

УДК 528.48

ДОСЛІДЖЕННЯ ДЕФОРМАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ФУНДАМЕНТІВ ГАЗОПЕРЕКАЧУВАЛЬНИХ АГРЕГАТИВ КОМПРЕСОРНИХ СТАНЦІЙ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДІВ МЕХАНІКИ ҐРУНТІВ

М. Дутчин, Г. Мельниченко, І. Біда, В. Скриль

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Ключові слова: деформаційні характеристики, осідання, симетричний прогин фундаменту.

Постановка проблеми

Забезпечення надійної експлуатації трубопроводів та інженерно-технологічного устаткування компресорних станцій (КС) є одним з важливих завдань газової промисловості. В процесі експлуатації КС максимальні динамічні навантаження припадають на фундаменти газоперекачувальних агрегатів (ГПА), вертикальні переміщення яких можуть призводити до порушення нормальної роботи основних вузлів.

Одночасно в технологічних трубопроводах входу-виходу газу, які перебувають під високим тиском (до 75 кгс/см²), можуть виникати додаткові напруження. Внаслідок вертикальних переміщень технологічних трубопроводів корпуси відцентрових нагнітачів змінюють своє початкове положення, що зумовлює розцентронування їх з редукторами. Вказані розцентронування, своєю чергою, зумовлюють підвищені вібрації відцентрових нагнітачів, які мають порівняно з редукторами менші опорні жорсткості.

Виконання геодезичних спостережень за станом фундаментів споруд КС має низку специфічних особливостей, а саме: відсутність всеохопних вимог до точності вимірювань; наявність значної кількості контрольних точок; вплив вібрацій тощо.

Одним з основних завдань є встановлення допустимих величин деформаційних характеристик фундаментів ГПА для забезпечення нормальних умов їх експлуатації.

Основою для розв'язання вказаної задачі стали результати геодезичного моніторингу деформацій інженерних споруд, який проводила на КС ДК "Укртрансгаз" тематична група ІФНТУНГ протягом 20 років [9]. В процесі досліджень також використано матеріали інженерно-геологічних вишукувань промайданчиків КС, проведених "ВНИПИТРАНСГАЗ" [6].

Аналіз останніх досліджень та публікацій, які стосуються вирішення цієї проблеми

Прогнозування осідань фундаментів на стадії ущільнення ґрунтів виконують, як правило, з використанням методів, оснований на розв'язанні задач з теорії консолідації [1, 11]. Причини можливих при цьому розходжень з експериментальними даними пов'язані переважно як зі складністю отримання достатньо точних характеристик багатьох властивостей ґрунтів, покладених в основу розрахунків, так і з вибором оптимальних методів і розрахункових схем [6].

Однією з характеристик деформації фундаменту споруди є величина її середнього осідання, яка визна-

чається за величинами абсолютних осідань певної кількості деформаційних марок на цьому ж фундаменті. Оскільки величина осідання, за інших однакових умов, визначається конструкцією фундаменту і розташуванням деформаційних марок, встановлена кількість марок або схема їх розташування може виявитись недостатньою для оцінки величини середнього осідання фундаменту з необхідною точністю [3, 5, 7, 8]. Особливо це стосується елементів технологічного обладнання, які розташовані на кількох ізольованих фундаментах, і від стабільності взаємного висотного положення яких залежить безаварійний режим їх експлуатації.

У роботах [5, 8] наведені результати досліджень точності визначення осідань фундаментів залежно від розташування деформаційних марок. Наведено величини співвідношень між осіданням характерних точок і середнім осіданням фундаменту.

Питання точності визначення величин деформаційних характеристик фундаментів ГПА з урахуванням залежностей між осіданням характерних точок і середнім осіданням фундаменту розглянуто у роботі [4].

Невирішені частини загальної проблеми

Як показують результати досліджень [7], величини співвідношень між осіданням характерних точок і середнім осіданням рівномірно навантажених гнучких фундаментів залежать від відносного розміру фундаменту. Отже, постає задача доцільності врахування вказаного вище параметра.

Постановка завдання проблеми

Метою роботи є встановлення допустимих величин деформаційних характеристик фундаментів ГПА КС з урахуванням функціональних залежностей осідань від відносного розміру фундаменту та збереження визначеного просторового положення осей устаткування.

