

КОМПЛЕКСНИЙ ПЛИТНО-ПАЛЬОВИЙ ФУНДАМЕНТ

Володимир КРІПАК

Київський національний університет будівництва і архітектури
Повітрофлотський проспект, 31, Київ, Україна, 03037
kripak.vd@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0001-6575-5015>

Анотація. Суцільні залізобетонні плитні фундаменти використовують при будівництві на природній основі багатоповерхових каркасних і панельних будівель різноманітного призначення, а також промислових споруд, таких як силоси, елеватори, димові труби, сталеві реактори та інше.

Важливою перевагою монолітних фундаментних плит є їх можливість використання при зведенні будівель на слабких та нерівномірних ґрунтових основах. Плитний фундамент здатен розподіляти нерівномірні навантаження на значну площу і перерозподіляти їх, вирівнюючи, немінучі нерівномірні осадки окремих фундаментів. На слабких обводнених ґрунтах фундаментні плити використовують не тільки для вирівнювання деформацій, але і для захисту від високих ґрунтових вод, тобто проектують так званий «плаваючий» фундамент.

Показано що комбінований плитно-пальовий фундамент - ППФ являється досить ефективною розробкою в галузі фундаментального будівництва. ППФ являє собою фундаментну систему «пальове поле – плитний ростверк – ґрунтова основа», в якій частину навантаження від будівлі сприймають палі, а частину – плитний ростверк. Плитний ростверк працює в даному випадку як фундаментна плита.

ППФ можна трактувати як монолітну плиту, підкріплену палями того чи іншого типу і розташованими у вигляді пальового поля, стрічок, кушів або одиночних паль. Для фундаментів ППФ можуть використовуватися палі любого виду у тому числі і типу “барет”.

Урахування опору ґрунту під подошвою плитного ростверку в розрахунках деформацій і несучої здатності комбінованих плитно-пальових фундаментів є резервом для підвищення їх економічної ефективності: зменшення кількості



Володимир КРІПАК
професор кафедри
залізобетонних та кам'яних
конструкцій,
к.т.н., професор

паль, зниження витрат арматури сталі, зменшення товщини ростверку.

Однак, впровадження фундаментів ППФ в будівництві стримується обмеженістю теоретичних досліджень і необхідної нормативної бази та досвідом проектування таких конструкцій.

Визначення розрахункових параметрів КПП фундаменту виконують методом послідовних наближень. Маючи площу плитного ростверку і задавши довжину палі і відстань між палями, знаходять число паль в фундаменті, осадку одиночної палі і розрахункове навантаження на палю (в першому наближенні прийняв що всі палі сприймають до 70...80 % всього навантаження).

Ключові слова. Плитно-пальовий фундамент; ростверк; пальове поле; ґрунтова основа; осадка; підсилення; досвід застосування.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Плитні фундаменти являються дуже відповідальною і матеріаломісткою конструкцією, від якої багато в чому залежить рівень надійності, довговічність і техніко-економічні показники будівлі.

Плитний фундамент забезпечує необхідні резерви надійності при неповній інформації про ґрунтові умови, або помилках в визначенні неоднорідності ґрунтової основи, при локальних зниженнях несучої здатності ґрунтів, при руйнуванні водонесучих мереж та в інших випадках.

Однією з найбільш ефективних розробок в галузі фундаментального будівництва останнього десятиліття є комбінований плитно-пальовий фундамент - ППФ. Комбінований плитно-пальовий фундамент (ППФ) являє собою фундаментну систему «пальове поле – плитний ростверк – ґрунтова основа», в якій частину навантаження від будівлі сприймають палі, а частину – плитний ростверк. Плитний ростверк працює в даному випадку як фундаментна плита (рис.1).

Комбіновані пальові фундаменти (КСП) використовуються для багатоповерхових будівель, будівництво яких планується на ділянках, де з поверхні залягають ґрунти середньої міцності і плитний фундамент, навіть при достатній несучій здатності ґрунту, не проходить по деформаціях. Комбінований плитно-пальовий фундамент може використовуватися для багатоповерхових будівель, або при своєрідному нашаруванні ґрунтів, коли в ґрунтовому масиві на глибині 10...15 м появляються лінзи слабого ґрунту значної товщини.

В Україні дослідженню роботи плитно-пальових фундаментів присвячені роботи [6, 7, 11, 18, 19, 21, 22]. Відомі і експериментальні дослідження роботи плитно-пальових фундаментів та практичне впровадження їх в реальному будівництві [4, 5, 7, 9, 13, 20].

У наведеній статті розглядаються галузі ефективного використання та проблеми розрахунків і конструювання комбінованого плитно-пального фундаменту, аналізується його ефективність і перспективи впровадження в практику проектування.

ОСНОВНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

Визначальною особливістю ППФ є той фактор, що обидві складові фундаменту є

несучими елементами і забезпечують передачу навантаження від надфундаментної конструкції на ґрунтову основу: палі – нижнім кінцем і бічною поверхнею, плита – підошвою.

Для того, щоб мати можливість включити в роботу відпір ґрунту, необхідно щоб був забезпечений безпосередній контакт підошви плитного ростверку з ґрунтом і виконувалися такі умови:

- пальова компонента ППФ повинна володіти певною податливістю, тобто мати осадку під навантаженням;

- палі повинні бути розташовані на певній відстані між собою. Перша вимога означає, зокрема, що ППФ не можна проектувати з палями, які спираються на нестискувані скельні і напівскельні ґрунти, що виключають можливість розвитку осадок. Однак, це не виключає використання паль формально класифікованих як палі-стійки. Друга вимога відображає той факт, що повноцінний відпір ґрунту під підошвою ростверку може реалізовуватися тільки на ділянках, достатньо віддалених від паль, поза їх зоною впливу [10, 12]. Цей вплив проявляється в залученні ґрунту біля палі в загальну осадку з нею, утворенням так званої "осадкової воронки" (рис.2). Можливість включення плити в роботу присутня тільки за межами цих воронок. Традиційні варіанти кушових або стрічкових ростверків, як правило, не надають цю можливість, а також велико-розмірні в плані плитні ростверки, розташовані по густій сітці паль з кроком біля трьох діаметрів палі.

