

КРЕНИ СПОРУД ЖОРСТКОГО ТИПУ

Головко С.І.

Придніпровська державна академія будівництва та архітектури
м. Дніпро, Україна

АНОТАЦІЯ: Проведена оцінка результатів досліджень кренів позацентрово навантажених жорстких фундаментів, запропоновано визначення крен по відомому, або розрахунковому осіданню з використанням моделі коефіцієнта жорсткості основи та устанавленого їх співвідношення.

АННОТАЦИЯ: Произведена оценка результатов исследований кренов внецентренно нагруженных жестких фундаментов, предложено определение крена по известной или расчетной осадке фундамента с использованием модели коэффициента жесткости основания и их установленного соотношения.

ABSTRACT: The results of research of eccentrically loaded foundation's rolles are evaluated, the determination of rolls by known or calculated settlement using the model of stiffness coefficient and their correlation is proposed.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: позацентрово навантажені фундаменти, коефіцієнти жорсткості основи при центральному та позацентровому навантаженні, осідання та крени фундаментів.

ВСТУП

Відомо, що умови будівництва в Україні є несприятливими, оскільки в багатьох регіонах ґрунти основ представлені слабкими, шаруватими, структурно нестійкими і просадними формаціями. Перш за все це викликає значні осідання і крен споруд, що експлуатуються. Тому актуальною проблемою є їх прогнозування як за абсолютними значеннями так і за розвитком в часі, що дає можливість покращити умови експлуатації будівельних об'єктів у разі складних інженерно-геологічних умов.

Для багатьох споруд експлуатаційна надійність визначається приростами кренів у процесі тривалого ущільнення основ. До таких споруд можна віднести реакторні відділення АЕС, спорудження баштового типу, лінії з точним технологічним обладнанням, різні види нерозрізних конструкцій, промислові будівлі з фундаментами на неоднорідних і шаруватих основах, будівлі та споруди складної форми. Реалізація практичних проектів ставить ряд актуальних інженерних проблем, які можуть бути вирішені експериментальними дослідженнями роботи основ фундаментів при позацентрових навантаженнях. В інженерній практиці останніх років відзначається значна кількість об'єктів, які отримали наднормативні крени, розвиток яких триває тривалий час. Для розробки практичних методів розрахунку, а також методів стабілізації потрібні спеціальні дослідження реальної роботи позацентрово навантажених ґрунтових основ.

ОГЛЯД ПО ТЕМІ ДОСЛІДЖЕНЬ

Особливістю фундаменту на ґрунтовій основі є те, що крім заданих активних сил, на нього впливають реактивні сили, величини яких в загальному випадку залежать від деформації основи. Правильність вибору основних факторів перевіряється відповідними об'єктивними експериментами і натуральними спостереженнями. Основи розраховують шляхом введення значної схематизації природних механічних процесів, замінюючи природну ґрунтову основу на деяку розрахункову механічну модель [1 -3, 5, 7, 11 - 13].

Використання різноманітних реологічних моделей в частині визначення кренів в часі пов'язане з визначенням великої кількості параметрів та проведення складних математичних обчислень з відомими обмеженнями. Прості моделі потребують мінімальної кількості параметрів та зручні в використанні при можливості визначенні характеристик ґрунту за стандартними методиками.

Теоретичним дослідженням кренів позацентрово навантажених фундаментів на стисливих основах присвячені роботи М. І. Горбунова-Посадова, К.Є. Єгорова, С.М. Клепікова, М.В.Лалетіна, О.О.Петракова, Murat Ornek, [4 - 9, 12, 13] та ін.