Виклад основного матеріалу проблеми

За дослідженнями [7] величини співвідношень між осіданням окремих точок і середнім осіданням рівномірно навантажених гнучких фундаментів, розраховані на основі методу еквівалентного шару кутових точок, становлять [11]:

$$S_C/S_m = \frac{0.5946}{\alpha^{0.0229}}; \quad (1)$$

$$S_K/S_m = \frac{0.7990}{\alpha^{0.0845}}; \quad (2)$$

$$S_D/S_m = \frac{0.8187}{\alpha^{-0.0608}}; \quad (3)$$

$$S_O/S_m = \frac{1.1884}{\alpha^{0.0224}}, \quad (4)$$

де S_C – осідання кутової точки фундаменту; $S_K S_D$ – осідання точок, розташованих посередині коротшої і довшої сторін фундаменту відповідно; S_O – осідання центральної точки фундаменту; S_m – величина середнього стабілізованого осідання фундаменту; α – відносний розмір фундаменту ($\alpha = L/B$).

Схема розташування точок на фундаменті ГПА наведена на рис. 1.

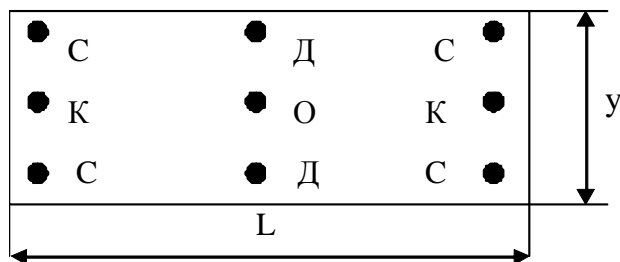


Рис. 1. Розташування точок на фундаменті

З (1) – (4) отримаємо відповідно:

$$S_C = \frac{0.5946 \cdot S_m}{\alpha^{0.0229}}; \quad (5)$$

$$S_K = \frac{0.7990 \cdot S_m}{\alpha^{0.0845}}; \quad (6)$$

$$S_D = \frac{0.8187 \cdot S_m}{\alpha^{-0.0608}}; \quad (7)$$

$$S_O = \frac{1.1884 \cdot S_m}{\alpha^{0.0224}}. \quad (8)$$

Однією з деформаційних характеристик фундаментів ГПА є стріла прогину плити фундаменту. Величину симетричного прогину у напрямку поздовжньої осі фундаменту f_{O-K} (див. рис. 1) визначаємо за формулою:

$$f_{O-K} = S_O - S_K. \quad (9)$$

З урахуванням залежностей (8) і (6) формулу (9) запишемо у вигляді:

$$f_{O-K} = S_m \left(\frac{1.1884}{\alpha^{0.0224}} - \frac{0.7990}{\alpha^{0.0845}} \right). \quad (10)$$

Відповідно до [2] величина стріли прогину f_{O-K} плити фундаменту не повинна перевищувати 1/10 000 її довжини, тобто:

$$f_{O-K} \leq 0.0001 \cdot L. \quad (11)$$

З урахуванням умови (11), матимемо:

$$\left(\frac{1.1884}{\alpha^{0.0224}} - \frac{0.7990}{\alpha^{0.0845}} \right) S_m \leq 0.0001 \cdot L. \quad (12)$$

Звідси отримаємо допустиму величину середнього осідання фундаменту:

$$S_m^{don} \leq \frac{1,0 \cdot 10^{-4} \cdot L}{\left(\frac{1.1884}{\alpha^{0.0224}} - \frac{0.7990}{\alpha^{0.0845}} \right)}. \quad (13)$$

Оскільки центральна частина фундаментів ГПА завантажена технологічним устаткуванням, стрілу

прогину f_{O-K} визначити експериментально проблематично. Виконаємо розрахунок величини поздовжнього симетричного прогину f_{D-C} (див. рис. 1) у напрямку довгих сторін фундаменту, тобто:

$$f_{D-C} = S_D - S_C. \quad (14)$$

З урахуванням залежностей (7) і (5) отримаємо:

$$f_{D-C} = S_m \cdot \left(\frac{0.8187}{\alpha^{-0.0608}} - \frac{0.5946}{\alpha^{0.0229}} \right). \quad (15)$$

