

Investigation of modeling accuracy of soil foundations immersions during the monitoring of engineering environment

Volodymyr Staroverov, Zakhar Kravchenko

Engineering Geodesy Department, Kiev National University of construction and architecture, UKRAINE, Kiev, Povitroflots'kyi Ave., 31, E-mail: fantan-go@ukr.net

This article deals with a modeling accuracy of immersions of soil foundations. Authors expose the question of modeling accuracy method. Investigate the increments and periodicity of hypothetical immersions. The influence of variance of hypothetical maximum immersion and the variance of intensity coefficient upon a volume of hypothetical immersion is analyzed. Author report the results of dependence between the main components of exponential immersion function and compression modulus of soil foundation. The immersion of half-space and it's standard deviation, taking into account the influence of compression modulus variance, was considered. Better understanding of modeling consolidation processes of soil foundations allows engineers adequately and rationally weigh arguments to justify the accuracy and periodicity of geodetic monitoring of engineering environment «structure–soil foundation». Table 3 reflects the mutual influence of variances of hypothetical maximum immersion and intensity coefficient on values of hypothetical immersions. The next stage of analysis of modeling the deformation processes would be directed at a mutual model of structural elements and soil foundation, investigation of exertions redistribution in construction elements.

Дослідження точності моделювання осадок ґрунтових основ при моніторингу інженерного середовища

Володимир Староверов, Захар Кравченко

Кафедра інженерної геодезії, Київський національний університет будівництва і архітектури, УКРАЇНА, м. Київ, прос. Повітрофлотський, 31, E-mail: fantan-go@ukr.net

Обґрунтування точності та періодичності виконання геодезичного моніторингу інженерного середовища «споруда-ґрунтова основа» залишається основним питанням інженерної геодезії. При цьому необхідно досліджувати моделі осідання ґрунтових основ, аналізувати вплив фізико-механічних показників ґрунтової основи на результати прогнозування приростів осадок та періодичності спостереження. Краще розуміння цього питання дає змогу виваженого підходу до обґрунтування точності виконання геодезичних робіт.

Ключові слова: осадка, модуль деформації, дисперсія, консолідація, півпростір, коефіцієнт інтенсивності осадки, середньо квадратична похибка.

I. Вступ

Метою статті є розкриття питання обґрунтування та аналізу точності визначення періодичності та приростів осадки ґрунтової основи під дією навантаження.

Геодезичні спостереження за осадками інженерних об'єктів та споруд мають важливе значення як на етапі проектування так і при подальшій експлуатації об'єкта будівництва. Результати спостережень дають змогу оцінити інтенсивність осідання, нерівномірність осідання окремих елементів споруди, що спричиняє перерозподіл напружень в конструктивних елементах. За результатами моніторингу інженерного середовища «споруда-ґрунтова основа» можна уточнювати моделі, за якими прогнозувалися осадки чи деформації, перевіряти їх на відповідність реальним умовам експлуатації. Таким чином результати спостережень мають суттєвий вплив на загальну картину розвитку процесів осідання та деформування інженерного середовища.

Інженерне середовище представлено ґрунтовими масивами та спорудами, які безпосередньо взаємодіють з ґрунтовою основою. Для того, щоб мати адекватне уявлення про осадки та деформації, необхідно застосовувати відповідні моделі, що описують взаємодію споруд із ґрунтовими основами, або моделі, що описують процес деформування ґрунтових масивів під дією навантаження.

Перед початком проведення геодезичного моніторингу інженерного середовища необхідно виконати попередній розрахунок величин осадок споруди, для цього застосовуються гіпотетичні моделі

розвитку осідання. Попереднє моделювання осадок дає змогу більш раціонально та виважено підійти до питання обґрунтування точності та періодичності спостережень за інженерним середовищем.

Переважає більшість ґрунтових масивів мають експоненціальний характер розвитку осідання, тому гіпотетична функція розвитку осадки має експоненціальний вигляд [3]:

$$S_{t_i} = S_k(1 - e^{-\alpha t_i}), \quad (1)$$

де S_k – гіпотетичне максимальне значення осадки (кінцева осадка); α – гіпотетичний коефіцієнт інтенсивності осадки; S_{t_i} – значення осадки в певний момент часу.

II. Аналіз гіпотетичної моделі осадок

Представлена гіпотетична модель описує процес осідання ґрунтової основи, вона дає змогу обчислити приріст осадки за певний часовий проміжок спостережень. В таблиці 1 наведені загальні закони механіки ґрунтів, що дають змогу так чи інакше підійти до питання визначення осадок та розвитку осадок у часі, а також напруження та деформацій ґрунтових масивів.

