

# ІНЖЕНЕРНИЙ ГЕОДЕЗИЧНИЙ МОНІТОРИНГ ФУНДАМЕНТІВ ОБЛАДНАННЯ КОМПРЕСОРНИХ СТАНЦІЙ

В. Т. КРИВОРУЧКО<sup>1</sup>, М. І. НАВАЛЬНЄВ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Харків. нац. ун-т будівництва та архітектури. 61002, м. Харків, вул. Сумська, 40. E-mail: limbik@narod.ru

<sup>2</sup>Харків. територіальний центр філії НВЦ «ТЕХДІАГАЗ». 61002, м. Харків, вул. Маршала Конєва, 16. E-mail: shkorina-enbung.ua

Розглянуто основні проблеми організації геодезичного моніторингу компресорних станцій магістрального газопроводу. На сучасному етапі об'єднання роботизованих технологій лінійно-кутових вимірів і сучасних автоматичних систем спостережень за осіданнями фундаментів обладнання дозволяє створити автоматичну систему геодезичного моніторингу устаткування газотранспортних систем. Бібліогр. 4, рис. 14.

*Ключові слова:* геодезичний моніторинг споруджень, українська газотранспортна система, осідання фундаментів

Україна є найбільшою транзитною державою по транспортуванню газу до Західної Європи. Її газотранспортна система здатна щорічно перекачувати до 300 млрд м<sup>3</sup> природного газу. Вага України в транспортуванні газу в Європі становить приблизно 20 %. Щоб передати газ із місця видобутку до споживача необхідні: трубопроводи, компресорні станції (КС), пункти обліку газу, газові сховища, газорозподільні станції та ін.

При експлуатації КС внаслідок зносу підшипників газотурбінних двигунів і відцентрових нагінтатів газоперекачувальних агрегатів (ГПА) [1], контактних напружень на фундаменти ГПА та опори трубопроводів [2], змін гідрогеологічних умов та інших факторів, що впливають на несучу здатність ґрунтів [3], виникають вертикальні й горизонтальні деформації фундаментів обладнання КС. Ці деформації мають локальний і глобальний характер. Вплив різних деформацій на працездатність устаткування компресорних станцій показано на рис. 1.

Найнебезпечнішими є локальні відносні осідання фундаментів агрегатів. Вигин  $\Delta h$  фундаментної плити призведе до утворення ексцентриситету  $\Delta e$  осей ГПА. Наприклад, при наявності ексцентриситету навіть  $\Delta e = 0,5$  мм, і коли відносне осідання фундаменту більше допустимої величини (2,5 мм), то виникають високі рівні вібрації, що можуть привести до руйнування анкерних болтів. Окремі агрегати компресорної станції

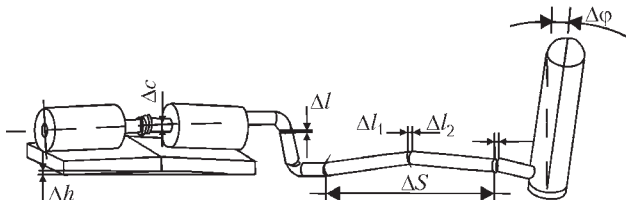


Рис. 1. Вплив деформацій ґрунту на працездатність агрегатів

© В. Т. Криворучко, М. І. Навальнєв, 2016

з'єднані між собою трубопроводами. Будь-які зміни просторового положення агрегатів викличуть зростання напружень в місцях сполучень агрегатів і трубопроводів. Небезпечні для трубопроводів деформації, що впливають на їхню працездатність, становлять приблизно 5...10 см. Крен 10' приведе до вертикальних деформацій труб у межах 1 см. Величини допустимих напружень у трубах визначаються згідно СНіП 2.05. 06–85. Горизонтальні зсуви ґрунту  $\Delta S$  приводять до прогинів труб, також викликаючи напруження в трубах. Особливо небезпечні зсувні ділянки.

