина нафтопроводу «Дружба», що проходить територією Львівської області. Територія, котра підлягала безпосереднім геодезичним зніманням, являла собою відкриті площинні майданчики, покриті рослинним шаром. На майданчиках присутні виходи підземних комунікацій у вигляді

металевих труб діаметрами від 200 мм до 400 мм. Застосовано лазерний сканер LeicaScanStation C10, який має необхідні технічні характеристики, що дають змогу користувачеві зменшити час польових робіт, збільшити продуктивність і розширити коло виконуваних завдань. Простота освоєння полягає в керуванні через спеціальну сенсорну панель. Інтерфейс керуючої програми також дуже нагадує роботу з тахеометром. Для більш комфортної роботи зі сканером можна скористатися ноутбуком. Технічні характеристики наведено на рис. 3.

Польові та камеральні роботи зі сканування виконувалися в такій послідовності:

- аналіз території, де має проводитись сканування;
- розмічувальні роботи з урахуванням перекриття хмар точок;
- встановлення обладнання на місцевості на розмічених місцях, вимірювання координат станцій;
- сканування об'єкта з усіх станцій;
- завантаження даних проекту сканування у спеціалізоване програмне забезпечення;
- зшивання хмар точок, отриманих із різних станцій;
- врівноваження хмар точок із метою досягнення мінімальної похибки вимірювань;
- експорт до файлового розширення, котре можливо імпортувати в інші програмні продукти САПР.

Оскільки ці сканування, що були отримані з різних станцій, є частинами однієї території, тому постає завдання поєднання їх в одну цілісну



Технічні характеристики

Загальні:	
Тип інструмента:	Компактний, імпульсний, високошвидкісний лазерний сканер, з девісним компенсатором, великим діапазоном вимірювання відстаней, повним полем зору, вбудованою відеокамерою і лазерним центриром
Інтерфейс:	Автономний дисплей, ноутбук або Tablet PC
Двигун:	Серво-привід
Накопичувач даних:	Вбудований жорсткий диск на 80 ГБ, зовнішній ПК, USB-накопичувачі
Фотокамера:	Вбудована відеокамера високої розподільної здатності зі збільшенням
Лазерна скануюча система:	
Тип:	Імпульсний, запатентований мікрочип
Швидкість сканування:	До 50,000 точок / сек
Діапазон вимірювання відстаней:	до 300 м при 90% альbedo; 134 м при 18%. Мінімальна дальність 0.1 м
Поле зору (гор / верт):	360/270 °
Розмір лазерного плями:	Від 0 до 50 м: 4,5 мм (за методом FWHH), 7 мм (за методом Гауса)
Клас лазера:	3R
Розміри і вага:	
Розміри сканера:	238 мм x 358 мм x 395 мм
Вага сканера:	13 кг
Розміри акумулятора:	40 мм x 72 мм x 77 мм
Вага акумулятора:	0.4 кг
Вага блоку живлення:	0.9 кг

Рис. 3. Стационарний лазерний сканер LeicaScanStation C10

модель (рис. 4). Цей процес називають врівноваженням хмари точок, і він відбувається автоматично. Хмару точок, котра була отримана у процесі сканування частини трубопроводів нафтопроводу, було врівноважено з похибкою 4 мм.

Після всіх цих операцій хмару точок експортовано до файлового формату, котрий можна імпортувати до інших програмних продуктів САПР. Результати такого виду робіт дають можливість використовувати їх для створення BIM-моделі з використанням ПЗ AutoDeskReCap. Такі спостереження можна застосовувати на об'єктах як нафто-, так і газопромислів. Іноді для отримання просторових характеристик наземних трубопроводів, які розташовані на значній за площею та протяжністю території (фасадів споруд, проїздів, під'їздів тощо), зручно використовувати мобільні лазерні сканери.

Є інший варіант одержання просторового зображення технологічного оснащення нафтогазових об'єктів чи мереж трубопроводів, що базуються на результатах безпосередньо інженерно-геодезичних вишукувань. У разі застосування результатів детальної геодезичної зйомки заданого об'єкта та використання відповідного програмного забезпечення є можливість створення 3D-моделі об'єкта. Такий підхід вимагає значно більших затрат часу

на виконання спостережень, ніж лазерне сканування, проте теж заслуговує на увагу. Таку методику варто застосовувати на окремих об'єктах галузі, де монтовано багато різного технологічного устаткування. Після отримання візуальної моделі об'єкта з'являється можливість віддалено модернізувати його, вирішувати питання про заміну, монтаж чи демонтаж оснащення.

