

УДК 624.131.22

*Ю.Л. Винников, д.т.н., професор
Н.А. Косточка, аспірант*

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка

ПІДВИЩЕННЯ ДОСТОВІРНОСТІ ПРОГНОЗУВАННЯ ОСІДАННЯ ГРУНТОВОЇ ОСНОВИ

Проаналізовано розрахунок осідання ґрунтової основи методом пошарового підсумовування. Для підвищення достовірності оцінювання стисливості ґрунту та прогнозу осідання вдосконалено метод розрахунку осідання ґрунтової основи.

Ключові слова: *модуль деформації, стисливість, осідання, коефіцієнт пористості, точність.*

УДК 624.131.22

*Ю.Л. Винников, д.т.н., професор
Н.А. Косточка, аспірант*

Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка

ПОВЫШЕНИЕ ДОСТОВЕРНОСТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОСАДКИ ГРУНТОВОГО ОСНОВАНИЯ

Проанализирован расчет осадки ґрунтового основания методом послойного суммирования. Для повышения достоверности оценивания сжимаемости ґрунтов и прогноза осадки усовершенствован метод расчета осадки ґрунтового основания.

Ключевые слова: *модуль деформации, сжимаемость, осадка, коэффициент пористости, точность.*

UDC 624.131.22

*Yu.L. Vynnykov, ScD, Professor
N.A. Kostochka, post-graduate*

Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University

INCREASING THE RELIABILITY OF PRECIPITATION FORECASTING SOIL FOUNDATIONS

The analysis of calculation sediment soil foundation a layered method of summation by performed. For increase of accuracy of valuation compressibility of the soil and forecast subsidence proposed a more accurate method of calculating the sediment soil foundation.

Keywords: *deformation modulus, compressibility, forecasting, porosity coefficient, accuracy.*

Вступ. Накопичено позитивний досвід прогнозування осідання та просідання лесових основ будівель і споруд як інженерними методами, що базуються переважно на моделях однорідного, ізотропного, лінійно деформованого середовища, так і методом скінченних елементів з реалізацією складних нелінійних моделей середовища, достовірність результатів яких залежить, головним чином, від підвищення точності визначення властивостей стисливості ґрунту.

Кожній моделі основи відповідає певна сукупність деформаційних характеристик ґрунту, котрі відносять до найголовніших чинників, які суттєво впливають на осідання основ фундаментів і їх нерівномірність [1]. Будь-яке вдосконалення методики прогнозу осідань, що супроводжується уточненням розрахункової моделі, ускладненням математичного апарату й зростанням обсягу інженерно-геологічних досліджень, не буде ефективним без підвищення достовірності та точності визначення властивостей стисливості ґрунту.

Огляд останніх джерел досліджень і публікацій. Найбільш апробовані методи розрахунку осідань основ будівель та споруд переважно базуються на моделях однорідного, ізотропного, лінійно деформованого середовища [1 – 7]. Метод пошарового підсумовування [2, 5] завдяки універсальності набув найбільшої популярності серед геотехніків у практиці прогнозів осідань основ будівель і споруд. Осідання основи у ньому визначають за формулою

$$S = \beta \sum_{i=1}^n \frac{\sigma_{zp,i} h_i}{E_i}, \quad (1)$$

де $\beta = 0,8$; $\sigma_{zp,i}$ – середнє значення додаткового тиску в i -му елементарному шарі; h_i , E_i – відповідно товщина і модуль деформації i -го шару ґрунту; n – кількість елементарних шарів у межах стислої товщі.

Відомі пропозиції з уточнення прогнозу осідань цим методом шляхом:

– обмеження потужності стислої товщі врахування структурної міцності ґрунту (М.Ю. Абелєв, О.В. Голлі [8], В.Б. Швець [4] та інші);

– введення в розрахунок змінного за глибиною масиву модуля деформації (Б.І. Далматов, Г.К. Клейн, О.Г. Шашкін [9] та інші);

– урахування природного напруженого стану ґрунту при лабораторному визначенні модуля деформації (Б.І. Далматов, О.В. Голлі, М.Б. Лісюк [8]);