Для забезпечення нормальної експлуатації устаткування компресорних станцій необхідно систематично виконувати інженерний моніторинг контролю геометричних параметрів устаткування й території компресорних станцій.

Ціна ліквідації аварії на трасах газопроводів дуже висока. Продуктивність лінійних КС становить від 5 до 100 млн м<sup>3</sup> газу на добу. Приймаючи середню продуктивність компресорної станції рівною 50 млн м<sup>3</sup> газу на добу при ціні газу \$ 200 за 1000 м<sup>3</sup> одержимо добовий збиток за рахунок припинення подачі газу: \$ 10 млн (більше 200 млн грн). Таким чином, ціна безаварійної експлуатації обладнання КС магістральних газопроводів становить орієнтовно 200 млн грн за добу.

Зараз на всіх об'єктах газотранспортної системи України здійснюється інженерно-геодезичний моніторинг основних об'єктів системи. Однак ці роботи не мають єдиної програми і напередодні майбутніх робіт з реконструкції вітчизняних КС необхідно виконати комплекс робіт з розробки нового проекту геодезичного моніторингу обладнання газотранспортної системи України на основі сучасних технологій.

Розглянемо основні положення цієї програми. Насамперед, визначимося зі складом робіт:

– спостереження за осіданням контрольних марок, установлених на технологічному обладнанні й основних спорудженнях об'єктів системи;

- спостереження за зсувними ділянками;
- контроль крену споруджень баштового типу;
- інструментальний і візуальний контроль стану технологічних і магістральних трубопроводів;
- контроль напруженого стану фундаментів устаткування;
- візуальний огляд устаткування й трубопроводів.

Для рішення цих завдань геодезична практика має у своєму розпорядженні високотехнологічне устаткування, що дозволяє з достатньою точністю в автоматичному й напівавтоматичному режимах виконувати ці роботи.

Перша група приладів – роботизовані тахеометри (рис. 2), що дозволяють визначати з високою точністю координати контрольних точок в автоматичному й напівавтоматичному режимах і передати отриману інформацію в єдиний центр обробки.

Цифрові нівеліри (рис. 3), що забезпечують високоточні висотні виміри, застосовуються при спостереженнях за осіданням.

Комплексне використання розглянутих приладів дозволяють сформувати напівавтоматичні вимірювальні системи з автоматичною обробкою результатів.



Рис. 2. Роботизований електронний тахеометр



Рис. 3. Цифровий нівелір

Друга група приладів – це повністю автоматичні системи, що забезпечують безперервний автоматичний контроль устаткування без участі операторів. До таких приладів віднесемо

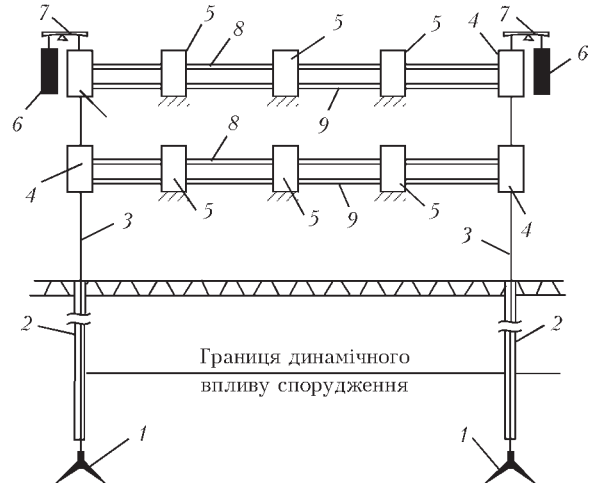


Рис. 4. Гідростатична система нівелювання: 1 – якір; 2 – обсадні труби; 3 – струни; 4 – опорні датчики; 5 – контрольні датчики; 6 – вантажі; 7 – коромисла; 8 – рідинні трубопроводи; 9 – повітряні трубопроводи