Рішення задачі про тиск і осідання жорстких прямокутних плит на пружному напівпросторі за будь-якого центрального та ексцентричного навантаження було отримано М.І. Горбуновим-Посадовим [4].

$$\operatorname{tg}\theta = i = \frac{1-\mu^2}{E} \cdot K_1 \frac{P \cdot e}{a^3} . \quad (1)$$

К.Є. Єгоров [6] отримав точне рішення для круглого жорсткого незаглибленого фундаменту, яке має практично такий же вид. Окремо слід виділити запропоновану Лалетінім [8] залежність для визначення кута повороту позacentрово навантаженого штампа за його відомим середнім осіданням:

$$tg\theta = \frac{S_e}{D^2} \quad (2).$$

Модель коефіцієнтів жорсткості використовується в нормах [10] для фундаментів на природній основі. Основним параметром, що характеризує пружні властивості основ фундаментів, є коефіцієнт пружного рівномірного стиснення C_z (кН/м³) при поступальному вертикальному переміщенні фундаменту. Його слід визначати експериментально, або ж за рекомендованою нормами формулою. Крім C_z , у розрахунках використовують коефіцієнт пружного нерівномірного стиснення C_ϕ , кН/м³ при повороті фундаменту. Взаємозв'язок коефіцієнтів визначається співвідношенням:

$$C_\phi = 2 C_z \text{ або } C_\phi / C_z = 2. \quad (3)$$

РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКІВ

Відповідно до наявних пропозицій [7, 8, 10] оцінити взаємозв'язок між осіданнями і креном позacentрово навантажених фундаментів можливо з використанням моделі коефіцієнтів жорсткості основи при рівномірному K_z і нерівномірному K_ϕ стисненні. Для пружного напівпростору при розрахунку на стабілізований стан коефіцієнти рівномірного і нерівномірного стискання мають сенс у вигляді:

$$K_z = \frac{P}{S} = \frac{N \cdot 2 \cdot r \cdot E}{\pi \cdot r^2 \cdot N \cdot (1 - \nu^2)} = \frac{2 \cdot E}{\pi \cdot r \cdot (1 - \nu^2)}. \quad (4)$$

$$K_y = \frac{M}{i_z \cdot I} = \frac{e \cdot N}{\frac{\pi \cdot r^4}{64} \cdot (1 - \nu^2) \cdot 3 \cdot N \cdot e} = \frac{16 \cdot E}{3 \cdot \pi \cdot r \cdot (1 - \nu^2)}. \quad (5)$$

Співвідношення знайдене з використанням моделі пружного напівпростору для круглого фундаменту, має значення $K_\phi/K_z=2,67$ і не залежить від стадії роботи основи (пружна або пружно-пластична, пластична). Цілком очевидно, що при відношенні коефіцієнтів, що дорівнює отриманому значенню або є близьким до нього, крени фундаментів будуть відповідати тим, що отримують по рішенням теорії пружності. Для виконання досліджень використано пінополіуретан який є нелінійним спадково-пружним матеріалом, що володіє властивістю повзучості. При тиску ($\sigma > 0,5 \sigma_{пр}$) повзучість модельного матеріалу характеризується

істотною нелінійністю, що відповідає якісним особливостям деформування ґрунту. Для визначення фактичних співвідношень були виконані випробування в лотку круглими штампами площею 75, 100 і 200 см² при центральному і позакентровому прикладанні навантаження. Ексцентриситет навантаження становив 0,1 ... 0,4 R (де R - радіус штампа). Дослідження виконані в діапазоні середніх тисків під подошвою штампів 1,0 ... 6,0 кПа.

Закономірності співвідношення коефіцієнтів жорсткості при різних середніх тисках під подошвою позакентрово навантажених штампів (при $e = 0,1R$) представлені на рис. 1.

