

*М.Л. Зоценко, д.т.н., професор
С.В. Біда, к.т.н., доцент
А.В. Веденісов, асистент*

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка

ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ВИРВИ ОСІДАННЯ МОДЕЛІ ОКРЕМОГО ФУНДАМЕНТУ У ЛАБОРАТОРНОМУ ЛОТКУ

Роботу присвячено визначенню окреслень вирви осідань, що виникає при завантаженні окремих фундаментів і викликає додаткові осідання існуючих поряд будівель і споруд. Дослідження проведені на моделях у лабораторному лотку. Результати досліджень дозволяють підвищити надійність фундаментів при їх проектуванні.

Ключові слова: *вирва осідання, додаткові осідання, моделі фундаментів, лабораторний лоток, штамп, поверхневі марки.*

*Н.Л. Зоценко, д.т.н., професор
С.В. Беда, к.т.н., доцент
А.В. Веденісов, асистент*

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ОСАДОЧНОЙ ВОРОНКИ МОДЕЛИ ОТДЕЛЬНОГО ФУНДАМЕНТА В ЛАБОРАТОРНОМ ЛОТКЕ

Работа посвящена определению очертаний воронки осадок, возникающей при загрузке отдельных фундаментов и вызывающей дополнительные осадки существующих рядом зданий и сооружений. Исследования проведены на моделях в лабораторном лотке. Результаты исследований позволяют повысить надежность фундаментов при проектировании.

Ключевые слова: *воронка осадок, дополнительные осадки, модели фундаментов, лабораторный лоток, штамп, поверхностные марки.*

*M. Zocenko, ScD, Professor
S. Bida, PhD, Associate Professor
A. Vedenisov, assistant*

Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University

PARAMETER DETERMINATION (DIMENSIONING) OF AQUEOUS CONICAL DEPRESSION OF AN INDEPENDENT FOOTING PATTERN IN THE LABORATORY FLUME

The article is concerned with the determination of lineament of subsidence crater that appears when loading independent footings and causes occasional yield of the adjacent building foundations and structures. Model experiments have been conducted in the laboratory flume. The research data make it possible to enhance the reliability of footing in the design.

Keywords: *subsidence crater, occasional yields of the building foundations, footing patterns, laboratory flume, die block, subaerial grade pegs.*

Постановка проблеми. На сучасному етапі розвитку будівельної галузі існує тенденція до збільшення обсягів робіт в умовах щільної міської забудови [1]. При цьому значно збільшилося ситуацій з негативного впливу новобудов на існуючі будівлі і споруди. При новому будівництві зведення будівель наступної черги, що безпосередньо прилягають до вже зведених, у більшості випадків також повинно розглядатись як нове будівництво поблизу існуючого [2].

При цьому в багатьох випадках існуючі будівлі зазнають значних ушкоджень (тріщини і розломи в стінах та фундаментах, зсуви плит перекриття, перекося конструкцій тощо), спричинених нерівномірними осіданнями, які починають розвиватися з будівельних робіт нульового циклу і тривають на етапі експлуатації [4 – 6].

Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми. У вказаних умовах актуальною стає задача визначення деформацій ґрунтових основ як новобудов, так і тих, що безпосередньо межують із зоною новобудови. Поява надмірних додаткових осідань існуючих будівель спричинена недосконалістю методів розрахунку деформацій основ за межами площі фундаментів будівель і споруд у так званій «вирві осідань». Тому слід уважати актуальними експериментальні дослідження параметрів «вирви осідань» у лабораторних і натурних умовах.

Формулювання мети роботи. Метою роботи є визначення окреслення вирви осідання моделі окремого фундаменту за результатами лабораторних випробовувань у лотку.

Виклад основного матеріалу. Дослідження розмірів вирви осідання, яка утворюється при завантаженні моделі окремого фундаменту, проводилися у лотку з розмірами в плані 535×580 мм і висотою – 555 мм (рис. 1).



Рис. 1. Конструкція лотка – фронтальний вигляд

Він являє собою металевий ящик із кутиків і листової сталі. Дно та три бічні металеві стінки лотка підсилені ребрами жорсткості. Передня стінка лотка виготовлена з органічного скла товщиною 40 мм. Перфороване дно лотка дозволяло в разі необхідності забезпечити рівномірне витиснення води з ґрунту. Лоток заповнювався шарами піску по 15 мм товщиною з ущільненням його трамбівкою масою 3 кг до заданої щільності сухого ґрунту ρ_d .

Для дослідів використовувався пісок кварцовий середньої крупності вологістю $W=0,10$, який укладався у лоток і ущільнювався до $\rho=1,78$ г/см³. Контроль за якістю укладання виконувався шляхом відбирання зразків ґрунту у кільця об'ємом $V=140$ см³. Середнє квадратичне відхилення значення щільності сухого ґрунту склало $\sigma=0,011$ т/м³. При цьому коефіцієнт варіації склав $v=0,02$, що задовольняє умови приготування зразків ґрунту порушеної структури заданої щільності в лабораторних умовах.