Для фундаментів ППФ використовують буронабивні палі діаметром 800-1200 мм, забивні палі, буроінекційні та інші типи паль довжиною до розміру рівного ширині будівлі, можуть використовуватися і фундаменти типу баретт [7].

Складність при проектуванні КППФ являється відсутність регламентованих правил проектування в нормативних документах України [1, 2, 3]. За кордоном існує практика проектування таких фундаментів [7, 8, 20].

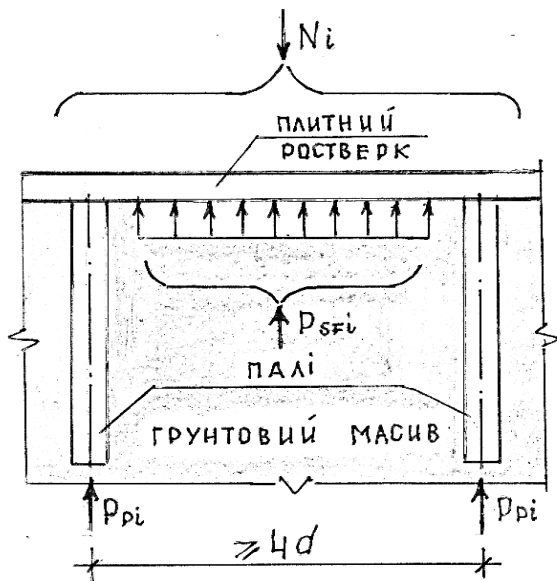


Рис.1. Плитно-пальовий фундамент
Fig.1. Slab-pile foundation

Найбільш раціональним в даному випадку є розміщення паль у вигляді кушів або рядом і в опорних зонах несущих колон і стін з мінімальним кроком (рис 1). Робота плитної компоненти проявляється в основному в прольотних, міжкущових зонах, а не в міжпалевих. При цьому обмежень в долі навантаження, яке сприймається плитою немає.

Можна виділити наступні типові ситуації, в яких доцільно (а іноді і без альтернативи) використання плитно-пальових фундаментів.

Слабкі і насипні ґрунти. Задача вирішується розташуванням підсилюючих паль в опорних зонах колон і стін по всьому плану плити. Кількість паль визначається величиною навантаження, яке необхідно «зняти» з плити.

Нерівномірний стиск ґрунтової основи. Підсилюючі палі тут являються інструментом вирівнювання нерівномірних осадок плити.

Примикання до існуючих фундаментів. При влаштуванні плитного фундаменту впритик до існуючого, одним з варіантів зниження негативного впливу нового фундаменту є його спирання на буронабивні палі.

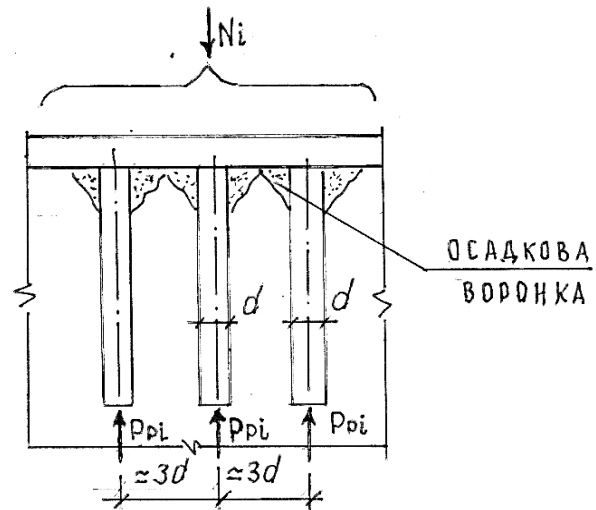


Рис.2. Утворення осадкових воронки в оголовках паль.

Fig.2. Formation of sedimentary craters in pile heads.

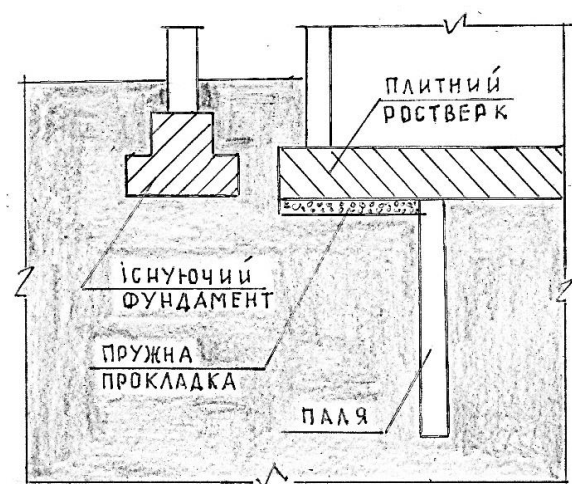


Рис.3. Примикання нового фундаменту до існуючого

Fig.3. Adjoining the new foundation to the existing one

Підсилення існуючих фундаментів. Тут можливі два варіанти підсилення. Підсилення існуючих пальових фундаментів суцільною плитою, або підсилення палями існуючого плитного чи інших типів фундаментів [14,15]. На рис. 4 наведено підсилення існуючого пальового фундаменту при будівництві підземного паркінгу в м. Одеса. За даними [5] на фундаментну плиту було передано біля 50% навантаження від каркасу.

