

УДК 624.155.121

**МОЖЛИВОСТІ ОПТИМІЗАЦІЇ КОНСТРУКТИВНИХ РІШЕНЬ
ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ПАЛЬОВИХ ФУНДАМЕНТІВ ПІД СТІНИ
БУДІВЕЛЬ.**

**OPPORTUNITIES OPTIMIZATION OF CONSTRUCTIVE SOLUTIONS
OF REINFORCED CONCRETE PILE FOUNDATIONS UNDER
BUILDING WALLS.**

Фабрика Ю.М., к.т.н., доцент, ORCID ID:0000-0002-1745-1356 (Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу), **Ільчук Н.І., к.т.н., доц., ORCID ID: 0000-0002-7419-2661** (Луцький національний технічний університет університет).

Fabruka Yu.M, Ph.D. of Engineering, Associate Professor, ORCID ID: 0000-0002-1745-1356 (Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and gas), **Pchuk N.I., Ph.D. of Engineering, Associate Professor, ORCID ID:0000-0002-7419-2661** (Lutsk National Technical University University).

Проаналізовано та описано конструкцію і методику розрахунків залізобетонних пальово – стрічкових фундаментів з подушкою під ростверком. Розроблено рішення для можливої оптимізації конструкції фундаменту з урахуванням критерію щодо його вартості.

Under the walls of buildings, strip foundations of shallow laying are most often used, and in some cases, pile foundations are also used. A rather important and positive feature of pile-strip foundations is that they are reliable in transferring the vertical load from the walls to the base soil. The reliability of these foundations is due to their high bearing capacity, as well as small deformations, because they, as a rule, penetrate the lower ends of the piles into the dense soils of the base and transfer the majority of the load to them. However, the field of use of pile foundations in modern construction is limited by their rather high cost.

That is why an urgent issue when using strip pile foundations is to reduce their cost to the value of shallow foundations on a natural basis. In this case, the reliability of pile foundations combined with a low cost will make it possible to expand the scope of their application, and the consequence of this will be an increase in the industrialization of zero-cycle works, a reduction in the amount of manual labor, and the convenience of execution in adverse climatic conditions.

The main directions for achieving the specified tasks are a more complete use of the capabilities of the base soils to accept the load from strip pile

foundations, as well as optimization of the design solutions of these foundations and their foundations. It should be noted that the load absorption from the foundations involves mainly the soils into which the lower ends of the piles enter, and the upper part of the soil stratum within the inter-pile space is almost not involved in this process. In order to use the upper part of the space between the piles to absorb the vertical load, it is proposed to use a low grid in the process of transferring pressure to these soils. In modern construction practice, the possibility of transferring part of the vertical load through the low grid of the strip pile foundation is not taken into account.

Ключові слова: фундамент, залізобетонні конструкції, розрахунок фундаментів, конструкції фундаментів.
foundation, reinforced concrete constructions, calculation of foundations, constructions of foundations.

Вступ. Під стіни будівель найчастіше застосовують стрічкові фундаменти неглибокого закладення, а в окремих випадках використовують також пальові. Досить важливою та позитивною рисою пальово – стрічкових фундаментів є те, що вони надійні в роботі по передачі вертикального навантаження від стін на ґрунти основи. Надійність цих фундаментів зумовлена високою несучою здатністю, а також невеликими деформаціями, бо вони, як правило, заходять нижніми кінцями паль у щільні ґрунти основи і передають на них переважну частину навантаження. Разом з тим область використання пальових фундаментів у сучасному будівництві обмежена їх досить високою вартістю.

Саме тому актуальним питанням при застосування стрічкових пальових фундаментів є здешевлення їх вартості наближено до вартості фундаментів неглибокого закладення на природній основі. В такому випадку, надійність пальових фундаментів при поєднанні з невисокою вартістю, дасть можливість розширити область їх застосування, а наслідком цього буде підвищення індустріалізації робіт нульового циклу, зменшення кількості ручної праці, зручність виконання в несприятливих кліматичних умовах.

Аналіз останніх досліджень. Основними напрямками для досягнення вказаних завдань є більш повне використання можливостей ґрунтів основи сприймати навантаження від стрічкових пальових фундаментів, а також оптимізація конструктивних рішень цих фундаментів та їх основи [3]. Слід звернути увагу на те, що в сприйнятті навантаження від фундаментів задіяні в основному ґрунти, в які заходять нижніми кінцями палі, а верхня частина ґрунтової товщі в межах міжпальового простору майже не залучена в цей процес. Щоб використати для сприйняття вертикального навантаження також верхню частину міжпальового простору, запропоновано задіяти низький ростверк в процес по передачі тиску на ці ґрунти.

