

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ ВИЗНАЧЕННЯ ОСІДАНЬ БУДІВЕЛЬ НА НАБИВНИХ ПАЛЯХ У ПРОБИТИХ СВЕРДЛОВИНАХ

Наведено порівняльний аналіз результатів аналітичних методів визначення осідань будівель на набивних палях у пробитих свердловинах у складі стрічкових ростверків. Визначено найбільш достовірний з них шляхом зіставлення результатів осідань із тривалими геодезичними спостереженнями за будівлями.

Ключові слова: набивна паля у пробитій свердловині, стрічковий ростверк, осідання, геодезичні спостереження, метод пошарового підсумовування, експрес-метод.

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСАДОК ЗДАНИЙ НА НАБИВНЫХ СВАЯХ В ПРОБИТЫХ СКВАЖИНАХ

Приведен сравнительный анализ результатов аналитических методов определения осадок зданий на набивных сваях в пробитых скважинах в составе ленточных ростверков. Определен наиболее достоверный путем сравнения результатов осадок с длительными геодезическими наблюдениями.

Ключевые слова: набивная свая в пробитой скважине, ленточный ростверк, осадка, геодезические наблюдения, метод послойного суммирования, экспресс-метод.

IMPROVING METHODS OF BUILDINGS ON CAST-IN-SITU PILES IN PUNCHED HOLES SETTLEMENTS DETERMINATION

A comparison of analytical methods for determining buildings settlements on cast-in-situ piles in punched holes in strip raft is presented. The most reliable one has been determined by comparing the results of long-term geodetic observations of buildings settlements.

Keywords: cast-in-situ pile in punched hole, strip raft, settlements, geodetic observations, summation method of layer, express-method.

Вступ. Набивні палі у пробитих свердловинах (НППС) широко використовуються при будівництві, в т. ч. у замкнених лесових ґрунтах. Завдяки утворенню ущільненої зони навколо розширення вони мають достатньо високу несучу здатність. На базі натурних досліджень фахівці ПолтНТУ та НДІБК створили інженерну методику розрахунку НППС [1], за якою параметри розширених і ущільнених зон визначають залежно від параметрів трамбівок, матеріалу розширення, фізичних властивостей ґрунту, відстані між осями паль.

Для розширення нормативної бази проектування НППС і підвищення її достовірності потребує подальшого вдосконалення методики визначення осідань об'єктів на НППС у складі стрічкових ростверків за умов замкнених лесових ґрунтів, яка б урахувала взаємодію зон впливу сусідніх паль. Найбільш надійний шлях розв'язання цієї задачі – у порівнянні розрахованих і вимірених за тривалими геодезичними спостереженнями величин стабілізованих осідань натурних об'єктів. Тому актуальними є комплексні експериментально-теоретичні дослідження взаємодії НППС у складі стрічкових ростверків із замкненими лесовими ґрунтами.

Огляд останніх джерел досліджень і публікацій. Осідання фундаментів, які виготовляють у попередньо влаштованих порожнинах, досліджували А.О. Бартоломей, І.П. Бойко, П.І. Брайт, В.М. Голубков, М.Л. Зоценко, С.М. Клепиков, П.О. Коновалов, В.І. Крутов, М.О. Метс, С.М. Сотников, В.Б. Швець, R. Katzenbach та інші [2 – 6]. Однак подальших досліджень потребують особливості роботи НППС за умов замкнених лесових ґрунтів і їх відповідного проектування. Автори вже обґрунтували коректні умови використання плоскої версії програмного комплексу PLAXIS при застосуванні до ґрунту пружно-пластичної моделі Мора – Кулона та кроково-ітераційних процедур до розрахунків спільної роботи НППС у складі стрічкових ростверків із замкненими лесовими ґрунтами, а також проаналізували методики визначення осідань [7 – 9].

Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми. Деформативність основ паль слід розглядати з урахуванням відстані між ними. При рідкому розташуванні паль у стрічковому ростверку ділянки напружень не перекриваються, тобто палі працюють самостійно. При їх більш густому розташуванні ділянки перекриваються, а напруження в ґрунті під палею підсумовуються з напруженнями від сусідніх паль, що сприяє розвитку в площині їх підшви напружень, більших, ніж під окремою палею, а осідання фундаменту значно більші за осідання одиночної палі. Недолік методів визначення осідань будівель на НППС у складі стрічкових ростверків за схемою одиночних паль з розширенням – у неврахуванні взаємного впливу сусідніх паль у складі ростверку, що зі зменшенням відстані між їх осями до $(3-4)b_m$ суттєво занижує осідання основ фундаменту.