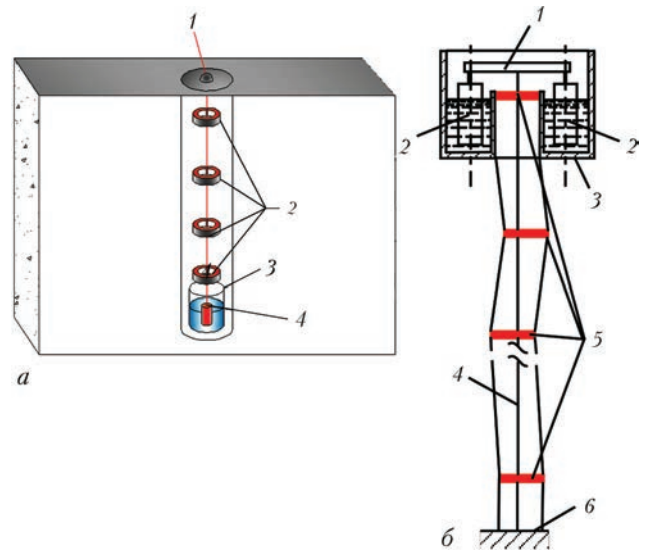


Рис. 5. Прямий (а) і зворотний (б) виски (а: 1 – підвіс виска; 2 – датчики положення струни; 3 – посудина з рідиною; 4 – висок; б: 1 – хрестовина; 2 – поплавець; 3 – посудина з рідиною; 4 – нитка схилю; 5 – датчики положення нитки схилю; 6 – якір)



Рис. 6. Безпілотний літальний апарат

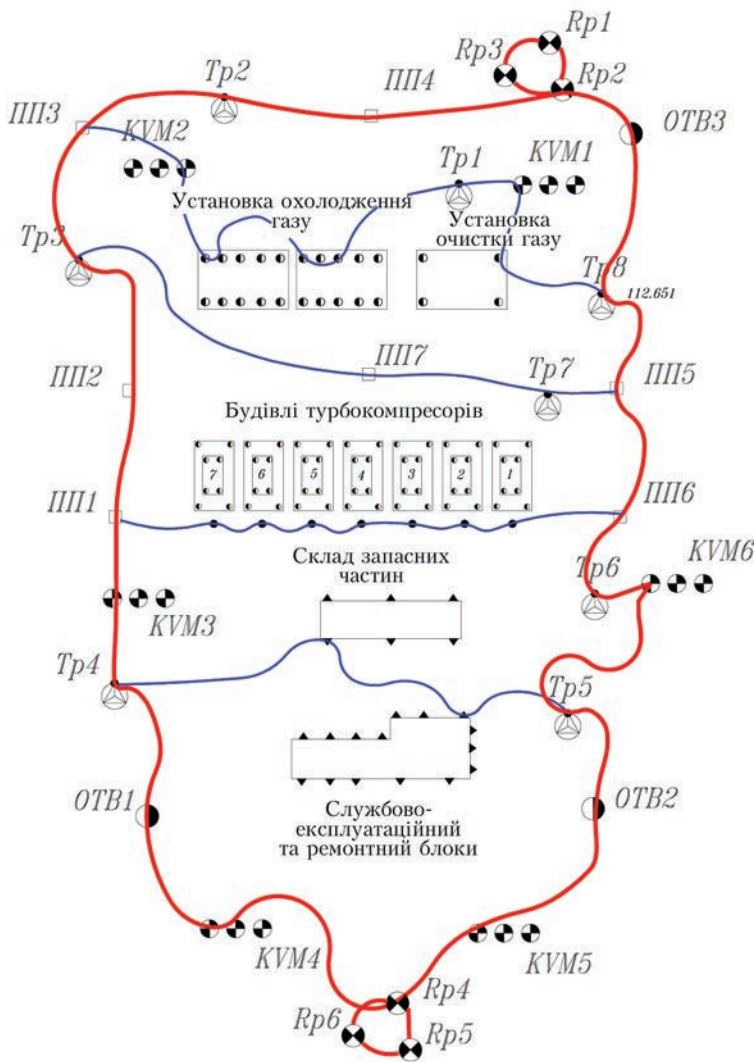


Рис. 7. Схема нівелірної мережі нівелювання першого етапу: Rp1–Rp6 – опорні репери; OTV1–OTV3 – зворотні виски; ПП1–ПП7 – пункт полігонометрії; KVM1– KVM6 – куці глибинних марок; Тр1–Тр8 – поверхневі марки на щоглах