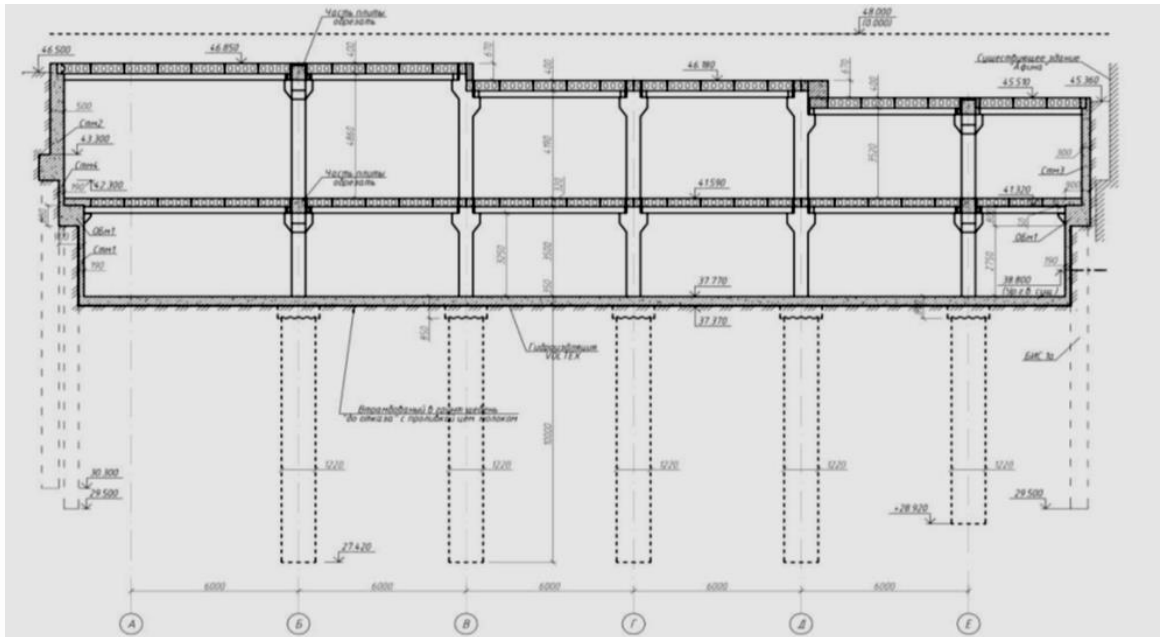


Рис.4. Підсилення пального фундаменту при добудові підземного паркінгу в м Одеса [5]
Fig.4. Reinforcement of the pile foundation during the completion of the underground parking in Odessa

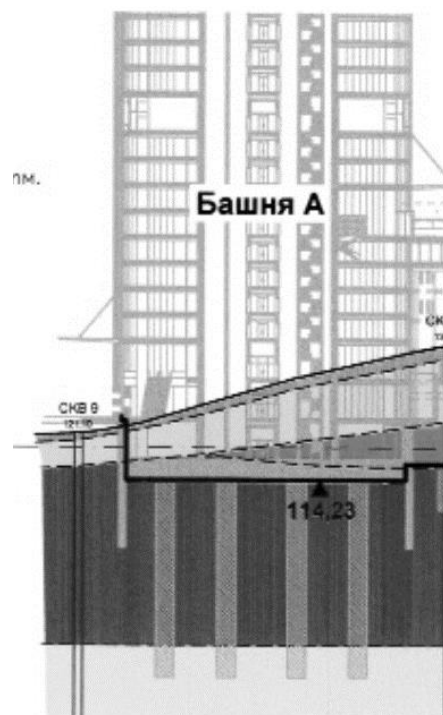


Рис.5. Будівля Mirax Plaza в Києві зведена на комбінованому баретно-плитному фундаменті [7].
Fig.5. The Mirax Plaza building in Kyiv was erected on a combined barret-slab foundation [7].

На рис.5 показана будівля Mirax Plaza яка в Києві зведена на комбінованому баретно-плитному фундаменті [7]. На плитний ростверк тут було передано біля 13% сумарного навантаження від будівлі.

РОЗРАХУНОК КОМБІНОВАНОГО ПЛИТНО-ПАЛЬОВОГО ФУНДАМЕНТУ

Розрахунок комбінованого плитно-пальового фундаменту повинен включати:

- визначення зусиль в елементах конструктивної системи (у рядових і крайніх палях, а також в плиті ростверку);
- визначення переміщень конструктивної системи в цілому та її окремих елементів;
- визначення частки навантаження, яка сприймається палями і плитним ростверком.

У деяких літературних джерелах [10, 21] можна знайти умовне розділення таких фундаментів на пальово-плитні (більше 50% навантаження передається на ґрунти палями) і плитно-пальові (більше 50% навантаження передається плитою фундаменту).

У пальово-плитному фундаменті основним несучим елементом є палі з кроком приблизно (3,5-4,5) d . При такому кроці необхідно враховувати взаємний вплив елементів фундаменту, що істотно позначиться на його осадках. Крім ускладнення розрахункових схем, в роботу може бути складно включити фундаментну плиту, так як при виготовлення паль суттєва руйнується верхня частина ґрунтової основи.

