

УДК 528.48

## ДОСЛІДЖЕННЯ ОСІДАНЬ ПОВЕРХНІ ҐРУНТУ І РЕПЕРІВ ПІД ВПЛИВОМ СТАТИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ФУНДАМЕНТІВ СПОРУД

М. Дутчин, Т. Грицюк

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

**Ключові слова:** фундамент, поверхня ґрунту, середнє осідання, ущільнення ґрунтів, ґрунтовий репер, глибина закладання, оцінка стійкості, гранична похибка.

### Постановка проблеми.

Спостереження за осіданнями і деформаціями інженерних споруд і технологічного обладнання займають значне місце в сучасній практиці інженерно-геодезичних робіт. При цьому об'єкт і складність спостережень, а також вимоги до точності їх виконання постійно зростають.

Для спостережень за вертикальними переміщеннями фундаментів інженерних споруд на території майбутнього будівництва створюється локальна висотна основа.

Досвід спостережень показує, що внаслідок різноманітних причин, які досить важко врахувати, стійкість реперів порушується.

Одним із основних чинників, які визначають нестабільність геодезичних знаків, є зміна навантажень на основу, під час якої відбувається осідання поверхні ґрунту як під фундаментом споруди, так і за його межами.

Незважаючи на значну тривалість процесу консолідації, основна частина деформації природних основ (до 80–85 %) припадає саме на будівельний період [9].

Отже, проект розташування пунктів опорної мережі необхідно складати з урахуванням можливого осідання поверхні ґрунту і реперів внаслідок зміни природного тиску на ґрунт під час завантаження фундаментів споруд.

### Аналіз останніх досліджень та публікацій, які стосуються вирішення цієї проблеми

Висотною основою, відносно якої визначають осідання окремих марок, є мережа опорних реперів, які встановлюються на деякій відстані від споруди, в місцях, де збереження висотного положення знака можна гарантувати на весь період спостережень за осіданнями [5].

Залежно від характеру ґрунтів і необхідної точності спостережень використовують звичайні ґрунтові або спеціальні глибинні репери.

Як впливає із [10], мінімальна відстань, на яку повинен бути віддалений глибинний репер від споруди, має дорівнювати половині глибини його закладання. При цьому глибина закладання знака повинна бути нижчою від глибини активної зони стиснення основи споруди.

У практиці будівництва промислових об'єктів інколи з технічних або організаційних причин неможливо закласти глибинні репери. Однак на початок

будівельних робіт необхідно мати вихідні пункти, висота яких в кожному циклі спостережень була б незмінною.

Визначаючи осідання нівелюванням II і III класів, як вихідні допускається використовувати ґрунтові репери, довжина реперної труби яких залежить від глибини промерзання ґрунту [5].

Як відомо, ґрунтові репери повинні міститися поза зоною впливу будівлі або споруди.

Згідно з [5], для споруд промислового і цивільного будівництва віддалення ґрунтових реперів від споруди не повинно бути меншим за 70–80 м.

Існують й інші допуски щодо віддалення ґрунтових реперів (50–70 м) [10].

Алгоритми розрахунку осідань поверхні ґрунту за межами контуру прямокутного фундаменту, оснований на методи загальних пружних деформацій, наведено в роботах [1, 2].

### Невирішені частини загальної проблеми

Як показують результати теоретичних досліджень [2], величина осідання поверхні ґрунту за межами завантаженого контуру залежить від величини осідання фундаменту споруди, його форми і розмірів.

Отже, постає задача дослідження впливу ваги споруди (тобто величини її осідання в процесі ущільнення ґрунту) на зміщення репера.

### Постановка завдання проблеми.

Встановлення допустимих величин співвідношень між осіданнями ґрунтових реперів і фундаменту споруди залежно від необхідної точності геодезичних спостережень.

### Виклад основного матеріалу проблеми

Як відомо, стійкість висотного положення реперів істотно залежить від конструкції центра, способу і глибини його закладання.

У перший період після закладання центрів і реперів можливі осідання знаків, зумовлені ущільненням ґрунту в котловані (структурні деформації) [4].

Однією з основних причин осідання репера в процесі структурних деформацій є його власна вага.