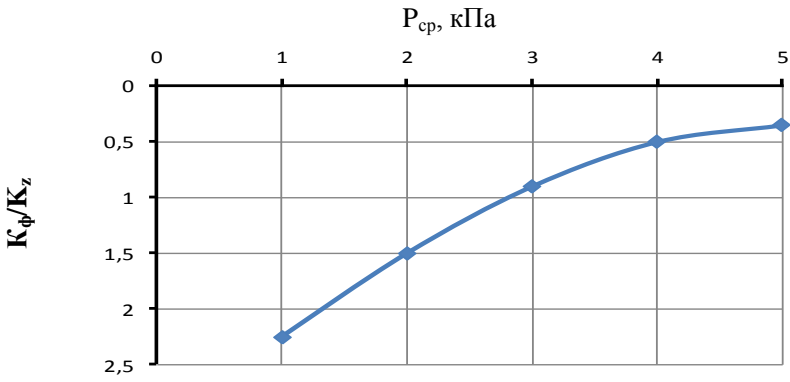


Рис. 1. Залежність $K_{\phi} / K_z = f(p_{cp})$ для пружно-пластичного матеріалу

Відзначено, що в пружній стадії роботи основи при ($p = 1,0$ кПа) співвідношення $K_{\phi}/K_z = 2,2$, що близько до одержаного по відомим залежностям (1,2) з використанням моделі пружного напівпростору. З ростом тиску значення співвідношення зменшується (рис. 1), залишаючись постійним у часі і відрізняючись від теоретичного в 1,78...5,3 рази. В цілому, для однофазних основ прогноз кренів позакентрово навантажених фундаментів може бути виконаний з використанням коефіцієнта жорсткості K_{ϕ} , визначеного за відомим середнім осіданням з дослідів на повзучість і експериментально встановленого співвідношення між коефіцієнтом жорсткості при рівномірному і нерівномірному стисканні при фактичному тиску на основу.

Польові дослідження виконані в серії випробувань штампами площею 2500, 5000 10000 см² при відносному ексцентриситеті навантаження 0,1...0,4 R, в діапазоні тиску під подошвою 0,05...0,20 МПа на слабкий водо насичений глинистий ґрунт. Результати випробувань та

теоретичних розрахунків осідання та крену для двох серій випробувань на слабкій глинистій основі приводяться нижче на мал. 2 та 3.

Аналіз представлених залежностей фактичних (умовно-стабілізованих) та розрахункових осідань штампів різної площі на показує, що вони практично збігаються. При цьому отримані в ході експериментів крени значно перевершують розрахункові (в 2...3 рази).

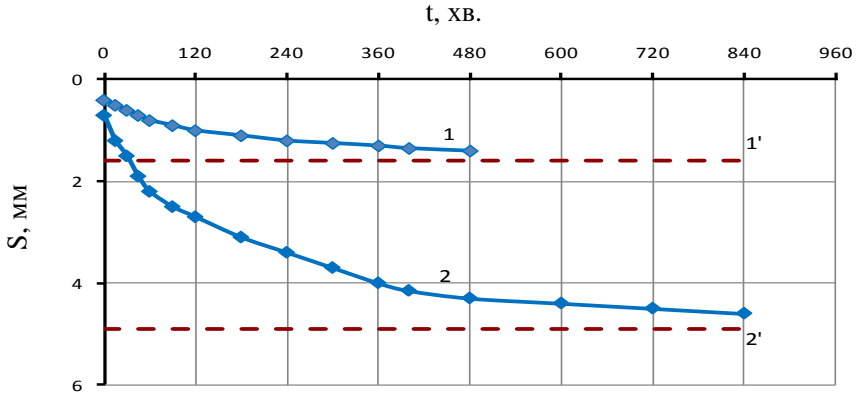


Рис. 2. Експериментальні та розрахункові значення середнього осідання для тиску 0,075 МПа (1,1') та 0,10 МПа (2,2'): 1, 2 – експериментальні значення; 1', 2' – розрахункові значення