У сучасній будівельній практиці можливістю передачі частини вертикального навантаження через низький ростверк стрічкового пальового фундаменту нехтують, так як ширина ростверка невелика, а ґрунт безпосередньо під ним може бути в розпушеному стані. Було досліджено [1, 2], що одним з можливих способів залучення низького ростверка до ефективної роботи по передачі тиску на ґрунти є виконання безпосередньо під ним штучної подушки з сипучих мінеральних матеріалів (грубозернистого піску, піщано-гравійної суміші тощо), які в ущільненому стані добре сприймають навантаження і перерозподіляють його по своєму шару (рис.1).

Крім вище зазначеного, подушка також виконує ще декілька функцій, а саме:

- замінює ґрунти зі змінними властивостями при можливому промерзанні на матеріал, який не має таких властивостей;
- підвищує опір тої частини основи, на яку безпосередньо передається вертикальний тиск через подошву ростверка.

Частка вертикального навантаження, що передаватиметься ростверком, залежить в першу чергу від двох чинників, а саме: від величини сумісного переміщення ростверка і висячих паль, а також від фізико-механічних властивостей ґрунтів основи як ростверка так і паль.

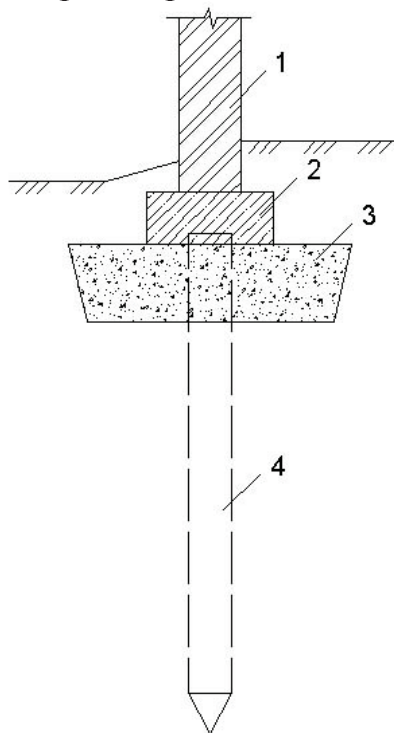


Рис.1. Поперечний переріз стрічкового пальового фундаменту з подушкою під ростверком: 1 – стіна будівлі; 2 – стрічковий залізобетонний ростверк фундаменту; 3 – подушка з сипучих матеріалів; 4 – залізобетонні палі

Мета і задачі досліджень. Визначальним розрахунком системи “стрічковий паловий фундамент з низьким ростверком, через подошву якого передається вертикальний тиск – основа” буде розрахунок методом деформацій. Нами запропонована така послідовність цього розрахунку [1, 2,3]:

- призначають частку вертикального навантаження для передачі через подошву ростверка;
- призначають матеріал для влаштування подушки і за даними ітераційних розрахунків визначають її розміри;
- для кожного варіанта з різними розмірами подушки визначають осідання ґрунту від передачі на нього тиску через подошву ростверка;
- приймають, що вертикальне переміщення взаємозв'язаних ростверка і паль буде однаковим;
- визначають опір можливих для застосування в кожному варіанті висячих паль при заданому переміщенні;
- знаходять потрібну відстань між осями паль з урахуванням нормативних вимог до цих відстаней;
- визначають з урахуванням можливого взаємовпливу паль осідання фундаменту, як системи;
- обчислюють вартість влаштування кожного розглянутого варіанта фундаменту та його основи;
- вибирають серед розглянутих найдешевший варіант за обчисленою вартістю.

Кількість варіантів для вибору серед них оптимального при однаковому навантаженні та однакових ґрунтових умовах може бути значною і сягати декількох десятків.

Методика досліджень та вихідні дані. З використанням розробленої методики можливо розрахувати можливі до застосування при заданих типових умовах варіанти стрічкових палювих (традиційної конструкції та запропонованої з подушкою під ростверком) і фундаментів неглибокого закладання на природній основі.

Наведемо для прикладу у вигляді графіків деякі отримані результати розрахунків, які свідчать про перспективність застосування стрічкових фундаментів з подушкою під ростверком.