Таблиця 1

Загальні закони механіки ґрунтів

Властивості ґрунту	Закономірність	Показники	Практичне застосування
Стисливість	Закон ущільнення	Коефіцієнт стиснення	Осадки фундаментів
Водопроникність	Закон ламінарної фільтрації	Коефіцієнт фільтрації	Прогнозування осадок у часі водонасичених ґрунтів
Контактний опір зсуву	Умова міцності	Коефіцієнт внутрішнього тертя	Гранична межа міцності, стійкості та тиску
Структурно-фазова деформаційність	Принцип лінійної деформаційності	Модуль деформації	Визначення напружень та деформацій ґрунтових основ

Експоненціальна гіпотетична модель базується на законі ламінарної фільтрації теорії фільтраційної консолідації ґрунтових основ, що має ряд припущень, тому необхідно виважено аналізувати складові функції осідання та їх вплив на значення приростів осадок і періодів спостережень. Прогнозування осадок залежить від точності та періодичності визначення фізичних та механічних показників ґрунтових основ, а також від встановлення граничних умов, при точному вирішенні задач механіки ґрунтів. Оскільки всі ці методи базуються на припущеннях та уявленнях про процес осідання, а також існує вплив похибок визначення фізико-механічних показників ґрунтових основ, то необхідно досліджувати вплив цих змінних параметрів на результати обчислення гіпотетичних приростів та періодів деформацій ґрунтових основ.

Розглянемо детальніше основні складові цієї моделі. Коефіцієнт інтенсивності осадки α , що дає представлення про інтенсивність консолідації ґрунтової основи [3]:

$$\alpha = \frac{\pi^2 C_v}{4h^2}, \quad (2)$$

де C_v – коефіцієнт консолідації; $2h$ – прошарок, у якому відбувається процес вирівнювання гідродинамічних напружень. Коефіцієнт консолідації може бути представлений у вигляді:

$$C_v = \frac{K}{m_v \gamma_w}, \quad (3)$$

де K – коефіцієнт фільтрації; m_v – коефіцієнт відносного стиснення; γ_w – питома вага води. Коефіцієнт відносного стиснення можна представити через модуль деформації E та коефіцієнт β , що враховує відсутність поперечного розширення ґрунту:

$$m_v = \beta/E. \quad (4)$$

Коефіцієнт фільтрації визначається лабораторним шляхом згідно з ГОСТ 25584-90 для піщаних, пилуватих, глинистих ґрунтів. Після того, як ми перейшли до модуля деформації, ми можемо простежити характер впливу зміни значення модуля деформації ґрунтової основи на гіпотетично визначені величини приростів осадок та періодів спостережень, що обґрунтовують точність та періодичність виконання геодезичного моніторингу інженерного середовища. Проаналізуємо вплив зміни модуля деформації на значення S_k та α . Після підстановки формули (4) та (3) до формули (2) ми матимемо формулу інтенсивності осадки:

$$\alpha = \frac{\pi^2 \cdot K \cdot E}{4 \cdot h^2 \cdot \beta \cdot \gamma_w}, \quad (5)$$

Визначимо дисперсію коефіцієнта інтенсивності осадки ґрунтової основи:

$$m_\alpha^2 = \left(\frac{\pi^2 \cdot K}{4 \cdot h^2 \cdot \beta \cdot \gamma_w} \right)^2 \cdot m_E^2, \quad (6)$$

де m_E^2 – дисперсія визначення модуля деформації.

Іншою складовою експоненціальної функції є гіпотетичне кінцеве значення осадки S_k , що може бути визначена за різними моделями осадок (півпростір, пошарове сумування, прошарку...). Проаналізуємо вплив дисперсії модуля деформації на гіпотетичне кінцеве значення осадки S_k . Нехай кінцеве значення осадки визначається як осадка півпростору. Обчислимо значення дисперсії та СКП визначення коефіцієнта інтенсивності осадки залежно від впливу дисперсії модуля деформації. Вихідні дані: $K = 0,0035 \text{ м/рік}$; $h = 6 \text{ м}$; $\beta = 0,8$; $\gamma_w = 10000 \text{ Н/м}^3$; $E = 10 \text{ МПа}$. Отже СКП коефіцієнта інтенсивності осадки сягає 10,3% від загального значення коефіцієнта, що впливатиме на подальші розрахунки приростів та періодичності спостережень.

