

Самородов О.В., Кротов О.В., Храпатова І.В.

*Харківський національний університет будівництва та архітектури
(вул. Сумська, 40, м. Харків, Україна; e-mail: osamorodov@ukr.net, krotov.project@gmail.com,
irinakhrapatova@ukr.net; orcid.org/0000-0003-4395-9417; orcid.org/0000-0002-7588-1370;
orcid.org/0000-0003-3404-5349)*

РОЗРОБКА МЕТОДИК РОЗРАХУНКУ ГРУНТОВОЇ ОСНОВИ СТРІЧКОВОГО ФУНДАМЕНТУ З ВИРІЗОМ ПО ПІДОШВІ

Розроблена і запатентована ефективна конструкція стрічкового фундаменту з повздовжнім вирізом по підосшві, заповненого низько модульним матеріалом, яка дозволяє підвищити розрахунковий опір ґрунту основи до 70% в порівнянні з традиційним стрічковим фундаментом при рівній площі контакту з основою. На підставі експериментально-теоретичних досліджень запропоновані відповідні методики розрахунку ґрунтової основи таких фундаментів.

Ключові слова: стрічковий фундамент, повздовжній виріз, ґрунтова основа, методика розрахунку

Вступ. Підвищення економічної ефективності фундаментобудування, витрати на яке можуть становити в окремих випадках до 40% від загальної вартості будівництва споруд, на даний час залишається пріоритетним напрямом. Монолітні та збірні стрічкові фундаменти під стіни будинків та фундаментні частини масивних підпірних стін є найбільш поширеною конструкцією фундаментів мілкого закладення, що застосовується в будівництві.

Відомо, що навантаження від споруди на основу передаються або стрічковими фундаментами, що викликає плоскодеформований стан основи, або окремо розташованими фундаментами, основа яких знаходиться в просторовому напруженому стані. При цьому навантаження на ґрунтову основу всіма фундаментами як правило передається суцільною плоскою підосшвою. Однак у сфері фундаментобудування пропонуються інші варіанти умовно стрічкових фундаментів, які за рахунок своєї форми (конфігурації) контакту з основою дозволяють більш раціонально проектувати фундаменти протяжних конструкцій будівель і споруд.

У Радянському Союзі була зроблена перша спроба змінити традиційний спосіб передачі навантаження таким чином, щоб умови роботи фундаменту й самої основи істотно покращилися. Цей принцип був реалізований в 1954 р. під керівництвом Є.А. Сорочана при розробці переривчастих збірних стрічкових фундаментів. На сьогоднішній день застосування

конструкцій переривчастих стрічкових фундаментів уможливорює при інших рівних умовах підвищення допустимого тиску на ґрунтову основу до 1,3 рази за рахунок зміни напружено-деформованого стану з плоского в просторовий, що було введено ще в радянській нормативний документ «СНиП 2.02.01-83*. Основа збудованих і споруджених». Удосконалення й дослідження конструкцій умовно стрічкових (протяжних) фундаментів активно триває до теперішнього часу. Існують експериментально-теоретичні дослідження взаємодії протяжних (стрічкових, переривчастих, поруч розташованих та ін.) фундаментів з ґрунтовими основами, якими займалися ряд відомих учених: Архипов Д.Н., Богомолов А.Н., Винокуров Е.Ф., Євтушенко С.І., Королев К.В., Крахмальний Т.А., Лучковський І.Я., Мурзенко Ю.Н., Пойта П.С., Пилягін А.В., Сорочан Є.А., Фідаров М.І., Тугаєнко Ю.Ф. та багато інших [1-14]. Однак, існуючі конструкції умовно стрічкових (протяжних) фундаментів не вичерпують усіх можливих форм підосшви на контакт з основою і не завжди є раціональними як у технічному, так і в технологічному аспектах, а взаємодія протяжних фундаментів з ґрунтовою основою здебільшого розглядається в межах задачі граничної рівноваги попри те, що основним розрахунком основ у пострадянських країнах є розрахунок за другою групою граничних станів з визначенням розрахункового опору ґрунту.

Матеріали і методи досліджень. Попередні розрахунки свідчать, що в разі незаповненого простору всередині порожнини вирізу розрахунковий опір ґрунту різко знижується, тому запропонована запатентована конструкція стрічкового фундаменту з повздовжнім вирізом (рис. 1), яка складається з фундаментної частини 1 завширшки $(2b + a)$ і вирізу 2 завширшки a й заввишки Δ , який заповнюється низькомодульним матеріалом 3, наприклад, пінопластом [15].