Результати числових досліджень. Усі графіки було складено за даними розрахунків стрічкових фундаментів при передачі на них вертикального навантаження від стін $F=300$ кН/м, що споруджуються на ділянках, де верхній шар ґрунту є суглинок м'якопластичний, який на глибині 4 м підстиляється шаром дрібнозернистого піску.

Як це впливає з рис. 2, в зазначених умовах найдорожчими є стрічкові однорядні палюві фундаменти традиційної конструкції, найдешевшими стрічкові фундаменти неглибокого закладання. Палювий фундамент з подушкою під ростверком є проміжним за критерієм вартості між палювим фундаментом і фундаментом неглибокого закладання, причому його вартість змінюється залежно від співвідношення тих частин навантаження, що передаються на ґрунт через ростверк (N_g) і через палі (N_p). При співвідношенні $N_g/N_p > 0.67$ вартість палювого фундаменту з подушкою під ростверком стає меншою за вартість інших варіантів. Крім того, важливо

зазначити, що під дією вертикального навантаження $F=300$ кН/м осідання фундаменту неглибокого закладення складає 4,8 см у порівнянні з осіданням пальових фундаментів у межах 1,0...1,4 см. З викладеного випливає, що при належному конструктивному вирішенні стрічкові пальові фундаменти з подушкою під ростверком стають конкурентноздатними у порівнянні з іншими варіантами фундаментів традиційної конструкції.

З графіків, показаних на рис.3. видно, як змінюється відносна вартість варіантів фундаментів залежно від вертикального навантаження, що передається на низ від стін. Найдорожчим при діючому на всьому інтервалі навантаженні є пальові фундаменти традиційної конструкції (їх відносна вартість приймається за 100%). У порівнянні з цими фундаментами при навантаженні до 420 кН/м ефективними за вартістю є пальові фундаменти з подушкою під ростверком, при більшому навантаженні – фундаменти неглибокого закладення, бо тоді знижується співвідношення N_g/N_p до 0,31. але дія такого значного навантаження спричиняє осідання фундаменту неглибокого закладення порядку 10 см і більше, що спонукає застосовувати і в даному разі пальові фундаменти.

Згадане співвідношення N_g/N_p залежить у значній мірі від ширин подошви ростверка, тому доцільно простежити, як впливає збільшення ширини подошви ростверка з подушкою під ним на вартість пальових фундаментів. З графіків на рис.4 видно, що при збільшенні ширини подошви з 500 мм до 1000 мм здешевлюється вартість фундаментів на 34%.

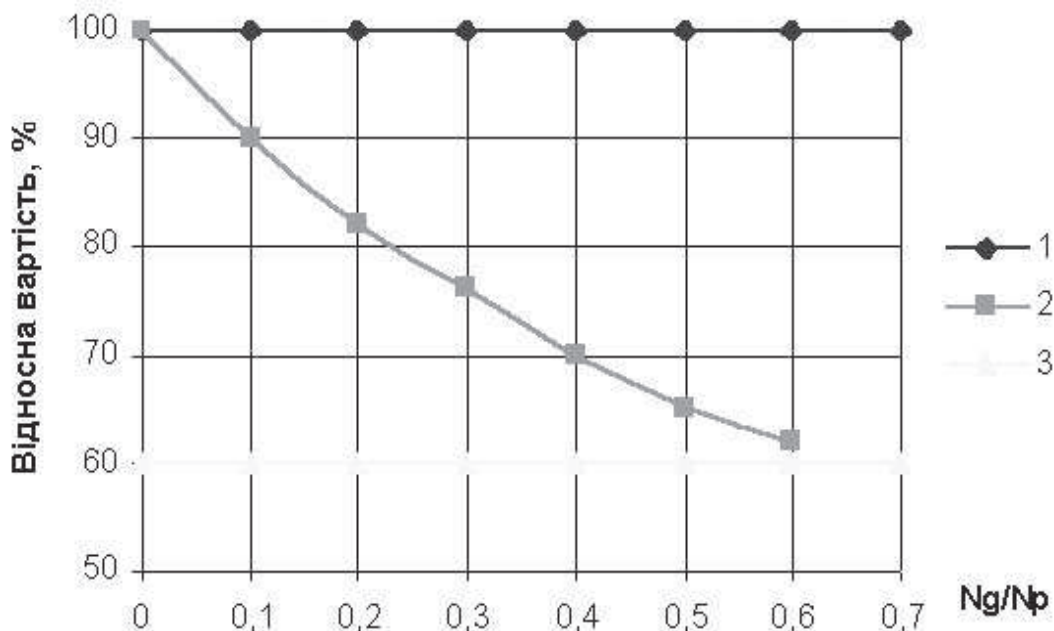


Рис.2. Графіки відносної вартості стрічкових фундаментів залежно від їх конструктивного вирішення: 1 – для пальових фундаментів традиційної конструкції; 2 – для пальових фундаментів з подушкою під ростверком; 3 – для фундаментів неглибокого закладення; N_g – частина вертикального навантаження, що передається на ґрунти основи через подошву ростверка; N_p – те ж, через палі