Тому за **мету роботи** прийнято вдосконалення методики визначення осідань будівель на НППС у складі стрічкових ростверків.

Основний матеріал і результати. Несучий шар основи НППС – лесовані суглинки з коефіцієнтом водонасичення $S_r \geq 0,80$ і модулем деформації $E = 4-7$ МПа. Підстильний шар цієї основи – суглинки з модулем деформації $E = 5,5-19$ МПа. Для цих умов найбільш повна інформація отримана для семи житлових будинків: два – десятиповерхових; три – дев'ятиповерхових; два – п'ятиповерхових (див. табл. 1). Інженерно-

геологічний розріз об'єкта №2 (9-поверхового гуртожитку по вул. Степового Фронту, 29 в м. Полтава) зображено на рисунку 1. Спостереження за осіданнями будівель на НППС здійснювалися методом геометричного нівелювання III класу точності за деформаційними поверхневими марками й за опірними сполучними точками.

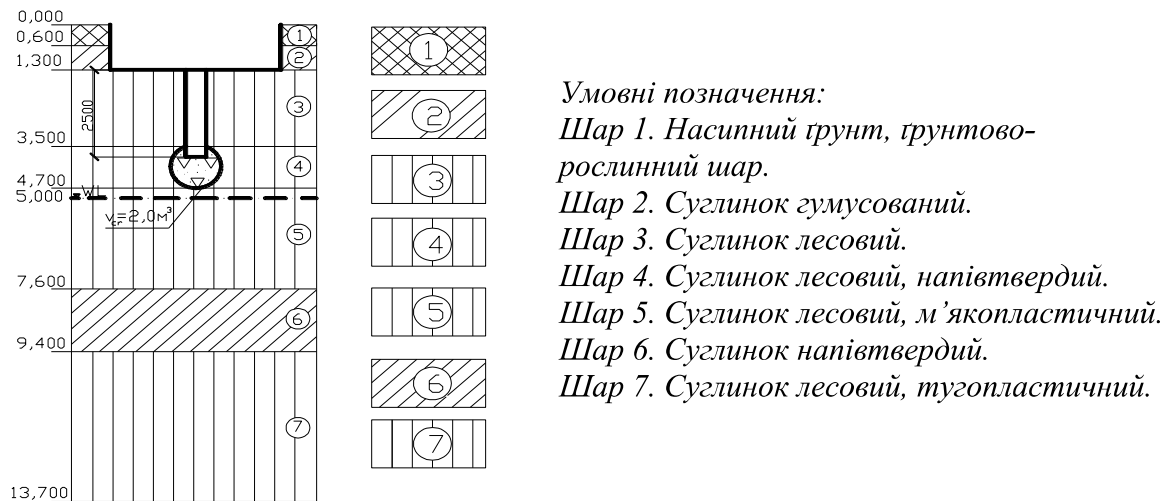


Рис. 1. Інженерно-геологічна колонка ділянки 9-поверхового гуртожитку по вул. Степового Фронту, 29 в м. Полтава

Графіки мінімальних $S_{\min}(t)$, середніх $\bar{S}(t)$ і максимальних $S_{\max}(t)$ осідань у часі поверхневих марок на будівлях із НППС у складі стрічкових ростверків за умов замкнених лесових ґрунтів показано на рисунку 2 (об'єкт № 2), а епюри осідань марок на цьому об'єкті за період його зведення та експлуатації – на рисунку 3.

Аналізуючи результати геодезичних спостережень за осіданнями будівель на НППС у складі стрічкових ростверків за умов замкнених лесових ґрунтів, можна виділити такі узагальнення:

- частка середньої величини осідання замкнених лесових основ НППС у складі стрічкових ростверків житлових будівель за період (1 – 1,5 року) їх уведення в експлуатацію становить від 0,64 до 0,73 від значення стабілізованого осідання основ цих будівель;
- час стабілізації осідань основ дев'яти-десятиповерхових будинків після заселення складає звичайно до 12 років, а п'ятиповерхових – до 8 років;
- осідання основ НППС у складі стрічкових ростверків під внутрішні стіни будівель перевищують їх осідання під зовнішні на 16 – 30% при близьких навантаженнях на окремі палі;

Таблиця 1. Результати тривалих геодезичних спостережень за осіданнями будівель на НППС у складі стрічкових ростверків за умов замочлих лесових ґрунтів