У [7] для перерахунку величини можливого осідання репера  $S_{pen}$  пропонується формула:

$$S_{pen} = \sum_{i=1}^n P_{0i} h_i \beta_i / E_{0i}, \quad (1)$$

де  $P_{0i}$  – середній додатковий тиск у границях  $i$ -го прошарку ґрунту;  $\beta_i$  – перехідний коефіцієнт, який залежить від коефіцієнта Пуассона;  $E_{0i}$  – модуль загальної деформації  $i$ -го прошарку ґрунту;  $h_i$  –

товщина  $i$ -го прошарку ґрунту;  $n$  – кількість прошарків ґрунту, які входять у зону стиснення. Значення коефіцієнта Пуассона змінюється від 0 до 0,5. Перехідний коефіцієнт  $\beta_i$  можна виразити через коефіцієнт поперечного розширення ґрунту [13]:

$$\beta = 1 - \frac{2\mu_0^2}{1 - \mu_0} \quad (2)$$

Модуль загальної деформації ґрунту для умов одновимірної задачі (де властивості ґрунтів по глибині зони стиснення змінюються досить незначно) визначають за формулою [12]:

$$E_o = \frac{\beta}{m_v}, \quad (3)$$

де  $m_v$  – коефіцієнт відносного стиснення ґрунту.

Отже, для ґрунтового репера формулу (1) запишемо у вигляді:

$$S_{pen} = h \cdot m_v P_0, \quad (4)$$

де  $h$  – глибина закладання центра.

Додатковий тиск  $P_0$ , який виникає у ґрунті після закладання репера, визначається різницею між повним тиском  $P_{pen}$  від ваги знака і тиском від ваги ґрунту, вийнятого із котловану [4], тобто

$$P_0 = P_{pen} + \gamma h, \quad (5)$$

де  $\gamma$  – об'ємна вага ґрунту ( $\gamma$  – природний тиск).

Для встановлення умов, за наявності яких розрахунок центрів на осідання внаслідок структурних деформацій необхідний, можна знайти величину питомого тиску на ґрунт.

Маса конструкції репера повинна розраховуватись так, щоб створюваний ним тиск на ґрунт не перевищував природного, тобто [4]

$$P_{pen} \leq \gamma h. \quad (6)$$

У цьому випадку ущільнення ґрунтів на висотне положення репера істотно не впливає, тобто осідання репера практично дорівнюватиме нулю, що дає змогу осідання знаків цього типу, зумовлене структурними деформаціями ґрунтів, не розраховувати.

Іншою причиною, яка визначає нестабільність геодезичних знаків, є зміна природного тиску внаслідок навантаження фундаментів споруд.

Максимальну величину осідання поверхні ґрунту для заданої відстані від контуру прямокутного фундаменту можна визначити за формулою [1]:

$$S_r = \frac{2a}{\pi} \left( \frac{l}{b} \right)^\tau S_m \arcsin \left[ \frac{l}{2r+b} \right], \quad (7)$$

де  $S_r$  – осідання поверхні ґрунту на відстані  $r$  від контуру фундаменту;  $S_m$  – прогнозована величина середнього стабілізованого осідання фундаменту;  $l, b$  – відповідно довжина і ширина фундаменту;  $r$  – відстань від контуру фундаменту;  $a, \tau$  – коефіцієнти ( $a = 1.0173$ ;  $\tau = -0.37708$ ).

Середнє осідання  $S_m$  фундаменту розраховано методом еквівалентного шару ґрунту за формулою [12]:

$$S_m = h_g m_v P, \quad (8)$$

де  $h_g$  – товщина еквівалентного шару ґрунту;  $m_v$  – коефіцієнт відносного стиснення ґрунту;  $P$  – інтенсивність рівномірно розподіленого навантаження.

Осідання  $S_r$  поверхні ґрунту розраховано на моделях прямокутних фундаментів (табл. 1).

Таблиця 1

**Параметри моделей фундаментів**

$$(m_v = 4,24 \cdot 10^{-4} \text{ см}^2/\text{Н}; P = 0,05 \text{ МПа})$$

Параметри	Номери моделей				
	1	2	3	4	5
$l, \text{ м}$	8,0	12,0	23,0	8,0	20,0
$b, \text{ м}$	4,0	4,0	3,0	8,0	4,7
$a(l/b)$	2,0	3,0	7,7	1,0	4,3
$F, \text{ м}^2$	32,0	48,0	69,0	64,0	94,0
$S_m, \text{ мм}$	11,79	13,82	14,21	17,13	18,40

Результати розрахунку осідань поверхні ґрунту за формулою (7) наведено в табл. 2.