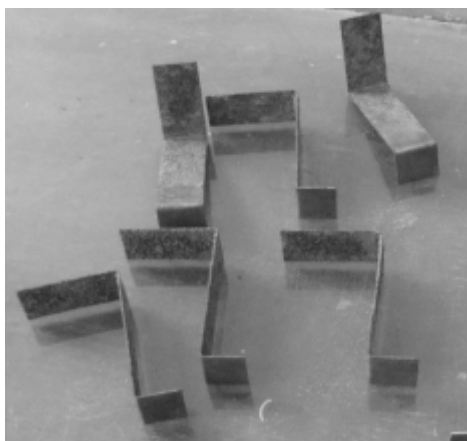
Як модель окремого фундаменту був використаний металевий штамп радіусом 50 мм, товщиною 10 мм. Площа штампа $A=78,5$ см² (рис. 2).



Рис. 2. Загальний вигляд металевого штампа

Осідання поверхні навколишнього ґрунту фіксували за допомогою поверхневих марок (рис. 3,а), котрі закріплювали у ґрунті, як це показано на рис. 3,б.

а



б

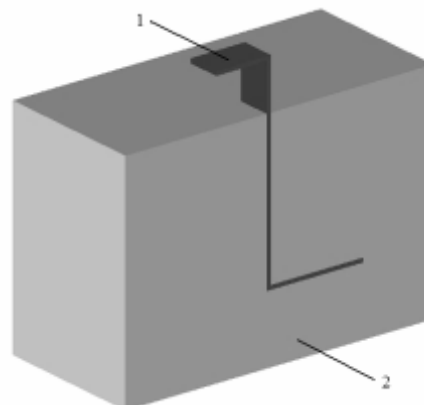


Рис. 3. Поверхні металеві деформаційні марки:
а – загальний вигляд; б – схема влаштування марки в ґрунті:
1 – марка; 2 – масив ґрунту

Реперна система була змонтована по осі симетрії лотка так, щоб вона не заважала фіксації деформацій штампа. З цією ж метою у вантажній системі додатково були зроблені отвори для пропуску дроту від штампа до прогиноміра.

Система для завантаження моделей складалася з двох шпильок, які з'єднувалися по краях швеллерами і траверсою для створення можливості додавання вантажу. В лотку по осі штампа було встановлено чотири металеві деформаційні марки з кроком 50 мм. Глибина встановлення марки відповідала глибині штампа для точної фіксації впливу осідання штампа на ґрунт основи за його межами. Деформації штампа фіксувалися двома прогиномірами системи Аістова, а осідання поверхневих марок – чотирма індикаторами годинникового типу. За цими даними планувалося встановити окреслення вирви осідання основи від дії штампа. Схему лотка, який обладнано для проведення таких випробувань, показано на рис. 4.