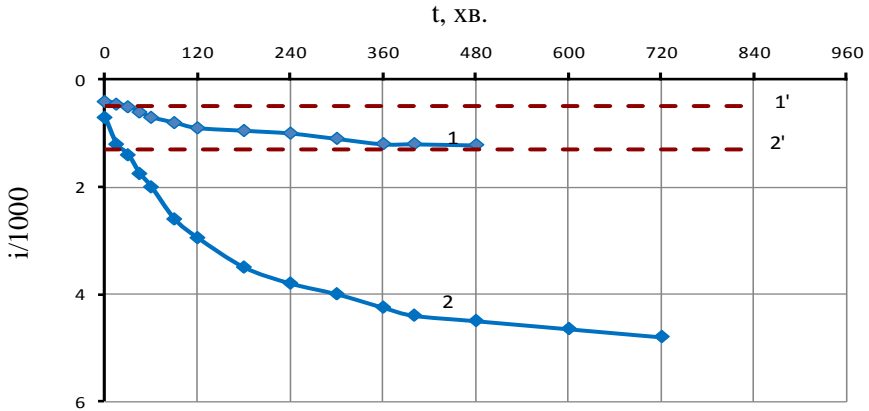


Рис. 3. Експериментальні та розрахункові крени штампів при $\epsilon = 0,1R$, для тиску 0,075 МПа (1,1') та 0,10 МПа (2,2'): 1, 2 – експериментальні значення; 1', 2' – розрахункові значення

Незважаючи на нелінійну залежність між креном і середнім тиском під подошвами штампів різної площі умовно-миттєві (при $t = 1$ хв.) та умовно-стабілізовані (при умовно-стабілізованому середньому осіданні) крени знаходяться в межах експериментального розкиду. Крім того, аналіз залежностей кренів штампів різної площі від часу дозволяє зробити висновки, що в будь-який момент часу вони розрізняються незначно і час їх стабілізації практично не залежить від площі завантажених. Ця обставина свідчить про те, що в процесі розвитку в часі кренів фільтраційна консолідація має незначний вплив. Отримані результати дозволили висунути припущення, що при прогнозі кренів позацентрово навантажених фундаментів водонасичена глиниста основа може розглядатися як квазі-однофазне середовище.

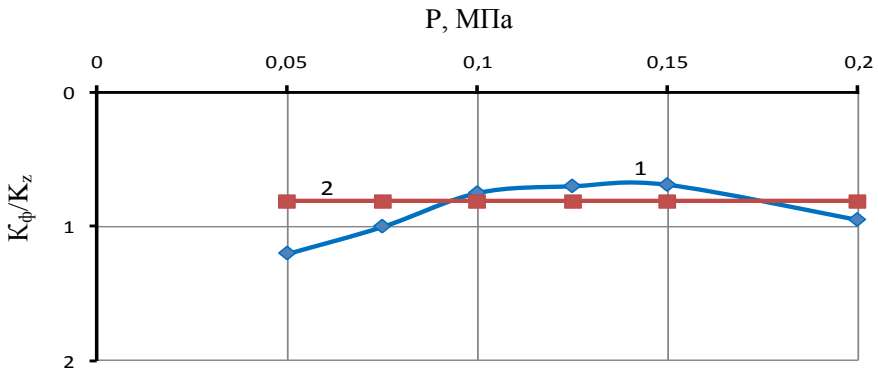


Рис. 4. Залежності $K_\phi / K_z = f(p_{cp})$ для глинистого ґрунту:
1 - при $e = 0,1R$; 2 - при $e = 0,2R$

Той факт, що в початковій стадії деформування основи співвідношення коефіцієнтів жорсткості K_ϕ / K_z не є постійною величиною, пояснюється впливом на середні осідання і, як наслідок, на жорсткість при рівномірному стисканні K_z фільтраційної консолідації, яка в початковий період навантаження проявляється найбільш інтенсивно. З ростом тривалості випробувань відносні осідання штампів знаходяться в межах експериментального розкиду, що свідчить про переважний внесок в процес ущільнення основи деформацій повзучості ґрунту. При цьому функції часу коефіцієнтів K_ϕ і K_z близькі між собою (подібні) і їх співвідношення у часі є постійною величиною. У цьому випадку можна виконати надійний прогноз кренів позацентрово навантажених фундаментів по визначеній із середніх осідань функції спадковості основи.

Співвідношення коефіцієнтів K_{ϕ}/K_z в процесі стабілізації середніх осадок штампів прагне до деякої постійної величини. Крім того, воно значно відрізняється від отриманого для моделі пружного півпростору і в діапазоні питомих тисків 0,05... 0,2 МПа знаходиться в межах 0,65 ... 1,2.