Таблиця 2

**Величини осідань поверхні ґрунту за межами контуру моделей фундаментів**

$r, \text{ м}$	Величини осідань $S_r, \text{ м}$				
	Номери моделей				
	1	2	3	4	5
5	3,20	4,59	5,70	4,78	7,69
10	1,93	2,85	3,76	3,13	5,11
20	1,06	1,59	2,19	1,84	2,99
30	0,73	1,10	1,53	1,50	2,10
40	0,56	0,84	1,17	1,01	1,62
50	0,45	0,68	0,95	0,82	1,31
60	0,38	0,57	0,79	0,69	1,10
70	0,33	0,49	0,68	0,60	0,95
80	0,29	0,43	0,60	0,53	0,84
90	0,26	0,39	0,54	0,47	0,75
100	0,23	0,35	0,48	0,43	0,67
110	0,21	0,32	0,44	0,39	0,61
120	0,19	0,29	0,40	0,36	0,56
130	0,18	0,27	0,37	0,33	0,52
140	0,17	0,25	0,35	0,31	0,48
150	0,15	0,23	0,32	0,29	0,45

Як видно із табл. 2, величини осідань поверхні ґрунту за межами контуру фундаменту (за інших рівних умов) залежать як від величини середнього осідання  $S_m$  фундаменту, так і від відносного розміру фундаменту  $\alpha$  (моделі № 3 і 4).

Можна вважати, що осідання нівелірних знаків відтворюють осідання навколишнього ґрунту. Але ця умова виконується не завжди.

Як показують результати досліджень [11], співвідношення між величинами вертикальних переміщень поверхні ґрунту і змінами по висоті ґрунтових реперів (на глибині їх закладання близько 1,8 м) лежить у межах 1,25–1,56, тобто

$$\frac{S_{pen}}{S_r} = 0,64 - 0,80. \quad (9)$$

Наведена залежність ( $\frac{S_{pen}}{S_r} = 0.65$  для вказаної глибини) підтверджується і результатами спостережень за вертикальними переміщеннями земної поверхні та реперів, зумовленими температурними впливами [8].

Враховуючи вплив осадкової зони на зміщення репера і приймаючи максимальну величину співвідношення  $\frac{S_{pen}}{S_r} = 0.80$ , формулу (9) запишемо в вигляді:

$$S_{pen} \approx 0,80S_r. \quad (10)$$

З урахуванням залежності (10) формула (7) набуває вигляду:

$$S_{pen} = 0,8 \frac{2a}{\pi} \left(\frac{l}{b}\right)^\tau S_m \arcsin \left[ \frac{l}{(2r+b)} \right]. \quad (11)$$

Ймовірні величини осідань ґрунтових реперів, розраховані за формулою (11), наведені в табл.3.

Таблиця 3

### Величини осідань ґрунтових реперів

r, м	Величини осідань $S_{pen}$ , мм				
	Номери моделей				
	1	2	3	4	5
5	2,56	3,67	4,56	3,82	6,15
10	1,54	2,28	3,01	2,50	4,09
20	0,85	1,27	1,75	1,47	2,39
30	0,58	0,88	1,22	1,20	1,68
40	0,45	0,67	0,94	0,81	1,30
50	0,36	0,54	0,76	0,66	1,05
60	0,30	0,46	0,63	0,55	0,88
70	0,26	0,39	0,54	0,48	0,76
80	0,23	0,34	0,48	0,42	0,67
90	0,21	0,31	0,43	0,38	0,60
100	0,18	0,28	0,38	0,34	0,54
110	0,17	0,26	0,35	0,31	0,49
120	0,15	0,23	0,32	0,29	0,45
130	0,14	0,22	0,30	0,26	0,42
140	0,14	0,20	0,28	0,25	0,38
150	0,12	0,18	0,26	0,23	0,36

Залежно від задач спостережень за осіданнями як вихідні дані для розрахунку точності вимірювань вибирають один або декілька показників осідань або деформацій.