Підставивши значення S_m^{don} з (13) у (15), одержимо допустиму величину поздовжнього симетричного прогину f_{D-C}^{don} фундаменту:

$$f_{D-C}^{don} \leq \frac{1,0 \cdot 10^{-4} \cdot L \left(\frac{0.8187}{\alpha^{-0.0608}} - \frac{0.5946}{\alpha^{0.0229}} \right)}{\frac{1.1884}{\alpha^{0.0224}} - \frac{0.7990}{\alpha^{0.0845}}}. \quad (16)$$

На основі формули (16) визначимо допустиму величину відносного симетричного прогину f_{D-C}^{don} фундаменту:

$$i_{D-C}^{don} \leq \frac{1,0 \cdot 10^{-4} \cdot L \left(\frac{0.8187}{\alpha^{-0.0608}} - \frac{0.5946}{\alpha^{0.0229}} \right)}{\left(\frac{1.1884}{\alpha^{0.0224}} - \frac{0.7990}{\alpha^{0.0845}} \right) L}, \quad (17)$$

або

$$i_{D-C}^{don} \leq \frac{1,0 \cdot 10^{-4} \left(\frac{0.8187}{\alpha^{-0.0608}} - \frac{0.5946}{\alpha^{0.0229}} \right)}{\frac{1.1884}{\alpha^{0.0224}} - \frac{0.7990}{\alpha^{0.0845}}}. \quad (18)$$

Величину поперечного симетричного прогину вздовж коротших сторін фундаменту f_{K-C} знайдемо за формулою:

$$f_{K-C} = S_K - S_C. \quad (19)$$

Після підстановки S_K і S_C з формул (6) і (5) у (19) відповідно, отримаємо:

$$f_{K-C} = S_m \left(\frac{0.7990}{\alpha^{0.0845}} - \frac{0.5946}{\alpha^{0.0229}} \right). \quad (20)$$

Допустиму величину поперечного симетричного прогину f_{K-C}^{don} визначимо після підстановки S_m^{don} з формули (13) у формулу (20):

$$f_{K-C}^{don} \leq \frac{1,0 \cdot 10^{-4} L \left(\frac{0.7990}{\alpha^{0.0845}} - \frac{0.5946}{\alpha^{0.0229}} \right)}{\frac{1.1884}{\alpha^{0.0224}} - \frac{0.7990}{\alpha^{0.0845}}}. \quad (21)$$

Допустиму величину відносного поперечного симетричного прогину i_{K-C}^{don} визначимо за формулою:

$$i_{K-C}^{don} \leq \frac{10^{-4} \cdot L \left(\frac{0.7990}{\alpha^{0.0845}} - \frac{0.5946}{\alpha^{0.0229}} \right)}{\left(\frac{1.1884}{\alpha^{0.0224}} - \frac{0.7990}{\alpha^{0.0845}} \right) B}, \quad (22)$$

або

$$i_{K-C}^{don} \leq \frac{\alpha \cdot 10^{-4} \left(\frac{0.7990}{\alpha^{0.0845}} - \frac{0.5946}{\alpha^{0.0229}} \right)}{\frac{1.1884}{\alpha^{0.0224}} - \frac{0.7990}{\alpha^{0.0845}}}. \quad (23)$$

Середню квадратичну похибку визначення осідання m_S можна виразити через величину критичного для цієї споруди абсолютного осідання $S_{кр}$ [10], тобто:

$$m_S \leq \frac{S_{кр}}{2t}, \quad (24)$$

де t – нормований коефіцієнт.

Для $t = 3$ (за ймовірності $P = 0,977$) формулу (24) запишемо у вигляді:

$$m_S \leq \frac{S_{кр}}{6}. \quad (25)$$

Прийнявши як критичне осідання $S_{кр}$ допустиму величину середнього осідання $S_m^{доп}$ фундаменту, визначеного за формулою (13), отримаємо:

$$m_S \leq \frac{L \cdot 10^{-4}}{\left(\frac{1.1884}{\alpha^{0.0224}} - \frac{0.7990}{\alpha^{0.0845}} \right) \cdot 6}. \quad (26)$$

Розрахуємо допустимі значення деформаційних характеристик для одного з фундаментів ГПА магістрального газопроводу “Союз”. При $L = 17$ м, $B = 4$ м, $\alpha = 4,25$ за формулами (11), (13), (16), (18), (21) і (23) отримаємо відповідно: $f_{0-к} \leq 1,7$ мм; $S_m^{доп} \leq 3,83$ мм; $f_{D-C}^{доп} \leq 1,22$ мм; $i_{D-C}^{доп} \leq 7,19 \cdot 10^{-5}$; $f_{K-C}^{доп} \leq 0,51$ мм; $i_{K-C}^{доп} \leq 1,26 \cdot 10^{-4}$.