Плитно-пальові фундаменти з локальним розташуванням паль під опорні елементи каркасу будівлі (5..7) d мають ряд переваг в порівнянні з пальово-плитним. По-перше, простота розрахункової схеми. При досить великому кроці палі працюють як одиночні, а фундамент розраховується як плита на природній основі. Палі можна замінити зворотними реакціями, рівним допустимому навантаженню на палю, отриманому по результатах випробувань пробним навантаженням. По-друге, поверхня низу котловану набагато менш буде зруйнована будівельною технікою. По-третє, коли під опорними елементами каркасу влаштовані локальні палі, знижується згинальні моменти в фундаментній плиті і, відповідно, зменшується її арматура.

Сьогодні сучасні програмні обчислювальні комплекси дозволяють проведення досить надійних розрахунків плитних фундаментів будь-якої конфігурації в плані, змінної товщини, плит які лежать на ґрунтовій основі зі змінною жорсткістю, з врахуванням, чи без, верхньої частини будівлі, з врахуванням нелінійних властивостей матеріалів фундаментів та ґрунтової основи.

Слід зауважити, що роль інженера при проектуванні будівельних конструкцій дуже важлива. Ця роль і відповідальність інженера значно зростає при проектуванні будь-яких фундаментів будівель, і особливо при розрахунках і конструюванні плитно-пальових фундаментів. Деформації і розподіл зусиль в системі «верхня будова - фундамент - ґрунтова основа» багато в чому залежить від співвідношення жорсткостей її складових елементів, початкових і зміни їх в часі в процесі росту навантажень [16, 17].

Комбінований плитно-пальовий фундамент (КППФ), який поєднує в собі опір паль і плити, і використовується для зменшення загальних і нерівномірних осадок конструкцій. Проектні рішення можуть передбачати як постійний так і змінний крок паль. Великорозмірні поля і кущі паль можуть проектуватися в складі КППФ якщо ґрунтова основа складена з пісків середньої щільності і щільних, а також глинистих ґрунтів з показником текучості нижче $I_L < 0,5$. При спиранні паль на скельні та напівскельні ґрунти роботу плитного ростверку враховувати не рекомендується.

Вибір довжини паль і їх кроку в складі КППФ заснований на розрахунку деформацій з забезпеченням допустимої величини осадки, кренів і відносної різниці осадок з конструкцій системи відповідно до вимог діючих нормативних документів по проектуванню основ і фундаментів.

Величину стиснутої товщі H при визначенні осадки КППФ слід визначати як для умовного фундаменту відповідно до рекомендацій норм [1, 2].

Розрахунок плитно-пальового фундаменту може проводитися як для плит на пружній основі з використанням змінного в плані

коефіцієнта пружного відпору ґрунту (коефіцієнта постелі), як показано на рис.6 і 7.

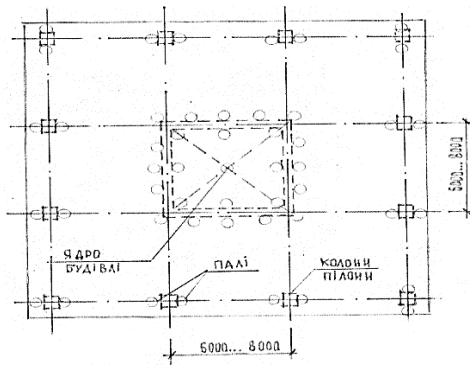


Рис.6. Конструктивна схема плитно-пального фундаменту

Fig.6. Structural diagram of the slab-pile foundation

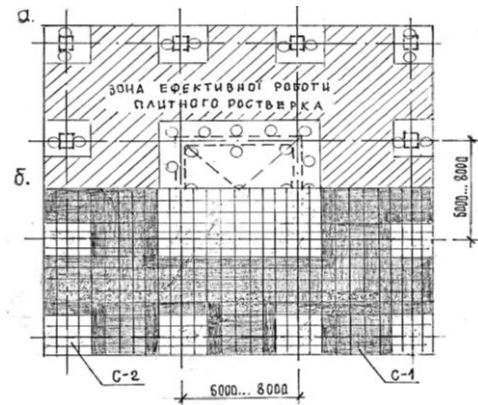


Рис.7. Розрахункова схема плитно-пального фундаменту

Fig.7. Design diagram of slab-pile foundation

РОЗРАХУНОК ОСАДКИ КППФ

В практиці проектування для КППФ використовують буронабивні палі діаметром 0,8-1,2 м, можливе використання і забивних палей квадратного перерізу.

Осадку фундаментів глибокого закладання типу «баретт» можна аналізувати по аналогії з буронабивними палями діаметром 0.8 м [7].

Довжину палей слід приймати від $0,5 B$ до B (B - ширина фундаменту, менший розмір плити в плані), відстань між осями палей $a = (5.../7)d$ і більше.

Метод розрахунку осадок таких фундаментів базується на спільному врахуванні жорсткості палей і плит. Розрахунок осадок КПП фундаменту заснований на визначенні часткових значень жорсткості всіх палей і плитного ростверку, коефіцієнтів їх взаємодії і коефіцієнта жорсткості всього фундаменту.

Жорсткість всіх палей K_c визначається за формулою

$$K_c = \frac{K_1 \cdot n}{R_s} \quad (1)$$

де K_1 – жорсткість однієї палі, яка визначається як відношення навантаження на палю до її осадки;

n – загальне число палей в фундаменті;

R_s – коефіцієнт збільшення осадки за рахунок кушового ефекту (див. табл. 1).

$$K_1 = \frac{P_1}{S_{s1}}, \quad (2)$$

Осадку палей рекомендується визначати як:

$$S_{s1} = \frac{P_1 \cdot I_s}{E_{sl} \cdot d}, \quad (3)$$

де E_{sl} - модуль деформації ґрунту на рівні підшви палей;

I_s – параметр, який залежить від співвідношення довжини і діаметру палі l/d та $\lambda = Ep/Esl$ (див. табл. 1).