Однією із характеристик деформації фундаменту споруди є величина її середнього осідання, яку визначають за величинами абсолютних осідань ряду точок сусіднього фундаменту.

Для більшості інженерних споруд точність геодезичних спостережень визначають на основі максимального допустимого або розрахованого граничного осідання.

Оскільки в процесі ущільнення ґрунтів осідання споруд практично досягають максимуму, за допустимого приймемо величину середнього стабілізованого осідання  $S_m$ , розрахованого за формулою (8).

Залежно від важливості результатів спостережень вибирають і відповідне співвідношення між похибкою і очікуваним результатом вимірювання деформації.

Якщо граничну похибку визначення осідання  $S_m$  позначити через  $\Delta S_m$ , а коефіцієнт надійності через  $k$ , то

$$\Delta S_m = k \cdot S_m. \quad (12)$$

Враховуючи чинні вимоги до точності визначення параметрів у будівництві [6], згідно з якими коефіцієнт надійності приймають  $k=0,10$ , формулу (12) запишемо в вигляді:

$$\Delta S_m = 0,10 \cdot S_m. \quad (13)$$

Загальну очікувану граничну похибку визначення осідання  $\Delta S_m$ , як відомо, розраховують за формулою:

$$\Delta S_m = \sqrt{\Delta_{pen}^2 + \Delta_{лок}^2}, \quad (14)$$

де  $\Delta_{pen}$  – гранична похибка визначення осідання вихідного для локальної мережі репера;  $\Delta_{лок}$  – гранична похибка визначення осідання оцінюваної точки від вихідного репера, з урахуванням всіх зв'язків локальної мережі.

Оцінка стійкості вихідних реперів у загальному випадку полягає у розділенні отриманих зі спостережень даних на власне зміщення і можливі похибки їх визначення [3].

Якщо величина осідання  $S_{pen}$  не перевищує граничної похибки  $\Delta_{pen}$  його визначення, тобто  $S_{pen} < \Delta_{pen}$ , то репер вважається стійким, і навпаки.

Прийнявши, що гранична похибка визначення осідання вихідного репера  $\Delta_{pen} = 1/5 \Delta S_m$  [4], умову стійкості реперів відповідно до формули (13) запишемо в вигляді:

$$S_{pen} \leq 0,02S_m. \quad (15)$$

Тобто для забезпечення стійкості вихідних реперів величина співвідношення між осіданням ґрунтового репера і фундаменту споруди  $\frac{S_{pen}}{S_m}$  у цьому випадку не повинна перевищувати 2 %.

Величину співвідношення  $\frac{S_{pen}}{S_m}$  визначимо із формули (11):

$$\frac{S_{pen}}{S_m} \approx 0,8 \frac{2a}{\pi} a^\tau \arcsin \left[ \frac{l}{(2r+b)} \right], \quad (16)$$

де  $a = \frac{l}{b}$ .

Можуть бути прийняті й інші критерії для оцінки точності визначення осідань.

Результати розрахунку величин  $\frac{S_{pen}}{S_m}$  за формулою (16) наведено в табл. 4.

Таблиця 4  
Співвідношення між осіданнями ґрунтового репера і фундаменту споруди

r, м	Величини співвідношень $S_{pen}/S_m$ , %				
	Номери моделей				
	1	2	3	4	5
5	21,7	26,6	32,1	22,3	33,4
10	13,1	16,5	21,2	14,6	22,2
20	7,2	9,2	12,3	8,6	13,0
30	5,0	6,4	8,6	7,0	9,1
40	3,8	4,9	6,6	4,7	7,0
50	3,0	3,9	5,3	3,8	5,7
60	2,6	3,3	4,4	3,2	4,8
70	2,2	2,8	3,8	2,8	4,1
80	2,0	2,5	3,4	2,5	3,6
90	1,8	2,3	3,0	2,2	3,3
100	1,6	2,0	2,7	2,0	2,9
110	1,4	1,8	2,5	1,8	2,6
120	1,3	1,7	2,2	1,7	2,4
130	1,2	1,6	2,1	1,5	2,3
140	1,2	1,6	2,0	1,4	2,1
150	1,0	1,3	1,8	1,4	2,0

Як видно із табл. 4, безпечна відстань від контуру споруди до місць закладання вихідних реперів, що задовольняє умову  $S_{pen}/S_m \leq 2\%$ , відповідно становить:

- для моделі № 1 – 80 м;
- для моделей № 2 і 4 – 100 м;
- для моделі № 3 – 140 м;
- для моделі № 5 – 150 м.