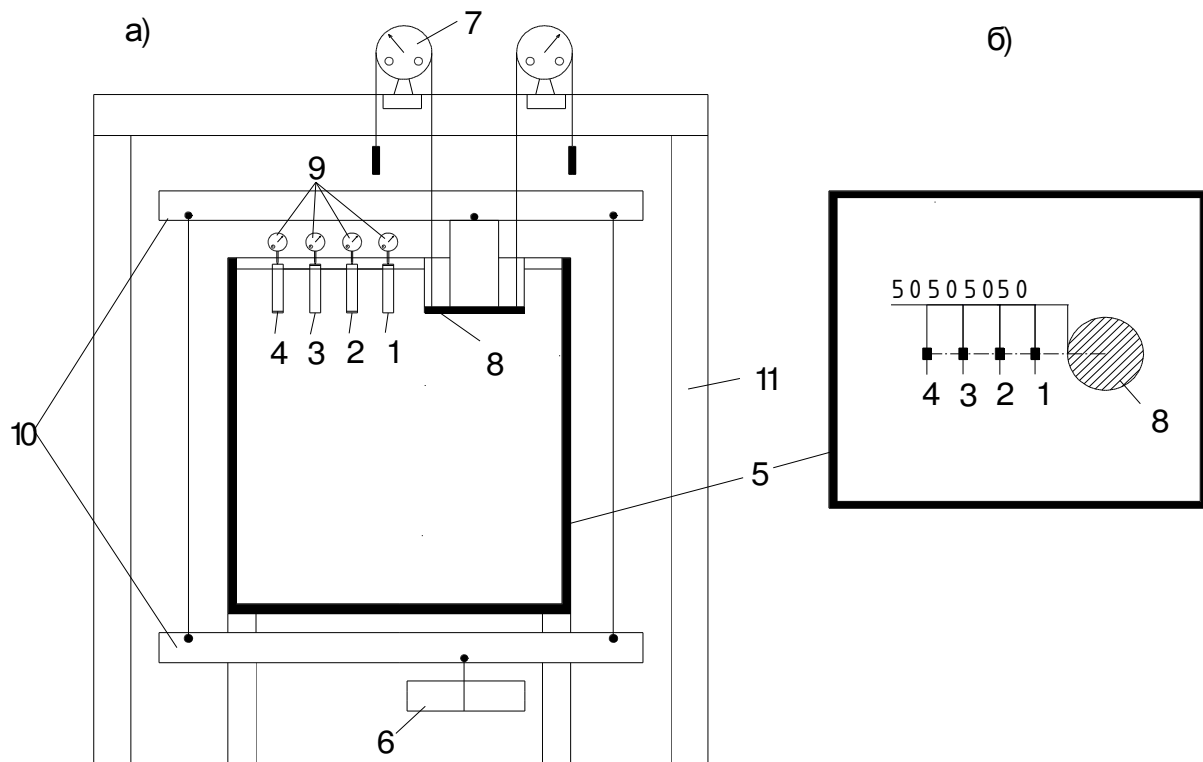


Рис. 4. Схема завантаженого лотка:

а – поперечний розріз; б – вигляд зверху:

1 – 4 – поверхневі металеві деформаційні марки; 5 – лоток; 6 – вантаж;

7 – прогиноміри; 8 – штамп; 9 – індикатори годинникового типу;

10 – вантажна система; 11 – реперна рама

Навантаження на штамп прикладали ступенями. Перша ступінь у 360 Н являла собою вагу системи навантаження. Далі ступені навантаження набиралися з лабораторних гир, які перед використанням зважували. Показники осідань штампа та марок знімали через 15, 30, хвилин і далі через 60 хвилин до стабілізації деформацій (поки прирощення осідань штампа не перевищувало 0,01 мм). Після досягнення стабілізації деформацій штампа прикладали наступну ступінь навантаження і проводили наступний етап випробувань. Навантаження на штамп доводили до 2512 Н, що відповідало тиску під його підшвою у $\sigma = 320$ кПа.

Результати статичних випробувань моделі окремого фундаменту представлені у таблиці 1.

За даними табл. 1, на рис. 5 показані графіки осідань штампа і поверхневих марок залежно від тиску під підшвою штампа.

Таблиця 1. Результати вимірів осідань моделі

№/№ ступенів навантаження	Навантаження на штамп N/σ , Н/кПа	Осідання марок, S , см, відповідно до відстані від центра штампа, L , см				
		Штамп	Перша (10 см)	Друга (15 см)	Третя (20 см)	Четверта (25 см)
1	360/53	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2	628/80	0,006	0,000	0,000	0,000	0,000
3	1020/130	0,009	0,010	0,000	0,000	0,000
4	1326/170	0,028	0,040	0,000	0,010	0,000
5	1648/210	0,118	0,090	0,040	0,010	0,010
6	1884/240	0,217	0,170	0,090	0,050	0,030
7	2159/275	0,431	0,270	0,190	0,110	0,070
8	2512/320	0,591	0,340	0,290	0,190	0,100

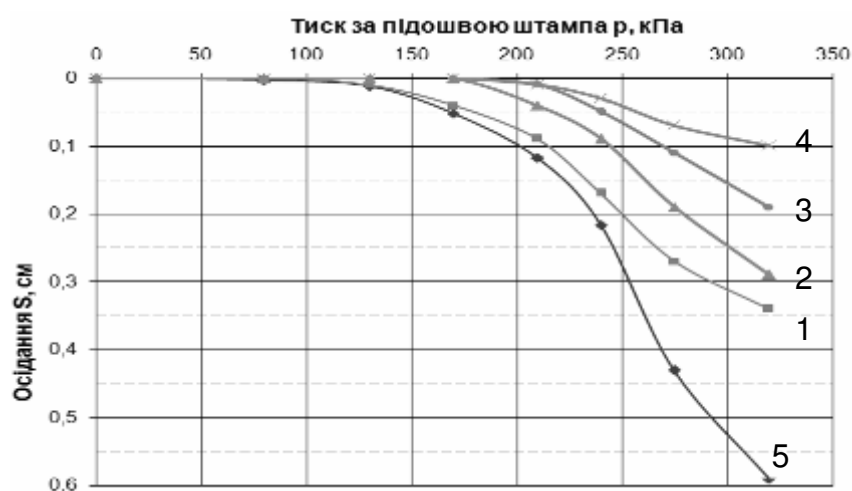


Рис. 5. Графіки осідань штампів і поверхневих марок у процесі завантаження штампів:

1 – 4 – для поверхневих марок, розташованих відповідно до рис. 4; 5 – для штампів

За наведеними даними, осідання основи штампів розвивається не тільки під штампом, а і на відстані від нього. З віддаленням від штампів осідання поверхні ґрунту згасають, утворюючи так звану «вирву осідань». Усі наведені графіки мають характерне окреслення, яке відповідає аналітичному рішенню пружно-пластичної задачі нелінійної механіки ґрунтів. Це явище свідчить про однакове походження деформацій як під штампом, так і під поверхневими марками. Навантаження на ґрунт передаються тільки від штампів, а розповсюджуються – за його межі. Звичайно, пружна стадія залежності осідання від навантаження для марок з віддаленням від штампів збільшується, але на всіх графіках простежується також фаза виникнення пластичних деформацій.