Газорозподільні станції (далі – ГРС) газотранспортної системи за специфікою роботи оснащені великою кількістю обладнання. Проведено детальне обстеження такого об'єкта інженерно-геодезичними вишукуваннями тахеометром Sokkia SET630RK, оброблено результати спостережень і створено візуальну модель ГРС за допомогою ПЗ AutoCADi Surfer. Візуальна модель є більш інформативною, ніж план ГРС, оскільки містить просторові дані розміщення кожного елемента зокрема. Результат проведеної роботи зображено на рис. 5.

Висновки. На об'єктах нафтогазового комплексу гостро постало питання контролю безпечної експлуатації систем трубопроводів і технологічного обладнання. Проаналізовано застосування найбільш поширених сучасних методів геодезичних спостережень, які мають перспективи використання на такого роду

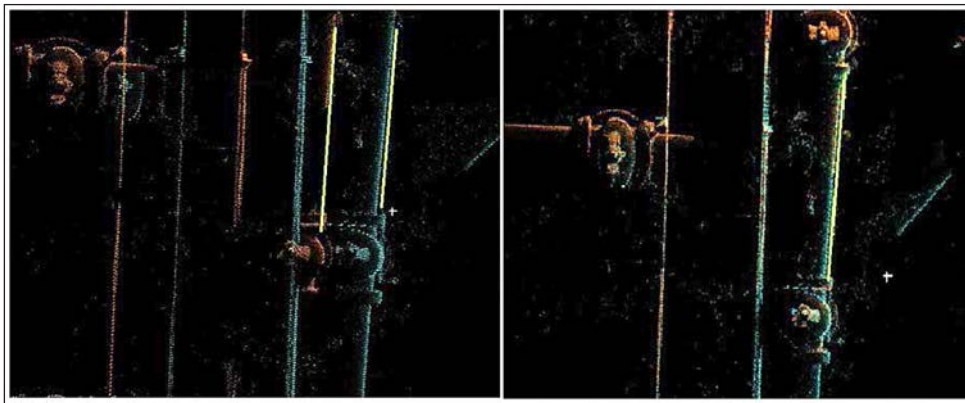


Рис. 4. Поєднання хмар точок в єдину модель по поверхні трубопроводу

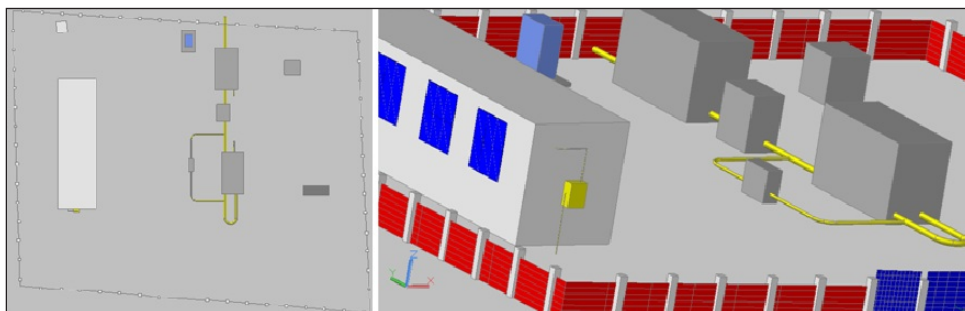


Рис. 5. План та створена 3D-модель ГРС

об'єктах. Є низка факторів, що впливають на вибір методик: насамперед – економічний складник, терміни проведення та результативність одержаних даних. Варто зазначити, що лазерне сканування має низку переваг, оскільки за короткий час показує високу ефективність. Проте, використовуючи більш традиційні інженерно-геодезичні вишукування, теж можна одержати візуалізацію нафтогазового об'єкта.

Результати наведених методик демонструють нові можливості моніторингу трубопроводів і

можуть використовуватись підприємствами для паспортизації об'єктів галузі. Слід зазначити, що методи використання геодезичних вимірів базуються на високоточних даних, що визначається нормативами на стратегічно важливих об'єктах. Застосування методів неруйнівного контролю, до яких саме належать висвітлені методики, має низку переваг [9, с. 377]. Насамперед це можливість не зупиняти роботу нафтогазових підприємств, а проводити геодезичні вимірювання незалежно від технологічного процесу.