№	Назва об'єкта, поверховість	E , МПа		h_k , м	V_{cr} , м ³	Значення осідань за період уведення в експлуатацію, мм			Значення стабілізованих осідань, мм			S_u , мм	i	i_u	Час стабілізації осідань, років	Частка осідання за період будівництва та заселення від стабілізованого осідання
		несучого шару	підстильного шару			$S_{max}(t)$	$S_{min}(t)$	$\bar{S}(t)$	$S_{max}(t)$	$S_{min}(t)$	$\bar{S}(t)$					
1	Полтава, вул. Курчатова, 17; 9 пов.	7	16	5,0	1,5	115,5	60	81	166	80	111,5	180	0,0005	0,005	15	0,725
2	Полтава, вул. Степового Фронту, 29; 9 пов.	6	14	2,5	2,0	93	48	79,5	175	101	124,3	180	0,0004	0,005	12	0,64
3*	Полтава, вул. Петровського, 31; 10 пов.	6	9	2,5	1,5	81	59,5	62,1	122	72,5	90,0	120	0,0004	0,005	11	0,69
4*	Полтава, вул. Гоголівська, 22а; 9 пов.	6	7	2,0	2,0	$\frac{49}{55}$	$\frac{31}{36,5}$	$\frac{39,7}{45,9}$	$\frac{67,5}{78}$	$\frac{45}{52}$	$\frac{54,4}{64,6}$	120	0,0002	0,005	10	$\frac{0,73}{0,71}$
5	Полтава, б-р Боровиковського, 7; 10 пов.	6	5,5	2,0	2,0	$\frac{58}{70}$	$\frac{38}{58}$	$\frac{45,6}{64,5}$	$\frac{77}{96}$	$\frac{52}{78}$	$\frac{61,4}{87,9}$	120	0,0002	0,005	11	$\frac{0,74}{0,73}$
6	с. Розсошенці, вул. Горбанівська, 4; 5 пов.	4	6	1,6	0,75	73	28,5	46,5	105	49,5	66,6	120	0,0003	0,005	8	0,70
7	Зінків, вул. Погребняка, 18; 5 пов.	4,5	19	2,5	1,5	34	14,5	24	58	20	32,7	120	0,0004	0,005	7	0,73

* у чисельнику для зовнішніх стін, у знаменнику для внутрішніх; E – модуль деформації; h_k – глибина свердловини; V_{cr} – об'єм щебеню в розширенні; S_u – граничне осідання за ДБН В.2.1-10-2009; i – вимірне значення крену; i_u – граничний за ДБН В.2.1-10-2009 крен.

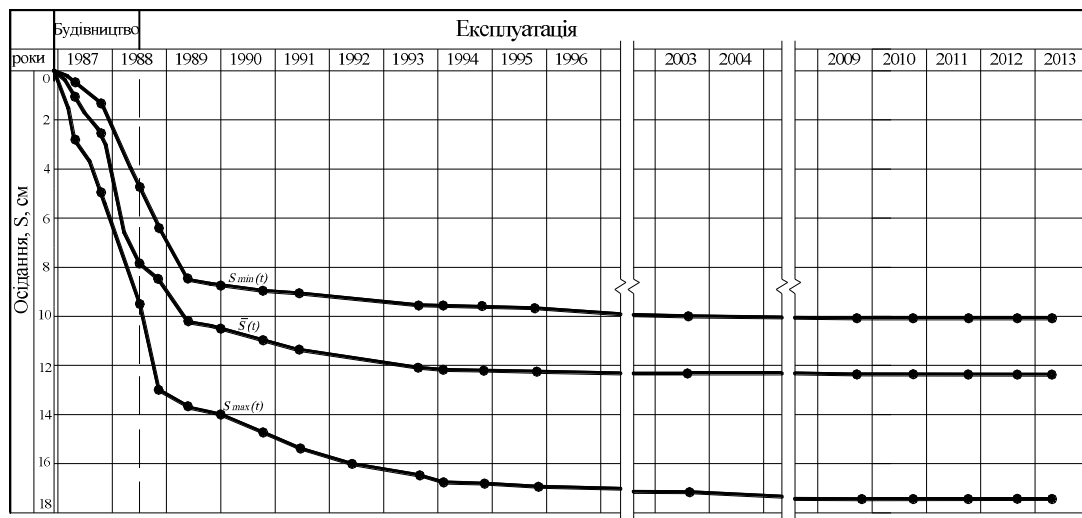


Рис. 2. Графіки розвитку мінімальних, середніх і максимальних осідань стінових марок 9-поверхового гуртожитку, вул. Степового Фронту, 29 в м. Полтава