Можна стверджувати, що на усіх стадіях деформування основи напружено-деформований стан її у межах вирви осідання штампів подібний. Тобто і під штампом, і під маркою №4 мають місце і пружні, і пластичні деформації.

Розміри вирви осідань залежать від величин фундаменту (штампів) і тиску під його подошвою. Чим більші розміри фундаменту і тиск під його подошвою, тим більші розміри вирви осідання. Відповідно, за таких умов негативний вплив новобудови на

існуючі споруди більший. Звичайно, це твердження є дійсним, коли існуюча споруда знаходиться у межах вирви осідання новобудови.

Окреслення вирви осідання за даними лоткових випробовувань залежно від тиску під подошвою штампа показано на рис. 6, який було побудовано за даними таблиці 1 у координатах «осідання штампа і поверхневих марок – відстань від центра штампа» при $\sigma = \text{const}$.

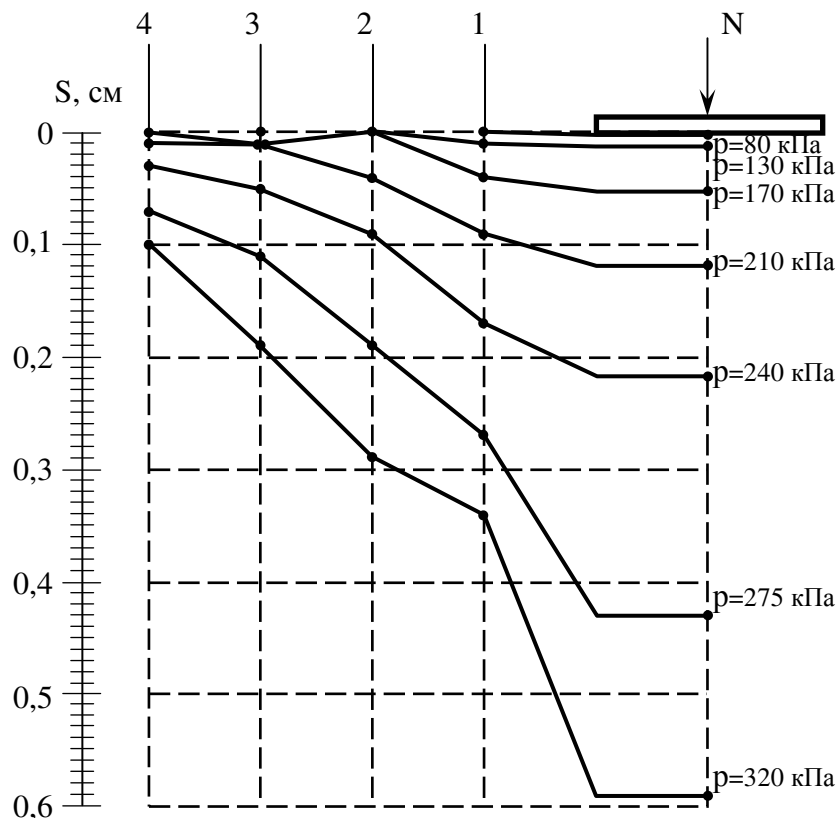


Рис. 6. Графіки осідання основи залежно від відстані до центра штампа і тиску під його подошвою за даними лоткового експерименту

Для встановлення закономірностей формування вирви осідання навколо штампа проаналізуємо спочатку окремо вплив двох факторів – тиску під подошвою штампа та відстані від штампа до точки на поверхні ґрунту. Графіки залежності осідання кожної марки від навантаження на штамп (тиску під подошвою штампа), які приведені на рис. 7, досить точно апроксимуються поліномом другого ступеня (значення осідань на перших двох ступенях навантаження не враховуються, оскільки на них впливають такі фактори, як точність встановлення штампа, реперної системи тощо). Як видно, коефіцієнт кореляції в усіх випадках перевищує 0,99, що свідчить про майже функціональну залежність.

З іншого боку, окреслення вирви осідання при різних ступенях навантаження, показані на рис. 7, можна описати логарифмічною залежністю, прийнявши за початок координат точку під центром штампа. Як видно з рис. 8, залежність у цьому випадку має вигляд

$$S = A \cdot \ln(L) + B. \quad (1)$$

Значення коефіцієнтів A і B у рівнянні (1) залежать лише від величини тиску під подошвою штампа. Ураховуючи вигляд залежності осідання кожної марки від значення тиску під подошвою фундаменту (рис. 7) можна зробити припущення про аналогічну залежність коефіцієнтів A і B . Відповідні графіки наведені на рис. 9.