Висновки

Наведений метод визначення деформаційних характеристик фундаментів ГПА можна використати для організації геодезичних спостережень за осіданнями і деформаціями рівномірно навантажених фундаментів енергетичних установок.

Література

1. Дашко Р.Э. Механика грунтов в инженерно-геологической практике / Р. Дашко, А. Каган – М.: Недра, 1977. – 237 с.
2. Корнев Б.Г. Динамический расчет специальных инженерных сооружений и конструкций / Б. Корнев, А. Смирнов. – М.: Стройиздат, 1986. – 461 с.
3. Дутчин М. Визначення оптимального положення деформаційних марок при спостереженні за вертикальними переміщеннями фундаментів споруд газокompресорних станцій / М. Дутчин, Г. Мельниченко, І. Біда // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва: зб. наук. пр. – Львів. – 2007. – № 14. – С. 95–100.
4. Дутчин М. До визначення допустимих величин осідань фундаментів газоперекачувальних агрегатів компресорних станцій / М. Дутчин, Г. Мельниченко // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва: зб. наук. пр. – Львів. – 2002. – С. 190–192.
5. Дутчин М.М. До визначення точності осідань фундаментів газоперекачувальних агрегатів компресорних станцій в залежності від розташування деформаційних марок / М.М. Дутчин // Інженерна геодезія. – К. КНУБА, 2001. – Вип. 45. – С.73–76.
6. Дутчин М.М. Дослідження осадок фундаментів газоперекачувальних агрегатів компресорних

станцій на основі фізико-механічних властивостей ґрунтів / М.М. Дутчин // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – 1996. – Вип. 57. – С. 16–26.

7. Дутчин М. Дослідження точності та інформативності визначення осідань фундаментів інженерних споруд / М. Дутчин // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва: зб. наук. пр. – Львів. – 2005. – С. 164–168.
8. Дутчин М. Особливості розташування марок при спостереженнях за осіданнями фундаментів споруд і технологічного обладнання компресорних станцій / М. Дутчин // Сучасні досягнення геодезичної науки і виробництва в Україні: зб. наук. пр. – Львів. – 1997. – С. 125–128.
9. Перович Л. Моніторинг деформацій інженерних споруд на об'єктах транспорту газу / Л. Перович, М. Дутчин // Геоінформаційний моніторинг навколишнього середовища: зб. тез міжнар. симпоз. – Алушта (Крим). – 1996. – С. 90–91.
10. Тамутис З.П. Проектирование кинематических нивелирных сетей / З.П. Тамутис // Геодезія, картографія і аерофотосъемка. – 1986. – Вип. 43. – С. 93–99.
11. Цытович Н.А. Механика грунтов: учебник / Н.А. Цытович. – М.: Высшая школа, 1983. – 288 с.

Дослідження деформаційних характеристик фундаментів газоперекачувальних агрегатів компресорних станцій з використанням методів механіки ґрунтів

М. Дутчин, Г. Мельниченко, І. Біда, В. Скриль

Розглянуто метод визначення допустимих величин деформаційних характеристик фундаментів газоперекачувальних агрегатів компресорних станцій з використанням теорії еквівалентного шару кутових точок. Наведено результати досліджень.

Исследование деформационных характеристик фундаментов газоперекачивающих агрегатов компрессорных станций с использованием методов механики грунтов

М. Дутчин, Г. Мельниченко, И. Бида, В. Скрыль

Рассмотрен метод определения допустимых величин деформационных характеристик фундаментов газоперекачивающих агрегатов компрессорных станций с использованием теории эквивалентного слоя угловых точек. Приведены результаты исследований.

Deformation characteristic researches of the compressor stations gas-compressor unit foundations using the methods of soil mechanics

M. Dutchyn, G. Melnychenko, I. Bida, V. Skryl

It is considered a method of estimation of the acceptable deformation characteristics for the foundations of gas-compressor units using a theory of equivalent layer of corner points. The results of researches are introduced.