Таблиця 2

Коефіцієнт інтенсивності осадки

Коефіцієнт інтенсивності осадки	
Коефіцієнт інтенсивності осадки, α	0,299
Дисперсія коефіцієнта інтенсивності осадки, m_α^2	$8,99 \cdot 10^{-4}$
Стандарт (СКП) коефіцієнта інтенсивності осадки, m_α	0,029

III. Осадка півпростору

Якщо на півпростір діє зосереджена сила P , то осадка точки, що знаходиться на відстані r від місця навантаження, по Ж. В. Буссинеску дорівнюватиме формулі (7) [1]:

$$S_k = \frac{P \cdot (1 - \nu_0^2)}{\pi \cdot E_0 \cdot r}, \quad (7)$$

де ν_0 – коефіцієнт Пуассона для основи. У випадку просторової задачі ми отримуємо абсолютні значення осадок, на відміну від осадки півплощини. Оскільки при $r = 0$ осадка прямує до нескінченності, то будемо використовувати розподілене навантаження по площі зі сторонами b та c .

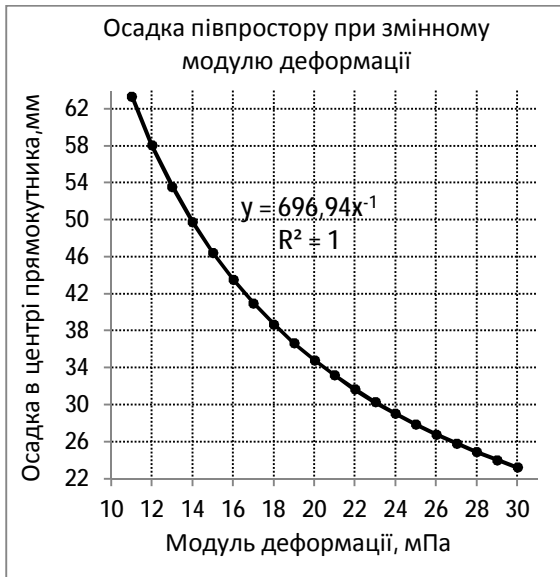


Рис.1 Осадка півпростору

Після інтегрування остаточно отримуємо (без виводу) [1]:

$$S_k = \frac{(1 - \nu_0^2)}{\pi \cdot E_0 \cdot c} \cdot F, \quad (8)$$

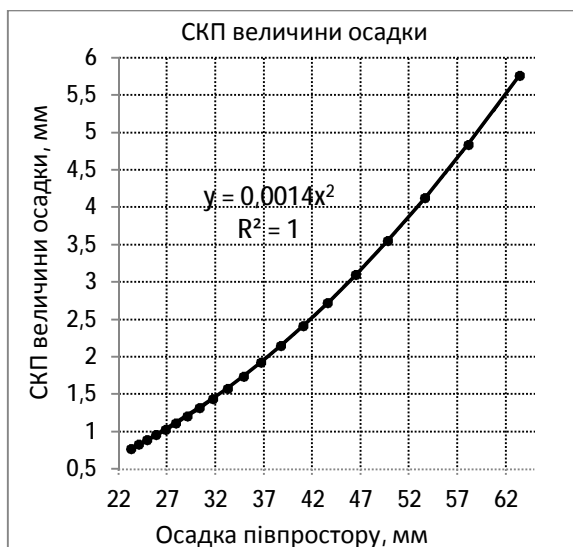


Рис.2 СКП величини осадки

Якщо осадка визначається в центрі прямокутника ($x = 0$), тоді F визначатиметься:

$$F = 2 \frac{c}{b} \left\{ \ln \left(\frac{b}{c} \right) + \frac{b}{c} \ln \left[\frac{c}{b} + \sqrt{\left(\frac{c}{b} \right)^2 + 1} \right] + \ln \left[1 + \sqrt{\left(\frac{c}{b} \right)^2 + 1} \right] \right\}. \quad (9)$$

Функція F пропорційна абсолютним осадкам. Виконаємо аналіз точності визначення величини осадки:

$$dS_k = \frac{\partial S_k}{\partial E} dE = \frac{F \cdot (1 - \nu_0^2)}{\pi \cdot c} \cdot \left(-\frac{1}{E^2} \right) \cdot dE, \quad (10)$$

$$m_{S_k}^2 = \left[\frac{F \cdot (1 - \nu_0^2)}{\pi \cdot c} \cdot \left(-\frac{1}{E^2} \right) \right]^2 \cdot m_E^2, \quad (11)$$

де m_E^2 – дисперсія визначення модуля деформації. Вихідними даними для обчислення осадки півпростору: $c = 1$, $b = 2$ м та $m_E^2 = 1$ МПа.

На рисунку 1 та рисунку 2 ми бачимо залежність осадки в центрі прямокутника при зміні величини модуля деформації, а також СКП визначення цієї величини осадки. В подальшому можна простежити вплив дисперсії модуля деформації на значення прирості осадки та періодичності спостережень.