Жорсткість плити K_p визначають за формулою

$$K_p = \frac{E_s \cdot \sqrt{A}}{(1 - \nu^2) \cdot m_0} \quad (4)$$

де E_s - середній модуль деформації ґрунту на глибині до B , в кПа;
 A – площа плити ($A = B L$);
 ν – коефіцієнт Пуассона ґрунту

m_0 – коефіцієнт площі, який залежить від співвідношення сторін фундаменту, див таблицю

Загальну жорсткість КПП фундаменту K_f визначають за формулою

$$K_f = K_c + K_p \quad (5)$$

Табл.1. Значення параметру m_0

Table 1. The value of the parameter is m_0

L/B	1	2	3	5	10
m_0	0,88	0,86	0,83	0,77	0,67

Табл.2. Значення параметру I_s

Table 2. The value of the parameter is I_s

l/d	Значення I_s при λ		
	100	1000	10000
10	0,19	0,16	0,15
25	0,18	0,10	0,08
30	0,17	0,06	0,06

Табл. 3. Значення параметру R_s

Table 3. Value Value of the R_s parameter

Кількість паль	R_s											
	$l/d = 10; \lambda = 100$				$l/d = 25; \lambda = 1000$				$l/d = 50; \lambda = 10000$			
	a/d				a/d				a/d			
	3	5	7	10	3	5	7	10	3	5	7	10
4	1,4	1,3	1,2	1,1	2,45	2,0	1,8	1,7	2,75	2,25	2,0	1,8
9	2,25	2,0	1,9	1,8	3,9	3,25	2,9	2,65	4,35	3,55	3,15	2,85
16	2,85	2,5	2,35	2,25	4,9	4,1	3,65	3,3	5,5	4,5	4,0	3,6
25	3,3	3,0	2,75	2,6	5,6	4,75	4,25	3,9	6,5	5,25	4,7	4,25
36	3,7	3,3	3,1	2,9	6,4	5,35	4,8	4,3	7,2	5,85	5,25	4,7
49	4,0	3,55	3,3	3,15	7,3	6,0	5,4	4,9	8,2	6,7	6,65	5,4
100	4,7	4,2	4,0	3,7	8,2	6,8	6,1	5,5	9,2	7,5	6,7	6,0
196	5,4	4,8	4,5	4,25	9,35	7,75	7,0	6,35	10,5	8,6	7,65	6,9
400	6,15	5,5	5,1	4,85	10,9	8,8	8,1	7,4	11,8	9,9	8,8	8,0
1000	7,05	6,3	6,0	5,55	12,3	10,0	9,15	8,25	13,8	11,3	10,0	9,0

Осадку КПП фундаменту визначають за формулою

$$S_f = \frac{\Sigma P}{K_f} \quad (6)$$

При цьому частина сприймається паями складе

$$P_c = \frac{K_c}{K_f} \cdot \Sigma P, \quad (7)$$

а частина навантаження, яку сприйме плита, складе

$$P_p = \frac{K_p}{K_f} \cdot \Sigma P \quad (8)$$

Наведена методика розрахунку при частому розташуванні паль по всій площі плити з відстанню між паями не більше (4...5) d пропонує частку навантаження на

плиту обмежувати (15...20) % від усього навантаження.

Визначення розрахункових параметрів КПП фундаменту виконують методом послідовних наближень. Маючи площу плитного ростверку і задавши довжину палі і відстань між палями, знаходять число паль в фундаменті, осадку одиночної палі і розрахункове навантаження на палю (в першому наближенні прийняв що всі палі сприймають до 80 % всього навантаження).

Виконані розрахунки осадки КПП фундаментів рекомендується додатково перевірити на осадку як умовного фундаменту.

ВИСНОВКИ І ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

1. Частина зовнішнього навантаження, прикладеного до комбінованого плитно-пального фундаменту в разі непорушеного контакту плитного ростверку з ґрунтовою основою, передається на основу через підшву плитного ростверку.
2. Урахування опору ґрунту під підшвою плитного ростверку в розрахунках деформацій і несучої здатності комбінованих плитно-пальових фундаментів є резервом для підвищення їх економічної ефективності, зменшення кількості паль, зниження витрат арматури сталі, зменшення товщини ростверку;
3. При кроці паль більше (4..5)d схема роботи паль в складі групи наближається до роботи одиночної палі, а комбінований плитно-пальовий фундамент передає навантаження через підшву ростверку, бічну поверхню і низ палі.
4. Істотний вплив на роль плитної частини в роботі КПП фундаменту має модуль деформації верхнього шару ґрунту будівельного майданчика, форма і розмір плити, кількість і крок паль.
5. Відносна роль плити в несучій здатності КПП фундаменту за результатами проведених досліджень і

чисельного моделювання роботи ППФ може досягати 20% - 40%, це значення прямо пропорційне відноській площі плитного ростверку, відстані між палями і модулю загальної деформації ґрунту, що лежить під підшвою ростверка.

6. Важливою задачею є розширення наукових досліджень та розробка нормативної бази для проектування плитно-пальових фундаментів, їх максимальна популяризація серед забудовників і впровадження в проектну практику.