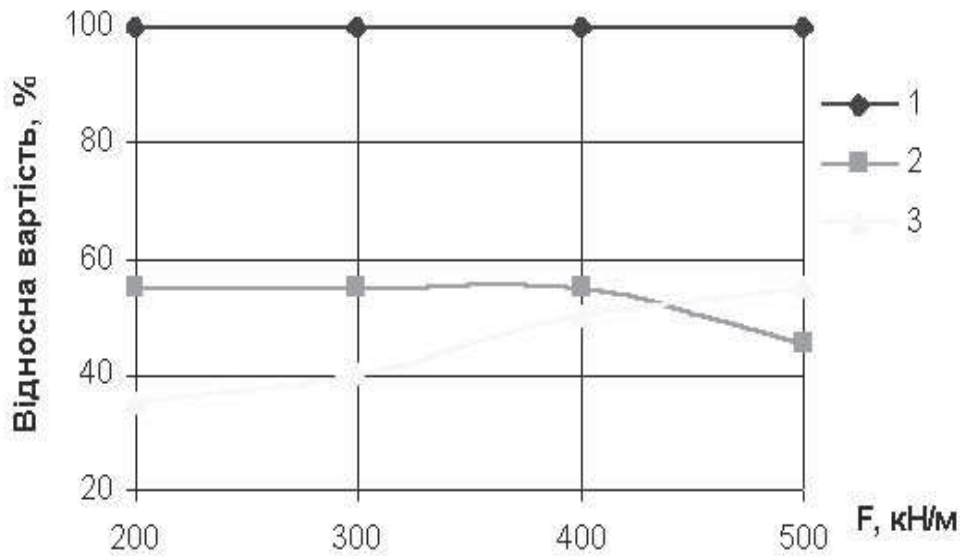


Рис.3. Графік відносної вартості стрічкових фундаментів залежно від діючого на них вертикального навантаження: 1 – для пальових фундаментів традиційної конструкції; 2 – для пальових фундаментів з подушкою під ростверком; 3 – для фундаментів неглибокого закладення

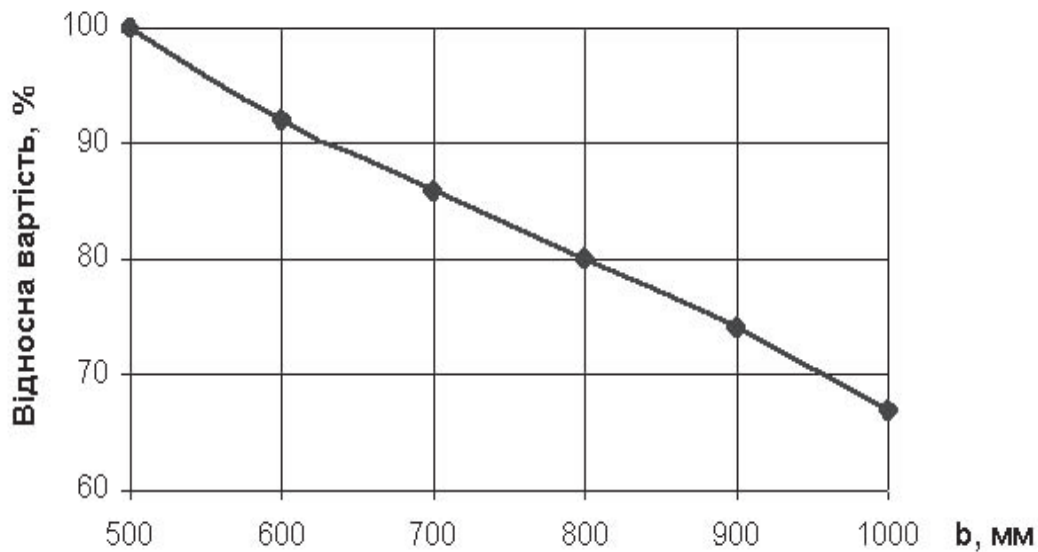


Рис.4. Графік залежності відносної вартості пальових фундаментів з подушкою під ростверком, що мають різну ширину підшови b

Для того щоб вибрати ефективний варіант стрічкового фундаменту під стіни, необхідно промоделювати особливості їх взаємодії з ґрунтом, розглянути значну кількість можливих у даних умовах варіантів, порівняти їх за певним критерієм.