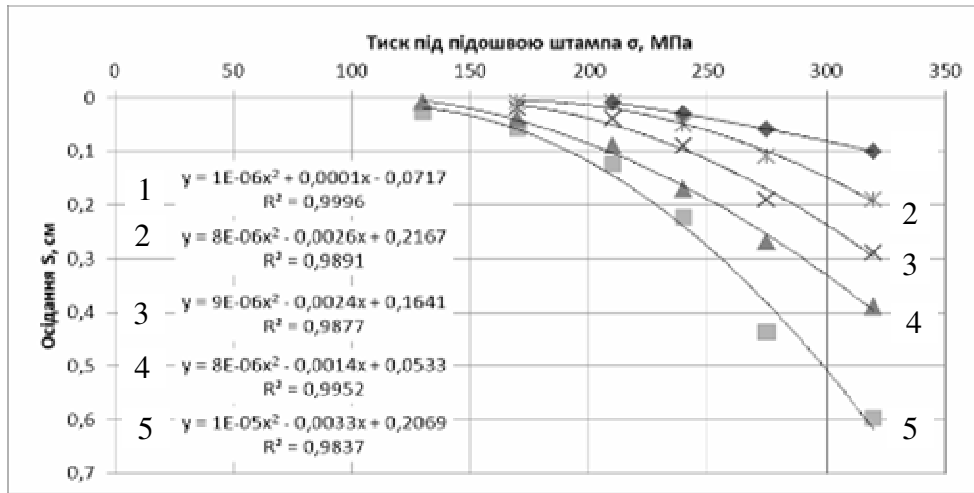


Рис. 7. Апроксимація залежності осідань штампa і поверхневих марок від тиску під підошвою штампa: 1 – 4 – для поверхневих марок, розташованих відповідно до рис. 4; 5 – для штампa 11

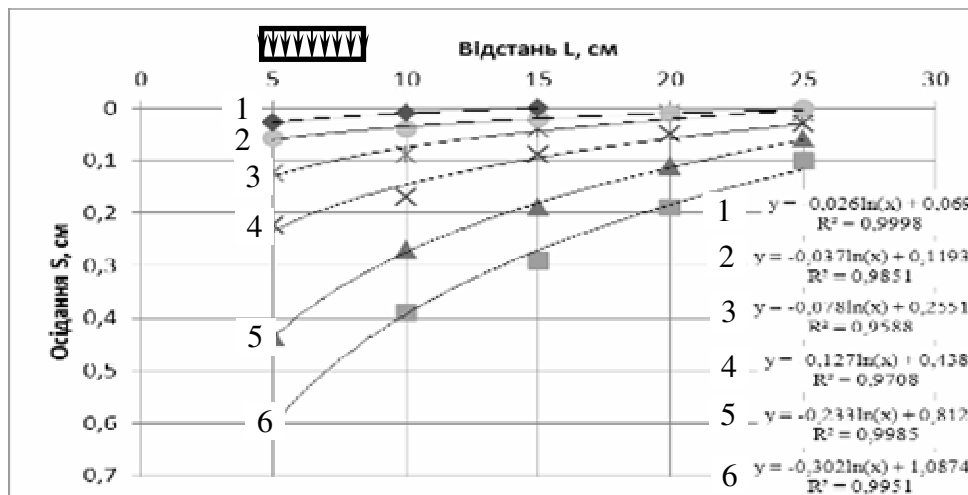


Рис. 8. Апроксимація поверхні вирви осідання для тиску під штампом: 1 – 130 кПа; 2 – 170 кПа; 3 – 210 кПа; 4 – 240 кПа; 5 – 275 кПа; 6 – 320 кПа

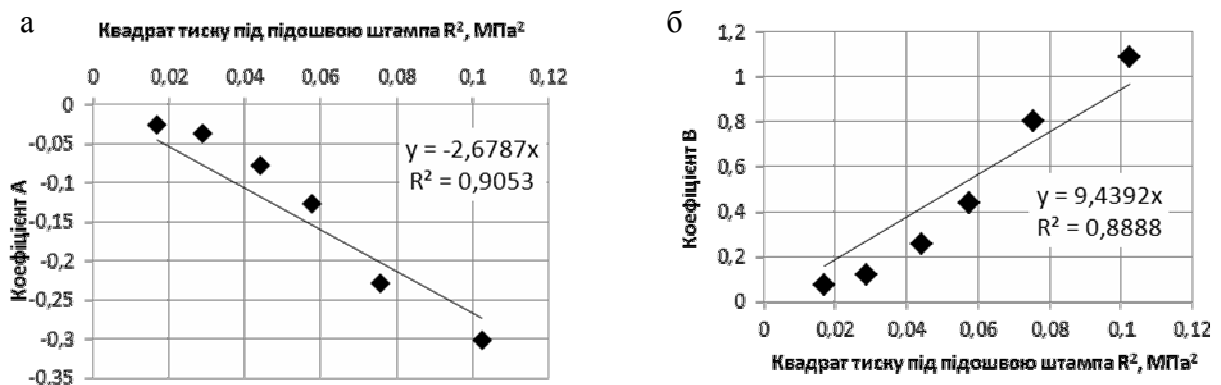


Рис. 9. Графіки залежності коефіцієнтів А (а) і В (б) від квадрату тиску під підошвою штампa