ЛІТЕРАТУРА

1. **Основи та фундаменти споруд.** Зміна №1: ДБН В.2.1-10-2009. – [Чинний від 2011-07-01]. – К.: *Мінрегіонбуд України, 2011.* – 55 с. – (*Будівельні норми України*).
2. **Основи і фундаменти будівель та споруд.** ДБН В.2.1-10:2018. – [Чинний від 2019-01-01]. – К.: *Мінрегіонбуд України, 2018.* – 35 с. – (*Будівельні норми України*).
3. **Палі. Визначення несучої здатності за результатами польових випробувань.** ДСТУ Б В.2.1-27:2010.: – [Чинний від 2011-07-01]. – К.: *Мінрегіонбуд України, 2011.* – 11 с. – (*Державний стандарт України*).
4. **Самородов А.В.** Мониторинг и анализ осадок многоэтажных зданий на свайно-плитных фундаментах в г. Харькове / [А.В. Самородов, Т.А. Наливайко, А.В. Конюхов, В.Б. Никулин и др.] // *Тези за матеріалами VII міжнародної наукової конференції "Ресурс і безпека експлуатації конструкцій, будівель та споруд"*. – Харків: ХНУБА, 20-21 жовтня 2015 р. – С. 101-102.
5. **Седин В.Л., Бикус Е.М., Дюльдев А.О., Мельник А.М.** Впровадження комбінованого плитно-пального фундаменту в Україні на прикладі будівництва підземного паркінгу в м. Одеса // *Полтавський національний технічний університет ім. Ю. Кондратюка.* - *Полтава: 2013.* С. 322-329.
6. **Петренко В.Д.** Досвід спорудження пальово-плитного фундаменту в складних інженерно-геологічних умовах /Петренко В.Д., Крисан В.І., Крисан В.В., Чегодаєв І.С. // *Збірник наукових праць «Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика».* *Український державний університет науки і технологій, Дніпро, №19.2021р.* - с.78-84.

7. Катценбах Р. Баретты-эффективные фундаменты для высотных зданий./ Катценбах Р., Дунаевский Р.А., Муляр Д.Л., Дьяченко К.О. // *Нові технології в будівництві*. 2010. №2(20). - С.28-37.
8. Катценбах Р. Основные принципы проектирования и мониторинга высотных зданий Франкфурта-на-Майне. Случаи из практики / Катценбах Р., Шмитт А., Рамм Х. // *Реконструкция городов и геотехническое строительство*. - 2005. - №9. - С. 80-99.
9. Фиораванте В. Физическое моделирование плитно-свайных фундаментов / Фиораванте В., Ямиолковский М.Б. // *Реконструкция городов и геотехническое строительство*. - 2006. - №10. - С. 200-206.
10. Александрович В.Ф. К вопросу о взаимном влиянии свай и плиты в основании свайно-плитного фундамента / Александрович В.Ф., Курилло С.В., Федоровский В.Г. // *Реконструкция исторических городов и геотехническое строительство: тр. конф.* - 2003. - С. 125-143.
11. Цимбал С.Й. Методика розрахунку пальових фундаментів з урахуванням роботи ростверку / Цимбал С.Й., Карцева С.Л. // *Основи і фундаменти*. – К.: КНУБА, 2004. – Вип. 28. - С. 121-130.
12. Никитенко М.И. Рекомендации по расчету свайных фундаментов с несущими ростверками / М.И. Никитенко, В.А. Сернов // *Рекомендации Р5.01.015.05. Стройтехнорм, Минархстрой РБ*. – Минск, 2005. – 24 с.
13. Мирсаяпов И.Т. Экспериментально-теоретические исследования моделей свайно-плитных фундаментов / Мирсаяпов И.Т., Артемьев Д.А. // *Известия КазГАСУ*. - 2008. - №2(10). - С. 68-74
14. Кріпак В.Д. Реконструкція будівель з використанням зовнішнього та внутрішнього металевих каркасів./ Кріпак В.Д., Дробаха О.К. // *Сборник трудов XIII Международной научной конференции Современные достижения в науке и образовании*. 6-13 сентября 2018 г. Нетания, Израиль. - 174-177 с.
15. Кріпак В.Д. Реконструкція будівель з використанням зовнішнього та внутрішнього металевих каркасів. /Кріпак В.Д., Дробаха О.К. // *II Науково –практична конференція «Будівлі та споруди спеціального призначення: сучасні матеріали та конструкції»* (м. Київ, КНУБА, 24-25 травня 2018 р.), С. 93-96.
16. Кріпак В. Адекватність і взаємовплив конструктивної і розрахункової схеми будівлі. / Кріпак В., Колякова В., Демченко Д. // *III Науково-практична конференція «Будівлі та споруди спеціального призначення: сучасні матеріали та конструкції»* (м. Київ, КНУБА, 22-23 квітня 2021 р.) – 156 с. – С. 27-28.
17. Кріпак, В. & Колякова, В. (2021). Взаємозалежність конструктивних і розрахункових схем будівлі. // *Будівельні конструкції. Теорія і практика*, 1(8), 17–24.
<https://doi.org/10.32347/2522-4182.8.2021.17-24>
18. Кріпак В. Особливості розрахунку і проектування фундаментної системи «З/б плита- ґрунтова основа-палі»/ Кріпак В., Бакур Хасіб. // *Праці Міжнародної ювілейної конференції з питань надійності будівельних констр.* Полтава, 1997.
19. Кріпак В. Надежность расчета системы «плита-колонны-основание» на примере подсилоного этажа. / Кріпак В., Афанасьєва Л., Бакур Хасіб // *Науково-практ. проблеми цивільної оборони в системі МНС*. 36. наук, статей. Вип. 1. К.: МНС України, 1998.
20. Katzenbach R., Choudhury D. Combined Pile-Raft Foundation Guideline / R. Katzenbach, D. Choudhury // *Darmstadt: ISSMGE - Technical University Darmstadt*, 2013. – 23 p.
21. Самородов А.В. Метод оптимального проектування свайно-плитних фундаментов багатоетажних зданий по предельно допустимым осадкам / А.В. Самородов // *Науковий вісник будівництва*. – Вип. 1(79). – Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ, 2015. – С. 96-100.
22. Самородов, А.В. Новая конструкция плитно-свайного фундамента / А.В. Самородов // *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*. – Вип. 1 (214). – Дніпропетровськ: ПДАБА, 2016. – С. 58-65
23. Плоский В. О. Архітектура будівель та споруд. Книга 4. Технічна експлуатація та реконструкція будівель: Підручник для вищих навчальних закладів. – / Плоский В. О., Гетун Г. В., Мартинов В. Л., Сергейчук О. В., Віроцький В. Д., Запривода В. І., Кріпак В. Д., Лаврінченко Л. І., Малишев О. М. – Кам'янець-Подільський: Видавництво «Рута». 2018 р. – 750 с.: іл