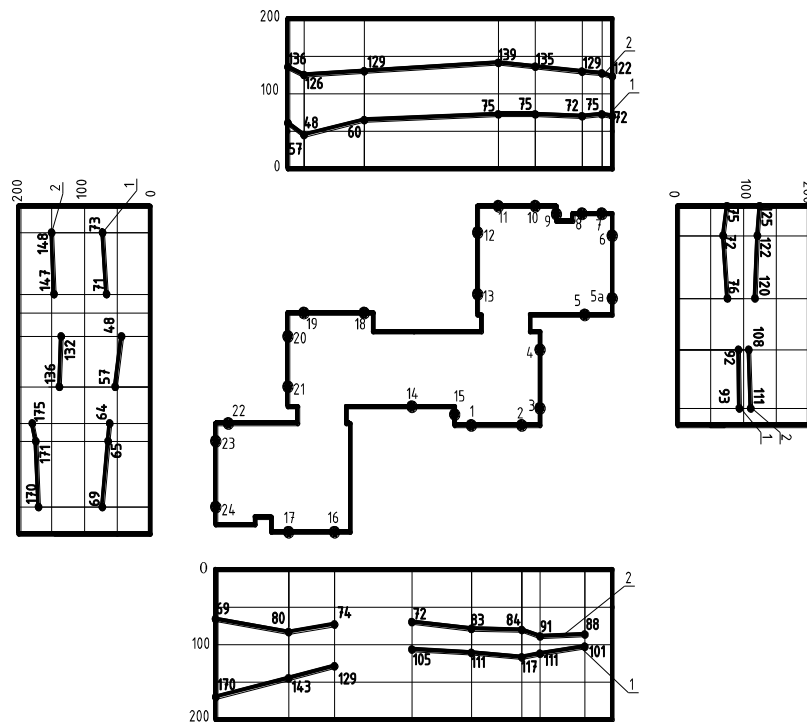


Рис. 3. Епюри осідань поверхневих марок за період зведення, монтажу обладнання та заселення (1) 9-поверхового гуртожитку по вул. Степового Фронту, 29 в м. Полтава та їх стабілізовані значення (2)

– абсолютні й відносні осідання будинків на НППС у складі стрічкових ростверків за умов замкнених лесових ґрунтів не перевищили граничних [2], видимих дефектів і деформацій у їх несучих конструкціях не виявлено, технічний стан будинків відповідає «нормальному».

Таблиця 2. Результати зіставлення розрахованих аналітично та вимірних осідань будинків на НППС у складі стрічкових ростверків за умов замкнених лесових ґрунтів

№ об'єкта			1	2	3	4		5		6	7	
Метод визначення осідань	як одиночної палі з розширенням		S , мм	108,3	45,0	44,2	24,9	27,0	37,7	40,9	63,9	17,5
			$S/\bar{S}$	0,97	0,36	0,49	0,46	0,42	0,61	0,47	0,96	0,54
	як стрічкового фундаменту	експрес-метод	S , мм	109,5	74,7	44,9	49,7	63,6	42,1	52,8	58,0	19,1
			$S/\bar{S}$	0,98	0,60	0,50	0,91	0,98	0,69	0,60	0,87	0,58
		пошарового підсумовування	S , мм	122,5	105,0	76,8	45,7	55,4	54,2	85,4	66,6	28,3
			$S/\bar{S}$	1,10	0,845	0,85	0,84	0,86	0,88	0,97	1,00	0,87
	середні виміряні		$\bar{S}$, мм	111,5	124,3	90,0	54,4*	64,6**	61,4*	87,9**	66,6	32,7
			$\bar{S}/\bar{S}$	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

* під зовнішні стіни; ** під внутрішні стіни

Розрахунок осідань основ НППС у складі стрічкових ростверків для будівель S виконано за методами: а) як для одиничної палі з розширенням; б) за експрес-методом методом І.О. Розенфельда (формула Д.9 [2]) як для умовних стрічкових фундаментів шириною b_y , що дорівнює діаметру розширення d_{br} при однорядному розташуванні НППС, і глибиною, яка відповідає його низу; в) за методом пошарового підсумовування (формула Д.4 [2]) як для умовних стрічкових із тими ж розмірами, що й у попередній методиці. Модуль деформації ґрунту в межах зони достатнього ущільнення приймався як $3E$ (де E – модуль деформації природного ґрунту). Результати порівняння зведено в таблиці 2.