Висновки. 1. Стрічкові фундаменти під стіни можуть мати багато конструктивних рішень, зокрема у вигляді фундаментів неглибокого закладення, пальових фундаментів, у тому числі з подушкою під ростверком.

2. Кожне конструктивне рішення має певні переваги і недоліки та свою область раціонального застосування залежно від ґрунтових умов та діючого навантаження. 3. Для оптимізації конструктивних рішень стрічкових фундаментів за певними критеріями необхідно промоделювати особливості їх взаємодії з ґрунтами основи при діючому навантаженні, розглянути значну кількість варіантів. 4. Стрічкові пальові фундаменти з подушкою під ростверком є проміжними за характером роботи між пальовими фундаментами традиційної конструкції та фундаментами неглибокого закладення на штучній основі. 5. Перевагою стрічкових пальових фундаментів є те, що вони передають вертикальне навантаження частково через ростверк на ґрунти верхньої частини основи, а частково через палі на глибше залягаючи щільні ґрунти, тому для них властива невисока вартість та незначні деформації.

1. Козак Р. В., Козачок Л. Д. Призначення глибини гірських виробок при проведенні інженерно-геологічних вишукувань // Звітна конф. викладачів та аспірантів за наслідками наук.-дослідної роботи 1993 р.: Тези доп. – Львів, 1994. – С.234–235.

Kozak R. V., Kozachok L. D. Pryznachennia hlybyny hirs'kykh vyrobok pry provedenni inzhenerno-geologichnykh vyshukuvan // Zvitna konf. vykladachiv ta aspirantiv za naslidkami nauk.-doslidnoi roboty 1993 r.: Tezy dop. – Lviv, 1994. – S.234–235.

2. Козачок Л.Д., Фабрика Ю.М. Метод регулювання напружено-деформованого стану основ пальових фундаментів // Вісник СНАУ. Науково-метод. журнал. Серія “Будівництво”, вип..8. – Суми, 2002. – С.93-98.

Kozachok L.D., Fabryka Yu.M. Metod rehuliuвання napruzheno-deformovanoho stanu osnov palovykh fundamentiv // Visnyk SNAU. Naukovo-metod. zhurnal. Seriya “Budivnytstvo”, vyp..8. – Sumy, 2002. – S.93-98.

3. Козачок Л.Д., Шмиг Р.А. Вибір ресурсоекономного варіанта при проектуванні стрічкових пальових фундаментів // Ресурсоекономні матеріали конструкції, будівлі та споруди. Ч.1. – Рівне, 1996. – С.5.

Kozachok L.D., Shmyh R.A. Vybir resursoekonomnoho varianta pry proektuvanni strichkovykh palovykh fundamentiv // Resursoekonomni materialy konstruktsii, budivli ta sporudy. Ch.1. – Rivne, 1996. – S.5.

4. ДБН А.2.1-1-2008. Вишукування, проектування і територіальна діяльність. Вишукування. Інженерні вишукування для будівництва, Мінрегіонбуд, 2008. – 76с.

DBN A.2.1-1-2008. Vyshukuvannya, proektuvannya i terytorialna diialnist. Vyshukuvannya. Inzhenerni vyshukuvannya dlia budivnytstva, Minrehionbud, 2008. – 76s.

5. ДБН В.2.5-64:2012 Внутрішній водопровід та каналізація. Частина I. Проектування. Частина II. Будівництво. Зі Зміною № 1, Мінрегіон України, 2013. – 134 с.

DBN V.2.5-64:2012 Vnutrishnii vodoprovid ta kanalizatsiia. Chastyna I. Proektuvannya. Chastyna II. Budivnytstvo. Zi Zminoiu № 1, Minrehion Ukrainy, 2013. – 134 s.

6. ДБН В.2.1-10:2018 Основи і фундаменти будівель та споруд. Основні положення. Мінрегіонбуд, 2018. – 43 с.

DBN V.2.1-10:2018 Osnovy i fundamenti budivel ta sporud. Osnovni polozhennia. Minrehionbud, 2018. – 43 s.