Однак таке рішення має свої недоліки. Наприклад, деформації від будь-якого навантаження будуть розповсюджуватись на безкінечну відстань, хоча насправді вирва осідання має обмежені розміри.

Для точнішого визначення даної залежності необхідно скористатися більш ефективним математичним апаратом, таким як багатofакторний регресійний аналіз.

Таким чином, рівняння (1) набуває вигляду

$$S = -2,69 \cdot \sigma^2 \cdot \ln(L) + 9,44 \cdot \sigma^2. \quad (2)$$

Загальна теорія методів аналізу описується таким чином. Після того як знайдено рівняння лінійної регресії, оцінюється значущість як рівняння в цілому, так і окремих його параметрів. Оцінка значущості рівняння регресії в цілому може виконуватися за допомогою різних критеріїв. Достатньо поширеним й ефективним є використання F-критерія Фішера. При цьому висувається нульова гіпотеза H_0 , що коефіцієнт регресії рівний нулю, тобто $a=0$, отже, чинник x не впливає на результат y . Безпосередньому розрахунку F-критерія передуює аналіз дисперсії. Центральне місце в ньому займає розкладання загальної суми квадратів відхилень змінної y від середнього значення на дві частини – пояснену і не пояснену.

Загальна сума квадратів відхилень індивідуальних значень результативної ознаки y від його середнього значення викликана впливом безлічі чинників.

Умовно розділимо всю сукупність причин на дві групи: чинник x і інші чинники, що вивчаються. Якщо чинник не впливає на результат, то лінія регресії на графіку паралельна осі Ox і $y = b$. Тоді вся дисперсія результативної ознаки обумовлена дією інших чинників і загальна сума квадратів відхилень співпадає із залишковою. Якщо ж інші чинники не впливають на результат, то y пов'язаний з x функціонально і залишкова сума квадратів дорівнює нулю. У цьому випадку сума квадратів відхилень, пояснена регресією, співпадає із загальною сумою квадратів. Оскільки не всі точки поля кореляції лежать на лінії регресії, то завжди має місце їх розкид, обумовлений як впливом чинника x , тобто регресією y по x , так і дією інших причин (не пояснена варіація). Придатність лінії регресії для прогнозу залежить від того, яка частина загальної варіації ознаки y доводиться на пояснену варіацію.

Очевидно, що якщо сума квадратів відхилень, обумовлена регресією, буде більше залишкової суми квадратів, то рівняння регресії статистично значуще і чинник x істотно діє на результат y . Це тотожно тому, що коефіцієнт детермінації R^2 наблизатиметься

до 1. Будь-яка сума квадратів відхилень пов'язана з числом ступенів вільності, тобто числом вільності незалежного варіювання ознаки. Число ступенів вільності пов'язано з числом одиниць сукупності і з числом визначуваних по ній констант. Стосовно досліджуваної проблеми число ступенів вільності повинно показати, скільки незалежних відхилень n можливих $[(y_1 - \bar{y}), (y_2 - \bar{y}) \dots (y_n - \bar{y})]$ потрібно для утворення даної суми квадратів. Так, для загальної суми квадратів $\Sigma(y - \bar{y})^2$, потрібно $(n-1)$ незалежних відхилень, оскільки по сукупності з n одиниць після розрахунку середнього рівня вільно варіюють лише відхилення $(n-1)$. При розрахунку поясненої, або чинника, суми квадратів $\Sigma(y - \bar{y})^2$ використовуються теоретичні (розрахункові) значення результативної ознаки y , знайдені по лінії регресії $y(x) = a + bx$.

Практично завжди одержані в результаті статистичного дослідження крапки не лягають точно на лінію регресії. Вони розсіяні, будучи віддалені більш-менш сильно від лінії регресії. Таке розсіяння обумовлено впливом інших, відмінних від пояснюючого чинника x чинників, що не враховуються в рівнянні регресії. При розрахунку поясненої, або чинника, суми квадратів відхилень використовуються теоретичні значення результативної ознаки, знайдені по лінії регресії.

Для заданого набору значень змінних y і x розрахункове значення середнього величини y є в лінійній регресії функцією тільки одного параметра – коефіцієнта регресії. Відповідно до цього сума чинника квадратів відхилень має число ступенів вільності, $n = 1$. При цьому число ступенів вільності залишкової суми квадратів відхилень при лінійній регресії складе $n = 2$.