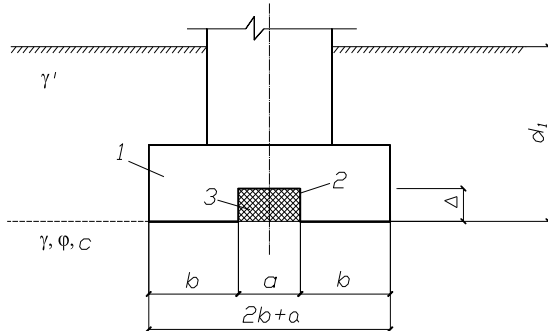


Рис. 1. Стрічковий фундамент з повздовжнім вирізом по підшві:
1 – фундамент; 2 – виріз; 3 – вставка з низькомодульного матеріалу

У цьому випадку пропонується розглянути розрахункову схему взаємодії фундаменту з ґрунтовою основою, яка представлена на рис. 2, де в межах ширини вирізу a при навантаженні фундаменту передається тиск, що дорівнює величині побутового тиску $\gamma' d_1$ за межами фундаменту.

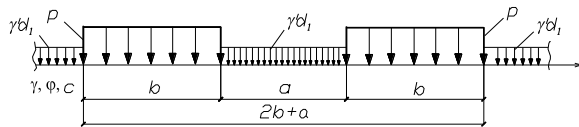


Рис. 2. Розрахункова схема взаємодії фундаменту з ґрунтовою основою

Тиск всередині повздовжнього вирізу заввишки Δ передається за допомогою заповнення порожнини низькомодульним матеріалом з модулем пружності $E_{вкл}$, що дорівнює

$$E_{вкл} = \frac{\Delta}{s} \gamma' d_1, \quad (1)$$

де s – прогнозоване осідання фундаменту, м; Δ – висота вирізу, м; γ' – питома вага ґрунту вище підшви фундаменту, кН/м³; d_1 – глибина закладення фундаменту, м,

або, навпаки, влаштовують виріз завширшки a й заввишки Δ , що дорівнює

$$\Delta = \frac{E_{вкл}}{\gamma' d_1} s. \quad (2)$$

Для визначення розрахункового опору основи фундаменту використано підхід М.М. Маслова [16]: умова розташування нижньої межі зони зсуву z на вертикалі обрізу фундаменту, тобто при $z=b \cdot \text{tg} \varphi$ (рис. 3).

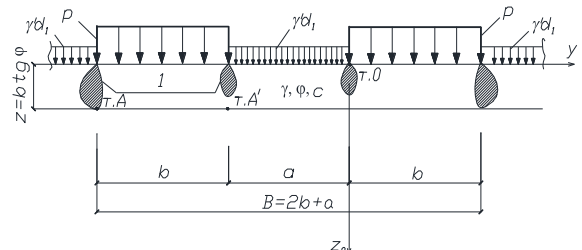


Рис. 3. Розрахункова схема до визначення розрахункового опору ґрунту R та осідань s основи стрічкового фундаменту з повздовжнім вирізом по підшві

Виходячи зі змішаної задачі теорії пружності та пластичності (плоска деформація) з використанням критерія міцності Кулона-Мора [17], проведені аналітичні дослідження розвитку пластичних зон в основі фундаменту, які показують, що граничний стан завжди виникає раніше в точках A (рис. 3), тобто під зовнішніми кінцями фундаменту. При цьому, відносний допустимий тиск на основу \bar{R} можна навести у зручному для аналізу вигляді:

$$\bar{R} = k_d = \frac{R}{\gamma' d_1} = F(1 + \bar{b} \text{tg} \varphi + \bar{c} \text{ctg} \varphi) + 1, \quad (3)$$

де $\bar{b} = b/d_1$; $\bar{c} = c/\gamma' d_1$; $\gamma = \gamma'$;

$$F = \frac{\pi}{\sqrt{T} \sin \varphi} \sigma_1$$

$$T = \left(\frac{1}{2} \sin 2\varphi - \sigma_2 \right)^2 + (\cos^2 \varphi + \tau)^2;$$

$$\sigma_1 = \left(\frac{\pi}{2} - \varphi \right) + \text{arctg} \frac{\bar{a}+2}{\text{tg} \varphi} - \text{arctg} \frac{\bar{a}+1}{\text{tg} \varphi};$$

$$\sigma_2 = \left[\frac{\bar{a}+1}{(\bar{a}+1)^2 + \text{tg}^2 \varphi} - \frac{\bar{a}+2}{(\bar{a}+2)^2 + \text{tg}^2 \varphi} \right] \text{tg} \varphi;$$

$$\tau = \left[\frac{1}{(\bar{a}+1)^2 + \text{tg}^2 \varphi} - \frac{1}{(\bar{a}+2)^2 + \text{tg}^2 \varphi} \right] \text{tg}^2 \varphi,$$

де $\bar{a} = a/b$; γ та γ' – питома вага ґрунту відповідно вище і нижче підшви фундаменту; φ і c – міцнісні характеристики ґрунту основи, відповідно кут внутрішнього тертя й питоме зчеплення.

Результати дослідження. Згідно формулі (3) при $\bar{a} = a/b \rightarrow \infty$ матимо

вираз \overline{R}_0 для одиночного фундаменту завширшки b (рішення М.М. Маслова [15]), а при $\overline{a} = a/b \rightarrow 0$ - для суцільного фундаменту завширшки $2b$.