REFERENCES

1. *Osnovy ta fundamenty sporud. Zmina №1: DBN V.2.1–10–2009.* – [Chynnyi vid 2011–07–01]. – К.: Minrehionbud Ukrainy, 2011. – 55 s. – (Budivelni normy Ukrainy).

2. **Osnovy i fundamenti budivel ta spo-rud. DBN V.2.1–10:2018.** – [Chynnyi vid 2019–01–01]. – K.: Minrehionbud Ukrainy, 2018. – 35 s. – (Budivelni normy Ukrainy).
3. **Pali. Vyznachennia nesuchoi zdatnosti za rezultaty polovykh vyprobuvan. DSTU B V.2.1-27:2010.** – [Chynnyi vid 2011–07–01]. – K.: Minrehionbud Ukrainy, 2011. – 11 s. – (Derzhavnyi standart Ukrainy).
4. **Samorodov A.V.** Monitorynh y analiz osadok mnohoetazhnykh zdanyi na svaino-plytynykh fundamentakh v h. Kharkove / [A.V. Samorodov, T.A. Nalyvaiko, A.V. Koniukhov, V.B. Nykulyn y dr.] // *Tezy za materialamy VII mizhnarodnoi naukovoï konferentsii "Resurs i bezpeka ekspluata-tsii konstruksii, budivel ta sporud"*. – Kharkiv: KhNUBA, 20-21 zhovtnia 2015 r. – S. 101-102.
5. **Sedyn V L., Bykus E.M., Diuldev A.O., Melnyk A.M.** Vprovadzhenia kombinovanoho plytno-palevoho fundamentu v Ukraine na prykladi budivnytstva pidzem-noho parkinhu v m. Odesa // *Poltavskiy natsionalnyi tekhnichnyi universytet im. Yu. Kondratiuka.* - Poltava: 2013. S. 322-329.
6. **Petrenko V.D.** Dosvid sporudzhenia pal-ovo-plytnoho fundamentu v skladnykh in-zhenerno-heolohichnykh umovakh /Petrenko V.D., Krysan V.I., Krysan V.V., Chehodaiev I.S. *Zbirnyk naukovykh prats «Mosty ta tuneli: teoriia, doslidzhennia, praktyka».* *Ukrainskyy derzhavnyi universytet nauky i tekhnolohii, Dnipro, №19.2021r.- s.78-84.*
7. **Kattsenbakh R.** Baretty-effektyvnye fundamenti dlia vysotnykh zdanyi./ Kattsenbakh R.,Dunaevskiy R.A., Muliar D.L., Diachenko K.O. // *Novi tekhnolohii v budivnytst-vi.2010-№2(20).*- S.28-37.
8. **Kattsenbakh R.** Osnovnye pryntsyipy proektyrovaniya y monitorynha vysotnykh zdanyi Frankfurta-na-Maine. Sluchay yz praktyky / Kattsenbakh R., Shmytt A., Ramm Kh. // *Rekonstruksyia horodov y heotekhnicheskoe stroytelstvo.* - 2005. - №9. - S. 80-99.
9. **Fyoravante V.** Fyzycheskoe modelyrovaniye plytno-svainykh fundamentov / Fyoravante V., Yamyolkovskiy M.B. // *Rekonstruksyia horodov y heotekhnicheskoe stroytelstvo.* - 2006. - №10. - S. 200-206.
10. **Aleksandrovych V.F.** K voprosu o vzaym-nom vliyanyu svai y plyty v osnovanyu svaino-plytnoho fundamenta / Aleksandrovych V.F., Kuryllo S.V., Fedorovskiy V.H. // *Rekonstruksyia ystorycheskykh horodov y heotekhnicheskoe stroytelstvo: tr. konf.* - 2003. - S. 125-143.
11. **Tsymbal S.I.** Metodyka rozrakhunku palovykh fundamentiv z urakhuvanniam roboty rostverku / Tsymbal S.I., Kartseva S.L. // *Osnovy i fundamenti.* – K.: KNUBA, 2004. – Vyp. 28. – S. 121-130.
12. **Nykytenko M.Y.** Rekomendatsyy po ras-chetu svainykh fundamentov s nesushchymy rostverkamy / M.Y. Nykytenko, V.A. Sernov // *Rekomendatsyy R5.01.015.05. Stroitekhnorm, Mynarkhstroi RB.* – Mynsk, 2005. – 24 s.
13. **Myrsaiapov Y.T.** *Ekspyrymentalno-teoretycheskye yssledovaniya modelei svaino-plytynykh fundamentov / Myrsaiapov Y.T., Artemev D.A. // Yzvestiya KazHASU.* - 2008. - №2(10). - S. 68-74
14. **Kripak V.D.** Rekonstruksiiia budivel z vykorystanniam zovnishnoho ta vnutrish-noho metalevykh karkasiv./ Kripak V.D., Drobakha O.K. // *Sbornyk trudov XIII Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsyy Sovremennyye dostyazheniya v nauke y obra-zovanyy.* 6-13 sentiabria 2018 h. Neta-nyia, Yzrayl.- 174-177 s.
15. **Kripak V.D.** Rekonstruksiiia budivel z vykorystanniam zovnishnoho ta vnutrish-noho metalevoho karkasiv. /Kripak V.D., Drobakha O.K. // *II Naukovo –praktychna konferentsiia «Budivli ta sporudy spetsialnoho pryznachennia: suchasni materialy ta konstruksii» (m. Kyiv, KNUBA, 24-25 tra-vnia 2018 r.),* S. 93-96.
16. **Kripak V.** Adekvatnist i vzaïmovplyv konstruktyvnoi i rozrakhunkovoi skhemy budivli. / Kripak V., Koliakova V., Demchenko D. // *III Naukovo-praktychna konferentsiia «Budivli ta sporudy spetsialnoho pryznachennia: suchasni materialy ta konstruksii» (m. Kyiv, KNUBA, 22-23 kvitnia 2021 r.)* – 156 s. – S. 27-28
17. **Kripak, V. & Koliakova, V. (2021).** Vzaïmozalezhnist konstruktyvnykh i rozrakhunkovykh skhem budivli. // *Budivelni konstruksii. Teoriia i praktyka, 1(8), 17–24.*
<https://doi.org/10.32347/2522-4182.8.2021.17-24>
18. **Kripak V.,** Osoblyvosti rozrakhunku i proektuvannia fundamentnoi systemy «Z/b plyta- hruntova osnova-pali»/ Kripak V., Bakur Khasib. // *Pratsi Mizhnarodnoi yuvi-leinoi konferentsii z pytan nadiinosti budivelnykh konstr. Poltava, 1997.*
19. **Kripak V.** Nadezhnost rascheta systemy «plyta-kolonnny-osnovanye» na prymere podsylonoho etazha. / Kripak V., Afanaseva L., Bakur Khasib // *Naukovo-prakt. problemy tsyvilnoi oborony v*