Отже, розділивши кожну суму квадратів відхилень у початковому розкладанні на своє число ступенів вільності, одержуємо середній квадрат відхилень (дисперсію на один ступінь вільності). Далі, розділивши дисперсію чинника на 1 ступінь вільності на залишкову дисперсію на 1 ступінь вільності, одержуємо критерій для перевірки нульової гіпотези – так зване F-відношення, або однойменний критерій. Саме при справедливості нульової гіпотези чинник і залишкова дисперсія виявляються просто рівні один одному.

Для відхилення нульової гіпотези, тобто ухвалення протилежної гіпотези, яка виражає факт значущості (наявності) досліджуваної залежності, а не просто випадкового збігу чинників, що імітує залежність, яка фактично не існує, необхідно використовувати таблиці критичних значень указанного відношення.

За таблицями з'ясовують критичну (порогову) величину критерію Фішера. Вона називається також теоретичною. Потім перевіряють, порівнюючи її з обчисленим за даними наглядів відповідним емпіричним (фактичним) значенням критерію, чи перевершує фактична величина відношення критичну величину з таблиць.

Це робиться таким чином. Вибирають рівень вірогідності наявності нульової гіпотези і знаходять за таблицями критичне значення F-критерію, при якому ще може відбуватися випадкова розбіжність дисперсій на 1 ступінь вільності, тобто максимальне таке значення. Потім обчислене значення F-критерію признається достовірним (тобто таким, що віддзеркалює відмінність фактичної і залишкової дисперсій), якщо це відношення більше табличного. Тоді нульова гіпотеза відхиляється (невірно, що відсутні ознаки зв'язку) – і приходимо до висновку, що зв'язок є істотним (носить не випадковий, значущий характер).

У випадку, якщо величина відношення виявляється менше табличної, то вірогідність нульової гіпотези виявляється вище заданого рівня (який вибирався спочатку) і нульова гіпотеза не може відхилюватися без помітної небезпеки одержати невірний висновок про наявність зв'язку. Відповідно, рівняння регресії вважається при цьому незначущим.

Сама величина F-критерію пов'язана з коефіцієнтом детермінації. Крім оцінки значущості рівняння регресії в цілому, оцінюють також значущість окремих параметрів рівняння регресії. При цьому визначають стандартну помилку коефіцієнта регресії за допомогою емпіричного фактичного середньоквадратичного відхилення й емпіричної дисперсії на один ступінь вільності, використовуючи розподіл.

Скориставшись приведеним математичним апаратом, отримаємо таке рівняння залежності:

$$S = -2,73 \cdot \sigma^2 \cdot \ln(L) + 10,73 \cdot \sigma^2 - 0,081. \quad (3)$$

Зважаючи на значення коефіцієнта множинної кореляції (0,976), критерію Фішера (21,26) (при $v_1=27$ і $v_2=25$), можна зробити висновок про підтвердження адекватності рівняння моделі.

Використовуючи рівняння (3), були визначені теоретичні значення осідання у різних точках моделі, наведені у табл. 2.

Порівняння дослідних (табл. 1) та аналітичних (табл. 2) значень осідань дозволяє зробити висновок про їх досить високу відповідність.

Таблиця 2. Результати розрахунків осідань моделі

№/№ ступенів навантаження	Навантаження на штамп N/σ , Н/кПа	Осідання марок, S , см, відповідно до відстані від центра штампа, L , см				
		Штамп	Перша (10 см)	Друга (15 см)	Третя (20 см)	Четверта (25 см)
1	360/53	-0,063				
2	628/80	-0,04				
3	1020/130	0,026	-0,006			
4	1326/170	0,103	0,047	0,0153	-0,007	
5	1648/210	0,198	0,115	0,0663	0,031	0,004
6	1884/240	0,284	0,175	0,111	0,066	0,030
7	2159/275	0,398	0,255	0,171	0,111	0,065
8	2512/320	0,568	0,374	0,260	0,180	0,117

Використовуючи рівняння (3), можна визначити відстань, за якої осідання поверхні буде дорівнювати нулю, прирівнявши значення осідання $S=0$ за різних значень тиску під підошвою штампа. Таким чином, можна визначити радіус вирви осідання (від центра штампа). Результати проведених розрахунків наведені в табл. 3. та на рис. 10.