Список літератури:

1. ПАТ «Укртрансгаз». Характеристика газотранспортної системи України. Work 1 nap – on-UGS, Ukrtransgas. URL: <http://utg.ua/utg/gts/description>.
2. Осінчук З. Газотранспортна мережа України у системі газопостачання Європи. *Нафтова і газова промисловість*. 2005. № 2. С. 32–36.
3. Бабій В. Особливості застосування мобільного лазерного сканування для високоточного знімання автошляхів. Актуальні проблеми та інновації : мат-ли Міжнар. наук.-практ. конф. ЕКОГЕОФОРУМ 2017, м. Івано-Франківськ, 22–25 березня 2017 р. С. 325–327. URL: <http://er.nau.edu.ua:8080/handle/NAU/25924>.
4. Системи мобільного лазерного сканування в геоінформаційних технологіях / К. Мамонов, К. Вяткін, С. Нестеренко // *Комунальне господарство міст. Серія : Технічні науки та архітектури*. 2016. Вип. 132. С. 121–126. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/kgm_tech_2016_132_22.
5. Аналіз технологічних можливостей сучасних наземних лазерних сканерів / І. Тревого, А. Баландюк, А. Григораш // *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва*. 2010. Вип. I (19). С. 170–176.
6. Дячук М., Олесків Р. Геодезичний моніторинг магістральних газопроводів на території України. *Матеріали Всеукраїнської наукової конференції для творчої молоді «Перспектива-2019»*, м. Маріуполь.
7. Застосування методів дистанційного контролю для моніторингу магістральних нафтопроводів і газопроводів / Чибіряков В., Староверов В., Нікітенко К. // *Інженерна геодезія*. 2007. Вип. 63. С. 475–479.
8. Chunmei H., Qiusheng Z., Wentaoand Y., Jingtang Z. Researchon 3D Reconstruction of Petrochemical Enterprise Pipeline and Its Collision Detection Based on 3D-Scanning Technology. *International Forumon Computer Science-Technology and Applications*, Chongqing, 2009. P. 354–357. DOI: 10.1109/IFCSTA.2009.92.
9. Перович Л., Дутчин М. Геодезичний моніторинг деформацій інженерних споруд і технологічного устаткування газокompресорних станцій/ *Budownictwo i inzynieria Srodowiska. Zeszyty naukowe politechniki Rzeszowskiej*. Т. II. Rzeezow, 1998. S. 377–380.
10. Нікітенко К. Сучасні методи моніторингу технічного стану газопровідних систем. *Містобудування та територіальне планування* : наук.-техн. зб. Київ : КНУБА, 2018. Вип. 67. С. 321–333.

Oleskiv R.E., Gera O.V. MODERN SURVEYING METHODS FOR MONITORING THE TECHNICAL CONDITION OF THE ABOVEGROUND GAS AND OIL INDUSTRY OBJECTS

The article deals with consideration of opportunities offered by modern surveying techniques for monitoring the technical condition of the above-ground gas and oil industry objects. The brief description and configuration of the trunk oil pipeline system, as well as the gas transmission system of Ukraine are presented. The strategic importance of the issue of their uninterrupted and safe functioning for the well-being of the population and positive international image of the state is substantiated.

The methods of monitoring the technical condition of pipeline systems are considered, although the focus is on the methods of surveying control. The analysis of domestic and foreign publications is carried out, which indicates good prospects of terrestrial laser scanning as an alternative to classical surveying methods.

The article substantiates the possibility of using 3D scanning to capture the aboveground parts of pipelines, air crossings in order to analyze their current condition, to monitor deformations, to control the quality of the performed installation or repairing works.

The 3D model of the Druzhba oil pipeline part (Lviv region), obtained as a result of the oil pipeline section scanning using Leica ScanStation C10 laser scanner, is visualized. To compare the technical capabilities of the methods, we created a 3D model of a plane object – a gas distribution station, based on the engineering and surveying data using a Sokkia SET630RK total station. The advantages and disadvantages of laser scanning in comparison with other surveying methods are determined. The results of the research summarize the feasibility of actively implementing terrestrial laser scanning for monitoring and diagnostics of various objects of the oil and gas industry.

Key words: trunk oil pipeline, gas transportation system, geodetic control, surveying, terrestrial laser scanning, 3D pipeline model, deformation control.