Отже, порівняння значень розрахованих і вимірних стабілізованих осідань будівель на НППС, об'єднаних стрічковими ростверками, за умов замочених лесових ґрунтів показало, що найбільш достовірною методикою визначення їх осідань є метод пошарового підсумовування як для стрічкового фундаменту, за ширину якого слід приймати діаметр жорсткого розширення при однорядному розташуванні палі (глибина відповідає його низу), а при дворядному й шаховому порядку розташуванні НППС ширину умовного фундаменту слід приймати як суму відстані між осями рядів палі і діаметра розширення. Допустимо приймати модуль деформації в зоні достатнього ущільнення НППС як три його величини для природного ґрунту. За умов водонасичених лесових ґрунтів їх модуль деформації слід визначати за даними компресійних випробувань без підвищуючих коефіцієнтів m_k .

Порівняно й величини осідань основ НППС у складі стрічкових ростверків для об'єкта № 2 та отримано такі відносні похибки від значень тривалих геодезичних спостережень. За моделюванням у 2D-версії методу скінченних елементів (МСЕ) відносна похибка дорівнює 8,6%, у 3D-версії МСЕ – 12,6% [9], при аналітичних розрахунках: як одиничних палі з розширенням – 63,8%; як умовного стрічкового фундаменту за експрес-методом – 39,9% і за методом пошарового підсумовування – 15,5%. Отже, найбільш достовірний метод розрахунку осідань основ НППС у складі стрічкового ростверку – це моделювання за плоскою версією МСЕ, а з аналітичних – метод пошарового підсумовування за розрахунковою схемою умовного стрічкового фундаменту.

Висновки. На базі способу пошарового підсумовування вдосконалено інженерну методику визначення осідань основ будівель на НППС у складі стрічкових ростверків урахуванням неоднорідності ущільнення міжпальового простору, згідно з якою за ширину умовного стрічкового фундаменту приймають діаметр жорсткого розширення палі, а глибина його закладення відповідає низу цього розширення. Відносна похибка методики не перевищує 20% порівняно з вимірними за геодезичними спостереженнями величинами стабілізованих осідань натурних об'єктів.

Література

1. Зоценко, М. Л. Посібник з проектування та зведення фундаментів у пробитих свердловинах / М. Л. Зоценко, Ю. Л. Винников. – К. : Держбуд України, 1997. – 72 с.
2. ДБН В.2.1-10-2009. Основи та фундаменти будівель і споруд. – К. : Мінрегіонбуд України, 2009. – 107 с.
3. Бартоломей, А. А. Прогноз осадок свайных фундаментов / А. А. Бартоломей, И. М. Омельчак, Б. С. Юшков. – М. : Стройиздат, 1994. – 384 с.
4. Сотников, С. Н. Строительство и реконструкция фундаментов зданий и сооружений на слабых грунтах: автореф. дис. на соискание науч. степени д-ра техн. наук: 05.23.02 / С.Н. Сотников. – М. : ВНИИОСП, 1987. – 49 с.
5. Mets, M. The effect of natural factors on bearing capacity of sands / M. Mets, T. Ruben // Proc. of the 17th Intern. Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. – Olexandria, Egypt, 2009. – Amsterdam, Berlin, Tokyo, Washington: JOS Press, 2009. – P. 1049 – 1051.
6. Katzenbach, R. Soil-structure interaction of deep foundations and the ULS design philosophy / R. Katzenbach, G. Bachmann, C. Gutberlet // Geotechnical Engineering in Urban Environments: proc of the 14th European Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (Madrid, 2007). – Millpress Science Publishers Rotterdam, 2007. – P. 55–60.
7. Винников, Ю. Л. Результаты тривалих геодезичних спостережень за осіданнями будівель на набивних палях у пробитих свердловинах / Ю. Л. Винников, І. В. Мірошніченко // Строительство, материаловедение, машиностроение: сб. науч. трудов. Вып. 61. – Д. : ПГАСА, 2011. – С. 88 – 93.
8. Мірошніченко, І. В. Моделювання взаємодії набивних паль у пробитих свердловинах у складі стрічкових фундаментів із водонасиченими лесоподібними грунтами / І. В. Мірошніченко, Ю. Л. Винников, М. І. Лапін // Строительство, материаловедение, машиностроение: сб. науч. трудов. Вып. 56. – Д. : ПГАСА, 2010. – С. 291 – 298.
9. Харченко, М. О. Просторова задача моделювання напружено-деформованого стану системи «стрічковий ростверк – набивні палі у пробитих свердловинах – основа» / М. О. Харченко, Ю. Л. Винников, І. В. Мірошніченко // Збірник наук. праць (галузеве машинобудування, будівництво). Вип. 4 (34). – Т. 2. – Полтава: ПолтНТУ, 2012. – С. 245 – 260.

Надійшла до редакції 12.09.2013
© Ю.Л. Винников, І.В. Мірошніченко