автоматичні гідростатичні системи нівелювання, прями й зворотні виски з дистанційним визначенням положення струни. Особливість цих систем полягає в тому, що вони працюють повністю автоматично з видачею інформації безпосередньо на пульт керування компресорних станцій.

Гідростатичні системи нівелювання [4] (рис. 4) складаються з контрольних і опорних датчиків, підвішених на спеціальних струнах опорних реперів. Дана система дозволяє здійснювати виміри на різних об'єктах незалежно від призначення й розмірів. Вона може мати кілька вимірювальних горизонтів. Але головною її особливістю є те, що вона має твердий зв'язок з опорною мережею, що представляє собою глибинні струнні репери, якорі яких розміщені поза зоною впливу споруджень.

Застосування датчиків визначення положення струни в прямих і зворотних висках (рис. 5) доз-

волило створити прилади дистанційного визначення пошарових горизонтальних зсувів контрольованих об'єктів. В умовах компресорних станцій зворотні виски використовуються як високоточні опорні планові знаки й прилади контролю зсувів ґрунту на зсувних ділянках.

В останні роки завдяки створенню мініатюрного навігаційного устаткування стало можливим застосування для геодезичних цілей безпілотних літальних апаратів (рис. 6). Їхня перевага в порівнянні з пілотованими апаратами очевидна. Вартість однієї години польоту літака або вертольота досягає кілька тисяч гривень. Для магістральних газопроводів найбільш прийнятні безпілотні літаки й дирижаблі. Дальність їхнього польоту досягає 100 км, а швидкість літаків може перевищувати 100 км/год.

За допомогою безпілотників здійснюється інспекційна топографічна зйомка або візуальний контроль устаткування.

На основі розглянутих сучасних засобів вимірів розроблені пропозиції по організації геодезичного інженерного моніторингу елементів газотранспортних систем.

Вимірювальний комплекс геодезичного моніторингу компресорних станцій як одного з основних елементів газотранспортної системи повинен складатися із двох підсистем: підсистеми контролю величин вертикальних зсувів об'єктів спостережень і підсистеми контролю горизонтальних зсувів споруджень і ґрунту.

Основним способом спостережень за осіданням є високоточне геометричне нівелювання, що

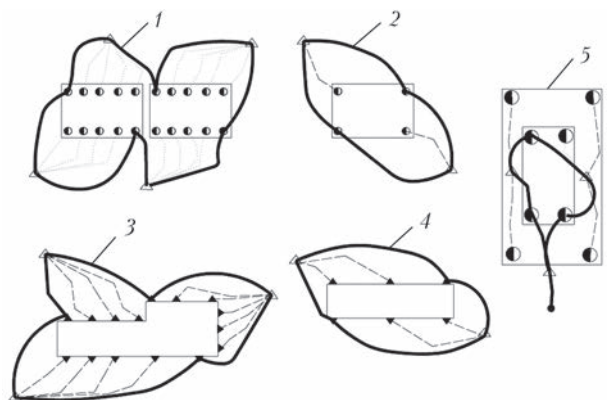


Рис. 8. Схема нівелювання окремих агрегатів: 1 – установка охолодження газу; 2 – установка очистки газу; 3 – службово-експлуатаційний і ремонтний блоки; 4 – склад запасних частин; 5 – турбоагрегати