sy-stemi MNS. 36. nauk, statei. Vyp. 1. K.:MNS Ukrainy, 1998.

20. **Katzenbach R., Choudhury D.** Combined Pile-Raft Foundation Guideline / R. Katzenbach, D. Choudhury // *Darmstadt: ISSMGE - Technical University Darmstadt, 2013. – 23 p.*
21. **Samorodov A.V.** Metod optimalnoho proektyrovanyia svaino-plytnykh fundamentov mnohoetazhnykh zdanyi po predelno dopustymym osadkam / A.V. Samorodov // *Naukovyi visnyk budivnytstva. – Vyp. 1(79). – Kharkiv: KhNUBA, KhOTV ABU, 2015. – S. 96-100.*
22. **Samorodov, A.V.** Novaia konstruktsiia plytno-svainoho fundamenta / A.V. Samorodov // *Visnyk Prydniprovskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury. – Vyp. 1 (214). – Dnipropetrovsk: PDABA, 2016. – S. 58-65.*
23. **Ploskyi V. O.** Arkhitektura budivel ta sporud. Knyha 4. Tekhnichna ekspluatatsiia ta rekonstruktsiia budivel: *Pidruchnyk dlia vyshchykh navchalnykh zakladiv. – / Ploskyi V. O., Hetun H. V., Martynov V. L., Serheichuk O. V., Virotskyi V. D., Zapryvoda V. I., Kripak V. D., Lavrinenko L. I., Malyshev O. M. – Kamianets-Podilskyi: Vydavnytstvo «Ruta». 2018 r. – 750 s.: il*

COMBINED SLAB-PILE FOUNDATION

Volodymyr KRIPAK

Summary. Solid reinforced concrete slab foundations are commonly employed in the construction of multi-story frame and panel buildings on natural grounds, as well as in industrial structures such as silos, elevators, chimneys, steel reactors, and more. One significant advantage of monolithic foundations is their ability to be used on weak and uneven ground bases. These foundations can distribute uneven loads over a considerable area, redistributing

them to equalize the inevitable differential settlements of individual foundations. On soft and uneven soils, slab foundations are not only used to mitigate deformations but also to protect against high groundwater, creating what is known as a "floating" foundation.

It has been demonstrated that the combined slab-pile foundation (CSPF) is an effective development in the field of foundation construction. CSPF constitutes a foundation system comprising a "pile field – slab grillage – soil base," where piles bear a portion of the building load, and the slab grillage functions as a foundation slab. CSPF can be interpreted as a monolithic slab supported by piles of various types arranged in the form of a pile field, strips, clusters, or individual piles. Various types of piles, including "barrette" piles, can be used for CSPF foundations.

Considering the soil resistance beneath the slab grillage in the deformation calculations and load-bearing capacity of combined slab-pile foundations provides a reserve for enhancing their economic efficiency. This includes reducing the number of piles, lowering the consumption of steel reinforcement, and decreasing the thickness of the grillage. However, the implementation of CSPF in construction is hindered by the limited theoretical research, necessary regulatory framework, and design experience for such structures.

The determination of design parameters for CSPF is carried out using the method of successive approximations. By specifying the area of the slab grillage and defining the pile length and spacing, the number of piles in the foundation, the settlement of an individual pile, and the design load on the pile are calculated (initially assuming that all piles bear 70-80% of the total load).

Keywords. Slab-pile foundation; grillage; pile field; soil base; settlement; reinforcement; application experience

Стаття надійшла до редакції 12.11.2023