– визначення коефіцієнта β , який гарантує безпечне урахування впливу бічного обтиснення ґрунту на осідання основи (С.Г. Безволев, В.Г. Федоровський, В.Ф. Александрович [10]). Величина β змінна. Її оцінюють за параметрами міцності ґрунту: нормалізованого зчеплення \bar{c} (постійна для різновиду ґрунту) й еквівалентного тиску σ_e , що відповідає коефіцієнту пористості e ґрунту на кривій первинної компресії. Недолік методики – у складності встановлення відповідних параметрів в умовах вишукувальних і проектних організацій;

– урахування структурної міцності ґрунтів (В.М. Широков [11]), збільшення кількості ступенів навантаження при компресійних дослідах (і зменшення їх величин) порівняно зі звичайними методиками в межах структурної міцності. Недолік цього підходу той же, що й у попередньому випадку;

– призначення глибини розрахункової області як певного умовного параметра, не пов'язаного прямо з уявленнями про закономірності деформування ґрунту, за емпіричним виразом, числові параметри якого залежать від виду ґрунту (В.В. Лушников та інші) [12]. Цей спосіб не досить наочний, бо в ньому в чистому вигляді не застосовують параметри стисливості ґрунтів;

– урахування: змінності модуля деформації ґрунту в усьому діапазоні тиску, котрий сприймає основа при навантаженні; коефіцієнта β_z за міцністю ґрунту; деформаційної анізотропії ґрунтів; закономірностей зміни модуля деформації ґрунту за глибиною стислої товщі (Ю.Л. Винников, А.В. Яковлев [10]).

Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми. Згідно з нормами [2], осідання кожного шару ґрунту визначають за допомогою модуля деформації E та додаткового тиску σ_{zp} відповідно до глибини. До розрахунку вводять постійну величину модуля деформації без урахування його залежності від тиску, а також не враховують зміну пористості ґрунтової основи у межах стислої товщі. Із цих причин прогнозування осідання основ будівель за стандартними деформаційними параметрами має недостатню достовірність.

Тому за мету прийнято вдосконалення методики розрахунку осідання основи з урахуванням стисливості основи у широкому діапазоні тисків і зміни пористості ґрунту за глибиною стислої товщі.

Основний матеріал і результати. При розрахунку осідання однорідної (один вид ґрунту) основи модуль деформації розраховують як середнє значення, де його величина буде сталою для всіх розрахункових шарів ґрунту незалежно від тиску та пористості, хоча ці дві складові є змінними величинами за глибиною. Тому має місце таке припущення, що товщина i -го шару й модуль деформації ґрунту в його межах є величинами постійними, а їх відношення можна виразити через коефіцієнт $h_i/E_i = k = const.$

Таким чином, формулу (1) можна записати як

$$S = \beta \sum_1^n k \cdot \sigma_{zpi} . \quad (2)$$

Із цього виразу виходить, що осідання ґрунтової основи залежить від епюри додаткового вертикального тиску за глибиною стислої товщі, а модуль деформації E_i та товщину шарів ґрунту h_i можна розглядати як коефіцієнт, на який не впливають ні залежність стискання ґрунту від тиску, ні значення пористості в окремих шарах ґрунтової основи.

Відомо, що осідання ґрунтового масиву відбувається за рахунок стисливості ґрунту, що супроводжується зменшенням його пористості. На величину стисливості впливає початкова пористість ґрунту, зі збільшенням

якої стисливість ґрунту від навантаження зростає. Для виключення впливу пористості окремих зразків ґрунту за параметр стисливості запропоновано приймати відносне зменшення коефіцієнта пористості при стисканні зразка ґрунту та визначати цей показник за виразом

$$N_{pw}^i = \frac{e_0^i - e_p^i}{e_0^i} = \frac{\Delta e_p^i}{e_0^i}, \quad (3)$$

де N_{pw}^i – показник стисливості i -го зразка; e_0^i , e_p^i – коефіцієнти пористості i -го зразка ґрунту, відповідно початковий і після прикладання тиску p ; Δe_p^i – зменшення коефіцієнта пористості i -го зразка ґрунту після прикладання тиску p .