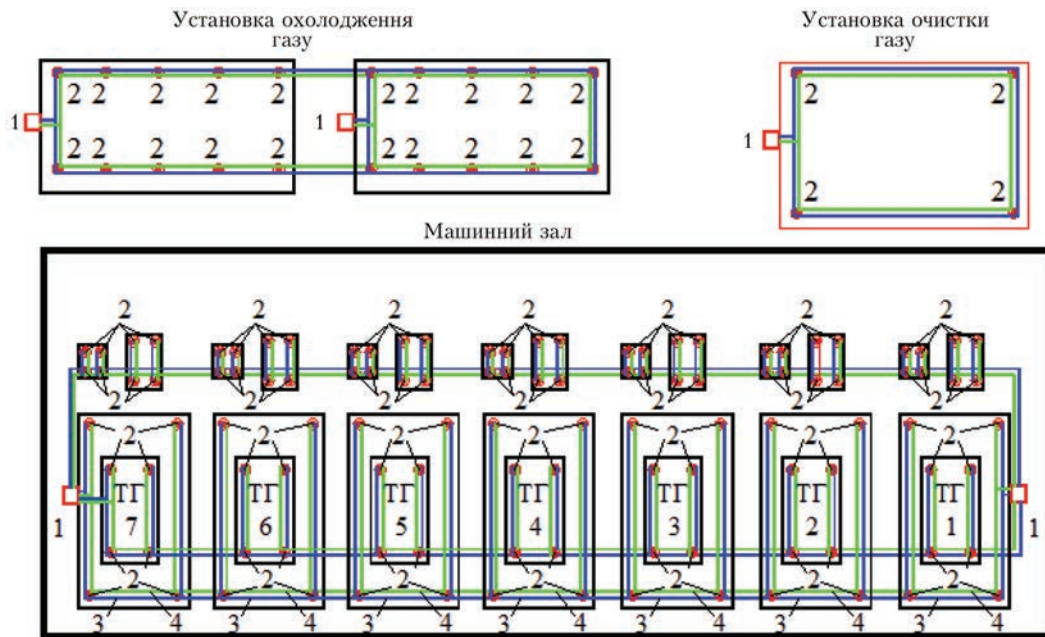


Рис. 9. Розміщення системи гідростатичного нівелювання: 1 – опорні датчики; 2 – контрольні датчики; 3 – рідинні трубопроводи; 4 – повітряні трубопроводи; ТГ1–ТГ7 – газові турбіни

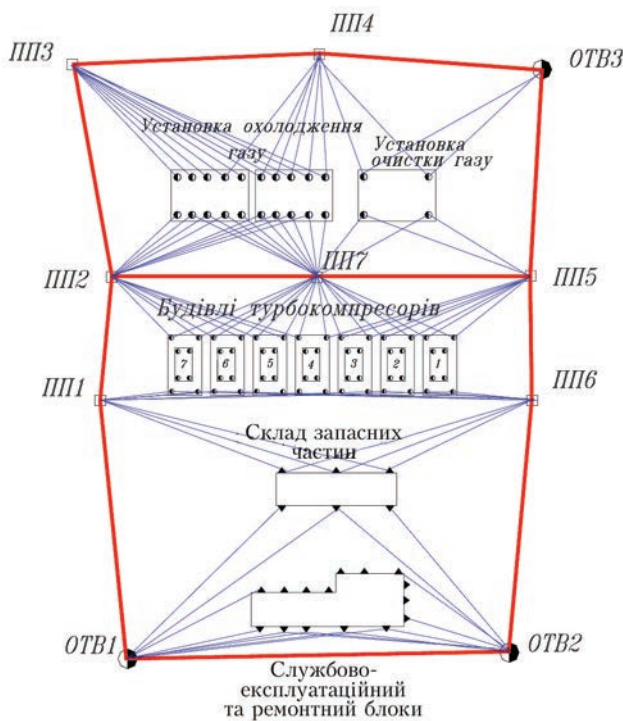


Рис. 10. Схема вимірів горизонтальних зсувів (умовні позначки ті самі, що і на рис. 7)

опирається на спеціальні кущі опорних реперів. Нівелювання виконується у два етапи. На першому етапі від опорних реперів визначаються позначки сполучних контрольних точок. Перший етап забезпечує одержання абсолютних значень величин осідань (точність порядку 2 мм). Схема нівелірної мережі для компресорних станцій відкритого типу наведена на рис. 7.