Таблиця 3. Значення радіуса вирви осідання залежно від тиску під підошвою фундаменту

Навантаження на штамп N/σ , Н/кПа	Радіус вирви осідання, R , см
1020/130	8,8
1326/170	18,2
1648/210	25,9
1884/240	30,3
2159/275	34,3
2512/320	38,0

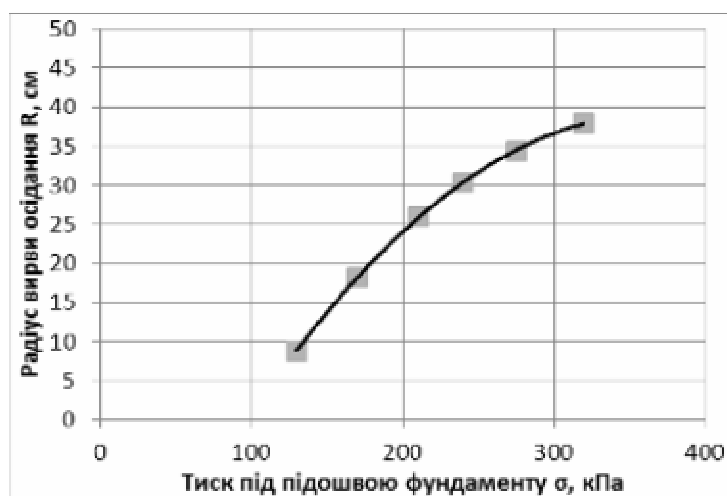


Рис. 10. Залежність радіуса вирви осідання від тиску під підошвою штампа (за даними лоткових експериментів)

Таким чином, у першому наближенні, за отриманими даними з урахуванням масштабного коефіцієнта, можна оцінити розміри вирви осідання фундаментів будівель і споруд. Звичайно її розміри залежать не тільки від розмірів і тиску під їх подошвою. Певний вплив на її параметри мають також фізико-механічні характеристики основи, і насамперед її стисливість. Наближено цей фактор можна замінити середнім осіданням фундаменту (розрахунковим чи вимірним) при заданому тиску під його подошвою. Саме з цієї величини слід починати побудову окреслень вирви осідання. Тобто масштабний коефіцієнт у цьому випадку обчислюється за формулою

$$K_m = S_f / S_m, \quad (5)$$

де S_f – середнє осідання основи фундаменту; S_m – осідання моделі фундаменту (штампа).

Визначити радіус вирви осідання можна за аналітичним виразом

$$R = -0,0005 \cdot \sigma^2 + 0,39 \cdot \sigma - 33,2. \quad (4)$$

Коли прийняти осідання фундаменту $S_f = 4,0$ см при тиску під його подошвою $p = 210$ кПа, а відповідно до табл. 2 осідання штампа $S_m = 0,2$ см, то масштабний коефіцієнт $K_m = 20$. При радіусі вирви осідання штампу за рис. 10 $R_m = 25$ см, радіус вирви осідання фундаменту $R_f = 25 \times 20 = 500$ см. Достовірність такого визначення може бути підтверджена геодезичними спостереженнями за осіданнями основ фундаментів у процесі їх будівництва і наступної експлуатації.

Висновки. Проведені лоткові лабораторні дослідження процесу утворення вирви осідання моделі окремого фундаменту в масштабі 1:20 дозволяють стверджувати, що для конкретних умов досліду встановлено суттєвий вплив навантаженого окремого фундаменту на осідання поверхні основи навколо нього. При цьому встановлено розміри вирви осідання при різних значеннях навантаження на модель. За цими даними з урахуванням масштабного коефіцієнта можна оцінити розміри вирви осідань окремих фундаментів будівель. Отримані деформації в межах вирви осідань суттєво перевищують граничні величини додаткових деформацій для існуючих будівель і споруд, обумовлені державними нормами.

Література

1. Черний Г.І. Будівництво нових споруд в умовах щільної міської забудови / Г.І. Черний // Будівництво України. – 2000. – №4. – С. 6 – 9.
2. Сотников С.Н. Проектирование и возведение фундаментов вблизи существующих сооружений / С.Н. Сотников, В.Г. Симагин, В.П. Вершинин. – М.: Стройиздат, 1986. – 185 с.
3. Рекомендации по прогнозу осадок оснований сооружений по краткосрочным измерениям. – Владивосток: Госстрой СССР, ДальНИИС, 1986. – 22 с.
4. Черний Г.І. Реконструкція будівель у складних ґрунтових умовах / Г.І. Черний // Будівельні конструкції: міжвід. наук.-техн. зб. Реконструкція будівель та споруд. Досвід та проблеми. Вип. 54. – К.: НДІБК, 2001. – С.749 – 753.
5. Борт О.В. Моделювання геотехнічних процесів при будівництві і реконструкції у стиснених умовах забудови / О.В. Борт, О.О. Голов, М.Л. Зоценко // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. пр. Вип. 9. – Рівне: УДУВГП, 2003. – С.424 – 430.
6. Зоценко М.Л. Ефективність роз'єднувальних стінок у ґрунті при захисті існуючих будівель від впливу новобудов / М.Л. Зоценко, О.В. Борт // Бетон и железобетон в Украине. – 2007. – №1. – С. 24 – 27.

Надійшла до редакції 30.12.2014
© М.Л. Зоценко, С.В. Біда, А.В. Веденісов