IV. Аналіз приростів осадки

Проаналізуємо експоненціальну функцію осадок та виконаємо необхідні розрахунки. Визначимо дисперсію гіпотетичної осадки S_{t_i} на певний період часу, враховуючи вплив дисперсії кінцевої осадки:

$$dS_{t_i} = \frac{\partial S_{t_i}}{\partial S_k} dS_k = (1 - e^{-\alpha t_i}) \cdot dS_k, \quad (12)$$

$$m_{S_{t_i}}^2 = (1 - e^{-\alpha t_i})^2 \cdot m_{S_k}^2. \quad (13)$$

Формула (13) дає змогу оцінити вплив дисперсії $m_{S_k}^2$ кінцевої гіпотетичної осадки на прогнозоване значення осадки. За такою самою методикою проаналізуємо вплив дисперсії коефіцієнта інтенсивності осадки α на прогнозоване значення осадки.

$$dS_{t_i} = \frac{\partial S_{t_i}}{\partial \alpha} d\alpha = (-S_k \cdot (e^{-\alpha t_i}) \cdot (-t_i)) \cdot d\alpha, \quad (14)$$

$$m_{S_{t_i}}^2 = ((-S_k \cdot (e^{-\alpha t_i}) \cdot (-t_i))^2 \cdot m_\alpha^2. \quad (15)$$

Використовуючи кінцеві прирости, визначаємо середню швидкість осадки за час Δt [2]:

$$v = \frac{\Delta S}{\Delta t}. \quad (16)$$

Переходимо до визначення стандарту швидкості осідання $m(v)$, попередньо прологарифмувавши вираз (16), тобто $\ln v = \ln \Delta S - \ln \Delta t$:

$$\frac{dv}{v} = \frac{d(\Delta S)}{\Delta S} - \frac{d(\Delta t)}{\Delta t}. \quad (17)$$

Відносна похибка визначення швидкості осадки визначається за формулою (18):

$$\frac{m(v)}{v} = \sqrt{\frac{m^2(\Delta S)}{\Delta S^2} + \frac{m^2(\Delta t)}{\Delta t^2}}. \quad (18)$$

За рівного впливу похибок визначення приростів та періодів осадок матимемо:

$$m(\Delta t) \leq \frac{\Delta t}{N\sqrt{2}}; \quad m(\Delta S) \leq \frac{\Delta S}{N\sqrt{2}}, \quad (19)$$

де $\frac{1}{N}$ – деяке значення відносної похибки. Попередні вирази (19) є ключовими при подальшому вирішенні

питання обґрунтування точності та періодичності спостережень за інженерним середовищем. Визначимо швидкість осадки [2]:

$$v = \frac{ds}{dt} = S_k \cdot \alpha \cdot e^{-\alpha t_i} \quad (20)$$

Відповідно приріст осадки на певному проміжку часу визначається за формулою [2]:

$$\Delta S = \int_{t_1}^{t_2} v dt = S_k \cdot \alpha \int_{t_1}^{t_2} e^{-\alpha t_i} \cdot dt$$

$$\Delta S = S_k (e^{-\alpha t_1} - e^{-\alpha t_2}) \quad (21)$$

Визначимо періоди спостережень відносно $t_0 = 0$ наступним чином, $\frac{\Delta S}{S_k} = const = \varepsilon$:

$$e^{-\alpha t_i} = 1 - i \cdot \varepsilon = 1 - i \cdot \left(\frac{\Delta S}{S_k}\right) \quad (22)$$

Таблиця 3

СКП осадки на час t_i								
№	t_i міс	S_{t_i} мм	mS_{t_i} (S_k)	mS_{t_i} (α)	$(S_k + \alpha)$	% (S_k)	% (α)	% ($S_k + \alpha$)
1	0.1	4	0.4	0.4	0.6	11.2	9.8	14.9
2	0.3	8	0.9	0.8	1.2	11.2	9.5	14.7
3	0.5	12	1.4	1.1	1.7	11.2	9.2	14.6
4	0.7	16	1.8	1.4	2.3	11.2	8.9	14.4
5	0.9	20	2.2	1.7	2.8	11.2	8.6	14.2
6	1.1	24	2.7	2.0	3.4	11.2	8.4	14.0
7	1.4	28	3.2	2.2	3.9	11.2	8.0	13.8
8	1.7	32	3.6	2.5	4.4	11.2	7.7	13.6
9	2.0	36	4.1	2.6	4.8	11.2	7.3	13.4
10	2.3	40	4.5	2.8	5.3	11.2	6.9	13.2
11	2.7	44	4.9	2.9	5.7	11.2	6.6	13.0
12	3.0	48	5.4	2.9	6.1	11.2	6.1	12.8
13	3.5	52	5.8	2.9	6.6	11.2	5.7	12.6
14	4.0	56	6.3	2.9	6.9	11.2	5.2	12.4
15	4.6	60	6.8	2.8	7.3	11.2	4.6	12.2
16	5.4	64	7.2	2.6	7.6	11.2	4.0	11.9
17	6.3	68	7.6	2.3	8.0	11.2	3.4	11.7
18	7.7	72	8.1	1.8	8.3	11.2	2.6	11.5
19	10.0	76	8.6	1.2	8.6	11.2	1.6	11.4
20	15.4	-	-	-	-	-	-	-