Відносні величини вертикальних переміщень, наприклад, величини вигину фундаментів агрегатів (див. рис. 1) визначаються за результатами нівелювання, прокладеного по периметрах окремих споруджень від сполучних точок. Цей вид нівелювання назвемо нівелюванням другого етапу. Точність такого нівелювання становить 0,2 мм. На рис. 8 наведено схеми нівелірних мереж другого етапу.

Спостереження за осіданням контрольованих об'єктів повинне виконуватися на протязі усього строку експлуатації компресорної станції. Для підвищення оперативності й надійності вимірів ці роботи найкраще виконувати спеціальними автоматичними гідростатичними системами нівелювання. Один з варіантів розміщення такої системи наведений на рис. 9.

Горизонтальні зсуви об'єктів пропонується визначати методом прямої лінійної кутової зарубки роботизованим тахеометром. Як обґрунтування застосовується полігонометрична мережа, що опирається на зворотні виски (рис. 10).

Розрахунок точності такої мережі показав, що точність визначення координат пунктів не перевищила 2 мм. Виміри повинні виконуватися в автоматичному режимі із включеною системою автонаведення, роль оператора зведеться тільки до установки, включенню й орієнтуванню приладу. Результати вимірів по каналу зв'язку передаються в єдиний центр обробки інформації. На етапі експлуатації компресорних станцій виміри в кожному циклі виконуються по єдиній програмі, що забезпечує виключення систематичних похибок і повну автоматизацію обробки. Тахеометри встановлюються на стаціонарні знаки або безпосередньо на зворотні виски. На рис. 11 показаний загальний вид пунктів полігонометрії й зворотних висків із установленими тахеометрами.

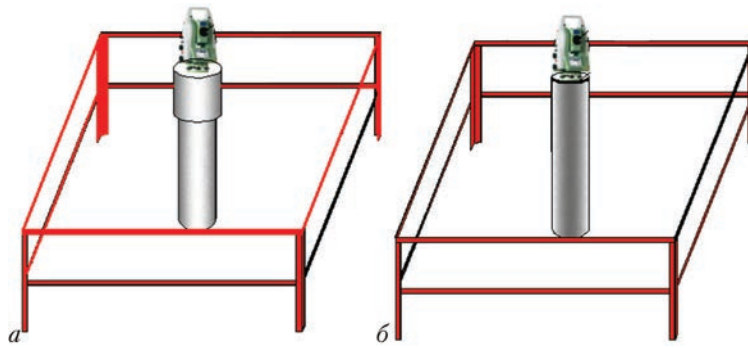


Рис. 11. Установка тахеометра: на зворотній висок (а) і на пункт полігонометрії (б)