Визначені співвідношення коефіцієнтів жорсткості основи були використані при проектуванні пригрузу реакторних відділень №1 т №3 Запорізької АЕС для вирішення проблеми стабілізації та зменшення крену. Результати спостережень показали достатню збіжність з розрахунками.

ВИСНОВКИ

1. Між кренами позацентрово навантажених фундаментів та їх середніми осіданнями існує тісний взаємозв'язок, якій може бути оцінений з використанням моделі коефіцієнту жорсткості основи при рівномірному та нерівномірному стисненні, співвідношення яких може бути прийнято $K_{\phi}/K_z=0,7...1,1$ в залежності від ґрунтових умов та величин ексцентриситету навантаження.

2. Прогноз розвитку кренів в часі може виконуватись з використанням моделі спадково-пружного середовища з використанням досліджень осідань штампів різної площі. Доцільним є випробування позацентровим навантаженням при співвідношеннях ексцентриситету до діаметру штампу в діапазоні 0,1...0,3 д. од.

3. Ефективним та контрольованим методом стабілізації кренів інженерних споруд може бути одностороннє навантаження, величину якого можливо визначити по результатах середніх осідань з використанням моделі коефіцієнта жорсткості ґрунтової основи.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бартоломей Л.А. Прогноз осадок сооружений с учетом совместной работы основания, фундамента и надземных конструкций / Л.А. Бартоломей. – Пермь: ПГТУ, 1999.
2. Головки А.С. Результаты длительных наблюдений за кренами внецентренно нагруженных фундаментов/ А.С. Головки // Строительство, материаловедение, машиностроение: сб. научн. трудов. – Днепропетровск: ГВУЗ «ПГАСА», 2005. – Вып. 35, ч. 1. – С. 142–147
3. Головки С.И. Особенности взаимодействия внецентренно нагруженных фундаментов с основанием, обладающим реологическими свойствами: автореф. дис. на соискание научн. степени канд. техн. наук: спец. 05.23.02 «Основания и фундаменты» / С.И. Головки. – К., 1986. –17 с.

4. Горбунов-Посадов М.И. Расчет конструкций на упругом основании. изд. 3-е / Горбунов-Посадов М.И., Маликова Т.А., Соломин В.И. - М.: Стройиздат, 1984. - 679 с.
5. Гольдштейн М.Н. Механические свойства грунтов. Напряженно-деформативные и прочностные характеристики / М.Н. Гольдштейн. – М.: Стройиздат, 1973. – 304 с.
6. Егоров К.Е. Деформации основания круглого жесткого фундамента под действием эксцентричной нагрузки. "Основания и фундаменты" / Егоров К.Е. - М.: Стройвоенмориздат, 1948.
7. Клепиков С.Н. Расчет конструкций на упругом основании / Клепиков С.Н. – К.: Будивельник, 1967.- 181 с.
8. Лалетин Н.В. О расчете крена круглого жесткого фундамента. "Основания, фундаменты и механика грунтов" / Лалетин Н.В., 1969. - №4. - С. 38.
9. Петраков А.А. Исследование кренов жестких плитных фундаментов / А.А. Петраков, Н.А. Петракова // Будівельні конструкції: зб. наук. праць. – К.: ДП НДІБК, 2011. - Вып. 75, кн. 1. - С. 470-477.
10. Фундаменты машин с динамическими нагрузками: СНиП 2.02.05-87. - Москва: ГОССТРОЙ СССР, 1988.
11. Прогноз скорости осадок оснований сооружений / [Цытович Н.А., Зарецкий Ю.К., Малышев М.В. и др.]. - М.: Стройиздат, 1967. - 238 с.
12. Displacements of footings on sand under eccentric and inclined loads M. Georgiadis, R. Butterfield. Canadian Geotechnical Journal, 1988, 25(2): 199-212.
13. Estimation of ultimate loads of eccentric-inclined loaded strip footings rested on sandy soils. Murat Ornek. Civil Engineering Department, Mustafa Kemal University, İskenderun, Turkey 31200. Journal Neural Computing and Applications archive, 2014.