Розрахунки проведено від окремо взятого фундаменту без урахування можливого накладання силових полів у ґрунтовому масиві від завантаження сусідніх фундаментів і площ.

#### Висновки

Результати досліджень показують, що величина осідання поверхні ґрунту і реперів за межами контуру фундаменту споруди (за інших рівних умов) залежить від відносного розміру фундаменту  $a = l/b$  (збільшується зі зростанням  $a$ ).

Використовуючи наведену залежність (15) між осіданням ґрунтового репера і фундаменту споруди, можна розрахувати орієнтовну відстань до місць закладання вихідних реперів під час проектування геодезичних спостережень за осіданнями і деформаціями інженерних споруд.

#### Література

1. Дутчин М. До визначення максимальних осідань поверхні ґрунту за межами завантаженого контуру / М. Дутчин, Г. Мельниченко // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2005. – С.160–163.
2. Дутчин М. Дослідження осідань поверхні ґрунту в умовах статичних навантажень фундаментів споруд / М. Дутчин // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2004. – С.207–209.
3. Измерение вертикальных смещений сооружений и анализ устойчивости реперов / В.Н. Ганьшин, А.Ф. Стороженко, А.Г. Ильин и др. – М.: Недра, 1981. – 215 с.

4. Климов О.Д. Практикум по прикладной геодезии. Изыскания, проектирование и возведение инженерных сооружений: учеб. пособие / О.Д. Климов, В.В. Калугин, В.К. Писаренко. – М.: Недра, 1991. – 271 с.
5. Левчук Г.П. Прикладная геодезия. Основные методы и принципы инженерно-геодезических работ: учебник / Г.П. Левчук, В.Е. Новак, В.Г. Конусов. – М.: Недра, 1981. – 438 с.
6. Лукьянов В.Ф. Расчеты тонкости инженерно-геодезических работ. – М.: Недра, 1981. – 285 с.
7. Методы и приборы высокоточных геодезических измерений в строительстве / В.Д. Большаков, И.Ю. Васютинский, Е.Б. Ключин и др. – М.: Недра, 1976. – 335 с.
8. Павлик В.Г. Комплексне дослідження сезонних гідротермічних деформацій земної поверхні: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Львів, 1999. – 15 с.
9. Справочное руководство по инженерно-геодезическим работам / В.Д. Большаков, Г.П. Левчук, В.Е. Новак и др. – М.: Недра, 1980. – 781 с.
10. Субботин И.Е. Справочник строителя по инженерной геодезии / И. Субботин, А. Мазницкий. – К.: Будивельник, 1980. – 280 с.
11. Успенский М. Об изучении влияния техногенных процессов на деформации земной поверхности и стабильность геодезических пунктов / М. Успенский // Геодезия и картография. – 1975. – № 4. – С.8–11.
12. Цытович Н.А. Механика грунтов: учебник / Н.А. Цытович. – М.: Высшая школа, 1983. – 288 с.
13. Дашко Р.Э. Механика грунтов в инженерно-геологической практике / Р. Дашко, А. Качан. – М.: Недра, 1977. – 237 с.

#### Дослідження осідань поверхні ґрунту і реперів під впливом статичних навантажень

фундаментів споруд  
М. Дутчин, Т. Грицюк

Наведено результати досліджень осідань ґрунтових реперів, зумовлених статистичними навантаженнями фундаментів споруд в процесі ущільнення ґрунтів, з використанням моделей прямокутних фундаментів.

#### Исследование оседаний поверхности грунта и реперов под влиянием статических нагрузок фундаментов сооружений

М. Дутчин, Т. Грицюк

Приведены результаты исследований оседаний грунтовых реперов, обусловленных статическими нагрузками фундаментов сооружений в процессе уплотнения грунтов, с использованием моделей прямоугольных фундаментов.

#### Research of settlement of ground and benchmarks under influenced of stationary load of buildings's foundations

M. Dutchyn, T. Grytsyuk

We got the results of researches of the settlement monuments that conditioned the stationary load of buildings's foundations in the process of sealing with use the models of rectangular foundations.