Вихідні дані для обчислення осадок: $\alpha = 0,299$; $m_\alpha^2 = 0,0009$; $S_k = 80$; $m_{S_k}^2 = 9$ мм; $E = 10$ МПа.

В таблицю 3 зведені результати обчислення СКП прогнозованої осадки $m_{S_{t_i}}$, що залежать від впливу дисперсії коефіцієнта інтенсивності консолідації та кінцевого значення осадки. На рисунку 3 представлені криві СКП відповідно для прогнозованих значень осадок, окремо вплив дисперсії коефіцієнта α та дисперсії S_k . Після цього необхідно врахувати вплив СКП $m_{S_{t_i}}$ на результати визначення ΔS , що визначає СКП виконання геодезичних робіт (19). Тема отримає подальший розвиток за розв'язанні питання моделювання

сумісної роботи фундаментних частин споруди безпосередньо з ґрунтовою основою.

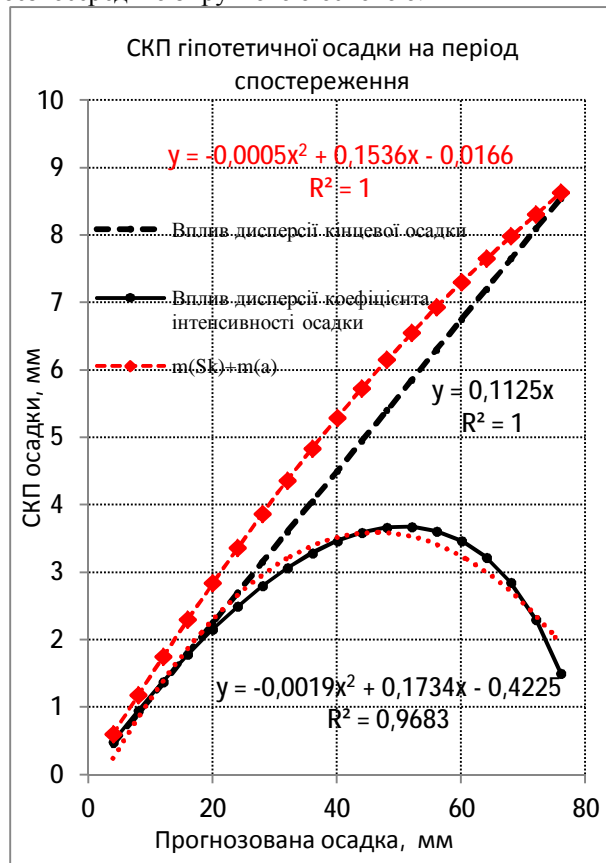


Рис. 3 Криві СКП осадки

Висновок

В роботі запропоновано методику та підхід щодо визначення СКП осадок ґрунтових основ, що визначаються за експоненціальною моделлю розвитку осідання. Проаналізовано вплив дисперсії кінцевого значення осадки, яка визначається за моделлю деформування півпростору, а також вплив дисперсії коефіцієнта інтенсивності, що залежать відповідно від дисперсії модуля деформації ґрунтової основи на значення приростів осадок. Це сприятиме адекватному обґрунтуванню точності виконання геодезичного моніторингу інженерного середовища «ґрунтова основа – споруда».

Література

- [1] Жемочкин Б.Н., Сеницын А.П. Практические методы расчёта фундаментных балок и плит на упругом основании. – Москва, Госстройиздат, 1962. – С.26-28.
- [2] Инженерная геодезия. // Республиканский межведомственный научно-технический сборник. – Киев, «Будівельник», 1972. – С. 3-12.
- [3] Цытович Н. А. Механика ґрунтов. // Учебник для строит. вузов. – 4-е изд. – Москва, Издательство «ВЫСШАЯ ШКОЛА», 1983. – С.181-193.