REFERENCES

1. Bartolomey L.A. Prohnoz osadok sooruzhenyy s uchetom sovместnoy raboty osnovaniya, fundamenta y nadzemnykh konstruksyy [Forecast the settlement of buildings, taking into account soil structure interaction]. – Perm: PHTU, 1999.
2. Holovko A.S. Rezul'taty dlytel'nykh nablyudeniy za krenamy vnetsentrenno nahruzhennykh fundamentov [The results of long-term observations of the rolls of eccentrically loaded foundations]. Stroytel'stvo, materialovedeniye, mashynostroeniye. – Dnepropetrovsk: «PSACEA», 2005. – Rel. 35, part. 1. – pp. 142–147
3. Holovko S.Y. Osobennosti vzaymodeystviya vnetsentrenno nahruzhennykh fundamentov s osnovanyem, obladayushchym reolohycheskymy svoystvamy: avtoref. dys. na soyskanye nauchn. stepeny kand. tekhn. nauk: spets. 05.23.02 «Osnovaniya y fundamenty» [Features of interaction of eccentrically loaded foundation with bases having rheological properties: Author. Dis. for the

- scientific. PhD degree. tehn. Sciences: spec. 05.23.02 "Foundations" / S.Y. Holovko. – K., 1986. – 17 p.
4. Horbunov-Posadov M.Y., Malykova T.A., Solomyn V.Y. Raschet konstruksyy na uprugom osnovanyy. yzd. 3-e. – [Calculation of structures on the elastic foundation. ed. 3rd.]. – M.: Stroyizdat, 1984. – 679 p.
 5. Hol'dshteyn M.N. Mekhanycheskiye svoystva hruntov. Napryazhenno-deformatyvnye y prochnostnye kharakterystyky [The mechanical properties of soils. Stress-deformation and strength characteristics]. – M.: Stroyizdat, 1973. – 304 p.
 6. Ehorov K.E. Deformatsyy osnovanyya kruhloho zhestkoho fundamenta pod deystviyem eksstentrychnoy nahruzky. "Osnovanyya y fundamenty" [Deformation of circular rigid foundation base under the influence of eccentric loading. "Foundations"]. – M.: Stroyvoenmoryzdat, 1948.
 7. Klepykov S.N. Raschet konstruksyy na uprugom osnovanyy [Calculation of structures on elastic foundation]. – Kyev: Budyvel'nyk, 1967, 181 p.
 8. Laleyn N.V. O raschete krena kruhloho zhestkoho fundamenta [On the issue of calculation the foundation of the round hard roll]. "Osnovanyya, fundamenty y mekhanyka hruntov". 1969, №4. – p. 38.
 9. Petrakov A.A., Petrakova N.A. Yssledovanye krenov zhestkykh plynykh fundamentov [Study the rolls of hard slab foundation]. Budev'ni konstruksiyi. – K.: DP NDIBK, 2011. – Rel. 75, b. 1. – pp. 470-477
 10. SNIP 2.02.05-87 «Fundamenty mashyn s dynamycheskymy nahruzkami» [Foundations machines with dynamic loads] - HOSSTROY SSSR, M., 1988.
 11. Tsytovykh N.A., Zaretskyy Yu.K., Malyshev M.V., Abelev M.Yu., Ter-Martyrosyan Z.H. Prohnoz skorosty osadok osnovanyy sooruzhenyy. [Forecast the upset speed of buildings ground]. – M.: Stroyizdat, 1967, 238 p.
 12. Displacements of footings on sand under eccentric and inclined loads M. Georgiadis, R. Butterfield. Canadian Geotechnical Journal, 1988, 25(2): 199-212.
 13. Estimation of ultimate loads of eccentric-inclined loaded strip footings rested on sandy soils. Murat Ornek. Civil Engineering Department, Mustafa Kemal University, İskenderun, Turkey 31200. Journal Neural Computing and Applications archive. 2014.

Стаття надійшла до редакції 05.09.2016 р.