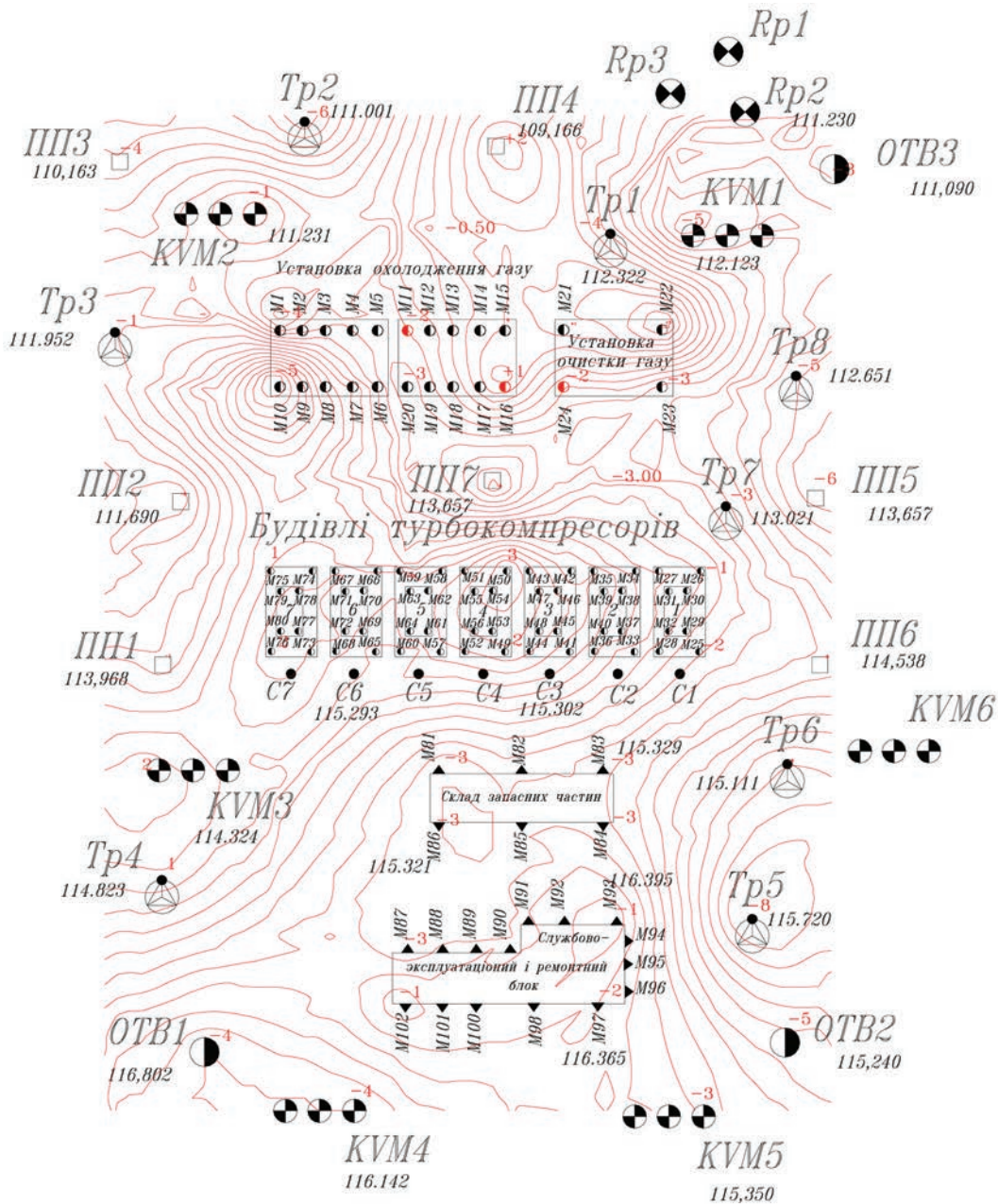


Рис. 12. Ізолінії вертикальних зсувів всієї території компресорної станції (умовні позначки ті, що і на рис. 7)

Сукупність автоматичної гідростатичної системи нівелювання, тахеометрів і зворотних висків дозволяють створити автоматичну систему геодезичного моніторингу устаткування газотранспортних систем. Причому спостере-

ження за осіданням й визначення горизонтальних зсувів будуть виконуватися у повністю автоматичному режимі, а для вимірів горизонтальних зсувів операторові буде необхідно тільки послідовно встановити тахеометр на всі

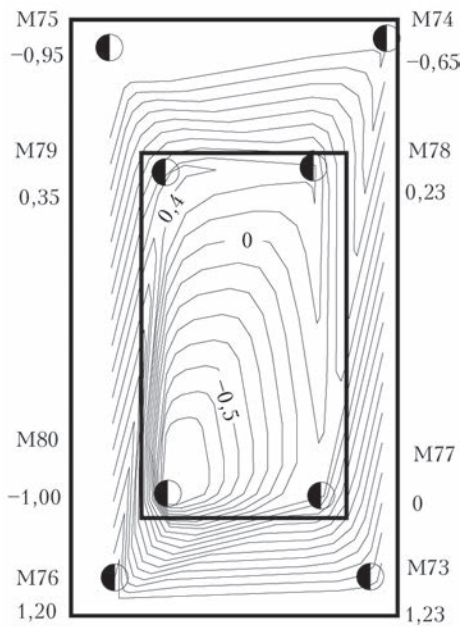


Рис. 13. Ізолінії відносних осідань фундаменту агрегату ТГ1 опорні точки, орієнтуючи його у режимі «Автонаведення» і виконати вимір.