Показник стискання ґрунту визначають як середнє значення показників стисливості зразків ґрунту N_{pw}^i як

$$N_{pw} = \sum_{i=1}^n \frac{e_0^i - e_p^i}{e_0^i \cdot n} = \sum_{i=1}^n \frac{\Delta e_p^i}{e_0^i \cdot n} = \sum_{i=1}^n \frac{N_{pw}^i}{n}, \quad (4)$$

де N_{pw} – показник стисливості ґрунту певної вологості w від тиску p .

Значення цієї характеристики розраховують за результатами компресійних випробувань при кожному ступені тиску. Величини, що суттєво відрізняються від середнього значення, відбраковують, після чого будують графік $N_{pw} = f(p)$ залежності показника стисливості ґрунту N_{pw} від тиску p (див. рис. 1).

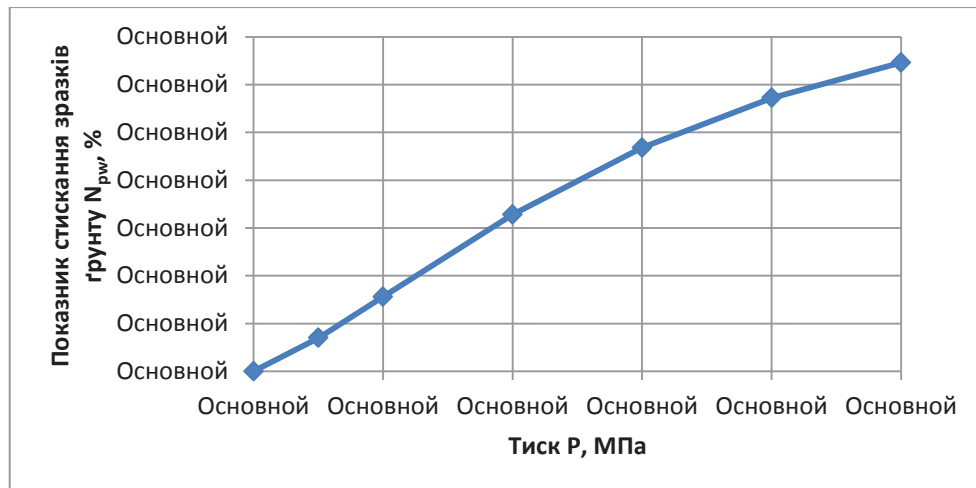


Рис. 1 – Залежність показника стисливості ґрунту N_{pw} від тиску p

Графік $N_{pw} = f(p)$ дає можливість обчислювати значення показника N_{pw} при будь-якому тиску p (чи напруженні σ_{zp}) в межах стисливої товщі ґрунту. Для наочності можна визначати відносну стисливість ґрунту

N_{pw} у відсотках, але у розрахунках осідань основи більш доцільно визначати його у частках одиниці.

Осідання ґрунтової основи від тиску p запропоновано обчислювати методом пошарового підсумовування за формулою

$$S = S_i = k \sum_{i=1}^n \frac{N_{pw}^i}{\beta} \cdot \frac{e_0^i}{1 + e_0^i} \cdot h_i, \quad (5)$$

де $k = 0,8$; S_i – осідання ґрунтової основи від навантаження фундаменту; β – коефіцієнт, який ураховує бічне розширення при стисканні ґрунту; N_{pw}^i – показник стисливості i -го шару ґрунту при відповідній вологості та напруженому стані, що відповідає тиску p (напруженню σ_{zp}); e_0^i – початковий коефіцієнт пористості i -го шару ґрунту; h_i – товщина i -го шару ґрунту; n – кількість шарів стисливої товщі.

Вираз (5) дозволяє враховувати відповідний додатковий тиск у конкретній точці ґрунтового масиву, а також вплив пористості ґрунту за рахунок зміни початкового коефіцієнта пористості цієї основи за глибиною.

Приклад розрахунків осідання ґрунтової основи за двома методиками наведено в табл. 1. Зразки ґрунтів, відібрані на будівельному майданчику м. Полтава, мали природну вологість $w = 0,135$ і початкові коефіцієнти пористості першого шару $e_0 = 0,849$; другого шару $e_0 = 0,800$; третього шару $e_0 = 0,760$. Осідання такої основи розраховано за тиском під подошвою квадратного фундаменту $b = 2$ м: $p = 200$ кПа з товщиною шарів ґрунту 1,6; 1,6; 3,2 м; $p = 250$ кПа з товщиною шарів ґрунту 1,6; 1,6; 4 м; $p = 300$ кПа з товщиною шарів ґрунту 1,6; 1,6; 4 м.