Результати вимірів представляється у вигляді таблиць, графіків і у вигляді планів ізоліній.

На рис. 12–14 надані варіанти подання результатів вимірів.

### Висновки

Розглянуто основні положення програми геодезичного моніторингу обладнання компресорних станцій газотранспортної системи України. При виконанні робіт автори прагнули вирішити технічні проблеми на сучасному технічному рівні.

Реалізація запропонованих пропозицій дозволить створити автоматичні вимірювальні систе-

Main problems of organizing geodesic monitoring of compressor stations in the main pipeline are considered. At this stage combining robotic technologies of linear-angular measurements and modern systems for automatic monitoring of subsidence of equipment foundations allows developing an automatic system of geodesic monitoring of gas transportation system equipment. 4 References, 14 Figures.

*Keywords:* geodesic monitoring of constructions, Ukrainian gas transportation system, subsidence of foundations.

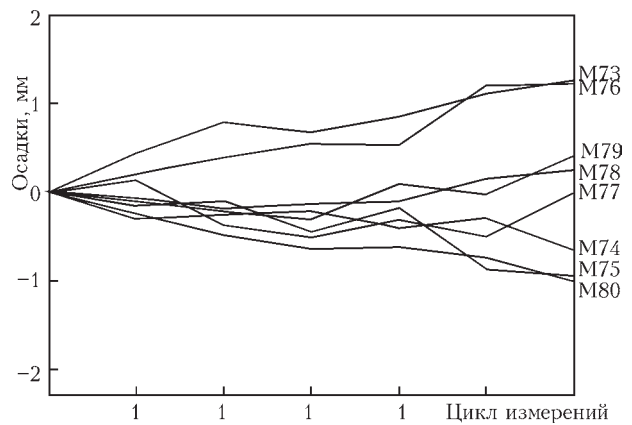


Рис. 14. Графік осідання фундаменту турбокомпресора № 1

ми, які можуть забезпечити оперативний контроль осідань фундаментів обладнання компресорних станцій магістрального газопроводу з достатньою точністю 0,2 мм у вертикальній площині та 2 мм при горизонтальному зусві.

Всі запропоновані розробки базуються на вітчизняних технологіях.

1. Криворучко В. Т. Разработка пространственной автоматизированной системы гидростатического нивелирования / В. Т. Криворучко: дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук: 61 85-5/3989: 05.24.01. – Киев, 1983. – 160 с.
2. Навальнев Н. И. Использование метода рентгенофлуоресцентного анализа при трибодиагностике газоперекачивающих агрегатов / Н. И. Навальнев, В. Е. Ковтун // Приложение «Диагностика объектов газотранспортной системы» к журналу «Газовая промышленность». – 2011. – № 12.
3. Пинегин С. В. Контактная прочность в машинах / С. В. Пинегин. – М.: Машиностроение, 1965. – 192 с.
4. Зурнаджи В. А. Механика грунтов, основания и фундаменты / В. А. Зурнаджи, В. В. Николаев. – М.: Высшая школа, 1967. – 416 с.

Надійшла до редакції  
05.07.2016

## IX конференция

### «Сварка и термическая обработка живых тканей.

### Теория. Практика. Перспективы»

25–26 ноября 2016 г.

г. Киев,

ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины, 03680, ул. Казимира Малевича, 11

E-mail: office@paton.kiev.ua;

тел.: (044) 205-20-06, 205-17-10