Таблиця 1 – Порівняння результатів прогнозу осідань ґрунтової основи, що визначені за різними деформаційними характеристиками

Умови розрахунку	Тиск під подошвою фундаменту p , кПа	Осідання ґрунтової основи методом пошарового підсумовування S , м	
		через модуль деформації E	через показник стисливості N_{pw}
Тришарова ґрунтова основа; фундамент квадратної форми	200	0,11	0,14
	250	0,14	0,19
	300	0,17	0,27

З табл. 1 видно, що величини осідань основи цих фундаментів, визначені методом пошарового підсумовування, через показники стисливості ґрунтів на 21 – 37% перевищують розраховані через їх модулі деформації.

Висновок. Отже, показник стисливості N_{pw} відображає відносну зміну коефіцієнта пористості при стисненні ґрунту, а його величина не залежить від пористості окремих зразків ґрунту. Розрахунок осідання основи фундаментів з використанням цієї характеристики враховує зміну додаткового тиску та коефіцієнта пористості ґрунту за глибиною стисливої товщі, а розрахунок осідання з використанням показника стисливості підвищує достовірність прогнозування основи. Розходження значень осідання основи, визначених за різними підходами, пояснюється відсутністю перелічених вище чинників у нормативній методиці.

Література

1. Кушнер, С.Г. Расчет деформаций оснований зданий и сооружений / С.Г. Кушнер. – Запорожье: ООО «ИПО Запорожье», 2008. – 496 с.
2. ДБН В.2.1-10-2009. Основи та фундаменти будівель і споруд. Основні положення проектування. – К.: Мінрегіонбуд України. – 2009. – 107 с.
3. Егоров, К.Е. К расчету деформаций оснований: сб. ст. / К.Е. Егоров. – М.: ФГУП «ВНИИГТИИ», 2002. – 400 с.
4. Інженерна геологія. Механіка ґрунтів, основи і фундаменти: підручник / М.Л. Зоценко, В.І. Коваленко, А.В. Яковлев, О.О. Петраков, В.Б. Швець, О.В. Школа, С.В. Біда, Ю.Л. Винников. – Полтава: ПолтНТУ, 2004. – 568 с.
5. Справочник геотехника. Основания, фундаменты и подземные сооружения / под ред. В.А. Ильичева и Р.А. Мангушева. – М.: Изд-во «АСВ», 2014. – 728 с.
6. Manjriker, A. Foundation Engineering / A. Manjriker, I. Gunarante. – New York: Taylor and Francis, 2006. – 608 p.
7. Analysis of deformation course of soft soils in earth structures construction / W. Sas, A. Szymanski, E. Malinowska, A. Niesiolowska // Proc. of the Intern. geotechnical conf. «Geotechnical challenges in megacities». – Moscow, 2010. – P. 525 – 530.
8. Парамонов, В.Н. Метод конечных элементов при решении нелинейных задач геотехники / В.Н. Парамонов. – СПб.: Геореконструкция, 2012. – 264 с.
9. Улицкий, В.М. Геотехническое сопровождение развития городов / В.М. Улицкий, А.Г. Шашкин, К.Г. Шашкин. – СПб.: Геореконструкция, 2010. – 551 с.
10. Винников, Ю.Л. Математичне моделювання взаємодії фундаментів з ущільненими основами при їх зведенні та наступній роботі: монографія / Ю.Л. Винников. – Полтава: ПолтНТУ, 2004. – 237 с.
11. Широков, В.Н. Расчет осадок оснований с учетом структурной прочности грунтов / В.Н. Широков, А.К. Мурашов // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1988. – № 5. – С. 21 – 23.
12. Лушников, В.В. Оценка характеристик деформируемости элювиальных грунтов по результатам измерений деформаций зданий / В.В. Лушников // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2011. – № 3. – С. 16 – 22.

Надійшла до редакції 22.04.2014
©Ю.Л. Винников, Н.А. Косточка