Використовуючи вираз (3), побудуємо графіки функцій $R/R_0(a/b)$ (рис. 4) в залежності від зміни кута внутрішнього тертя $\varphi = 20^\circ \div 45^\circ$, приймаючи: $b = d_1 = 1$; $\gamma = \gamma' = 18 \text{ кН/м}^3$; $c = 0$.

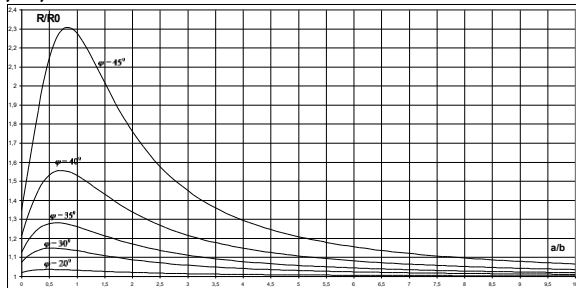


Рис. 4. Графіки залежностей $R/R_0(k_d)$ від a/b

З графіків рис. 4 бачимо, що центральний виріз шириною a підвищує розрахунковий опір ґрунту R стрічкового фундаменту у порівнянні з одиночним фундаментом шириною b . При цьому існує максимум функції при певному значенні a/b .

Слід зазначити, що зміна зчеплення ґрунту c при інших рівних умовах практично не впливає на зміну відносного розрахункового опору R/R_0 .

У разі сприйняття фундаментом вертикального навантаження ширина $B = (2b + a)$ підосви фундаменту з вирізом може призначатися ітераційно відповідно до загальноприйнятих принципів проектування як для фундаменту шириною $2b$ із суцільною підосвою, при цьому розрахунковий опір ґрунту фундаменту з вирізом R_{2b+a} приймається за формулою (4).

Розрахунковий опір основи стрічкового фундаменту з повздовжнім вирізом по підосві пропонується визначати за аналогію з переривчастим фундаментом згідно норм [18-19] рівним:

$$R_{2b+a} = R_b \cdot k_d, \quad (4)$$

де $R_b(R_0)$ – розрахунковий опір ґрунту основи фундаменту завширшки b , що визначається за нормативною формулою [18-19] за умови прийняття будь-якого критерію розвитку зон граничної рівноваги під фундаментом; $k_d(R/R_0)$ – коефіцієнт, що може визначатися згідно з графіками рис. 4 чи за формулою (3).

У випадках же дії на стрічкові фундаменти значних моментних навантажень M , наприклад, на фундаменти масивних підпірних стін (див. рис. 5), можуть застосовуватися запропоновані І.Я. Лучковським та О.В. Самородовим [9, 11] формули для визначення раціональних геометричних параметрів підосви таких фундаментів при заданих зусиллях N і M та відповідному розрахунковому опорі ґрунту R_{2b+a} (4). При цьому для технологічної зручності виріз може бути улаштовуваний в межах бетонної підготовки за допомогою вкладки з низькомодульного матеріалу (рис. 5).

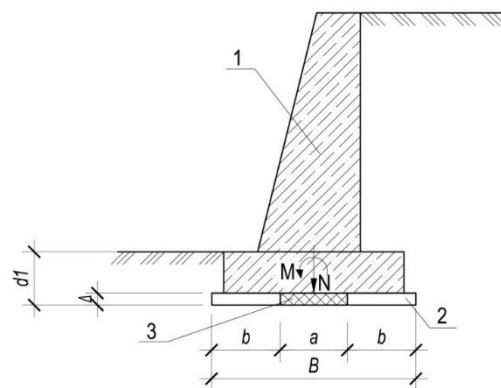


Рис. 5. Фундамент масивної підпірної стіни: 1 – стіна; 2 – бетонна підготовка; 3 – вкладка з низькомодульного матеріалу

Однією з особливостей проектування фундаментів з вирізами по підосві у центральній частині є виконання умови: $s < \Delta$, тобто осідання основи фундаменту не повинно перевищувати висоту вирізу для забезпечення неможливості повного контакту з ґрунтовою основою підосви фундаменту у зоні вирізу на всьому строку експлуатації споруди. Тому для визначення осідання основи таких фундаментів пропонується використовувати класичний метод пошарового підсумовування [18-19] осідань уздовж осі фундаменту z_0 , що проходить через точку O внутрішнього обрізу фундаменту (див. рис. 3). У табл. 1 наведені значення коефіцієнта затухання α вертикальних напруг вздовж осі z_0 на різних відносних глибинах z/b при різних співвідношеннях $\eta = a/b$, що обчислені за використанням відомого рішення В.Г. Короткіна для умов плоскої деформації [7].

Таблиця 1 - Значення коефіцієнта затухання α вздовж осі z_0

$\frac{z}{b}$	Значення коефіцієнта α затухання напруг уздовж осі z_0 для стрічкового фундаменту з повздовжнім вирізом по підшві при співвідношенні $\eta=a/b$, що дорівнює									
	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
<i>I</i>	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	1	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
0,4	0,9772	0,7013	0,5636	0,5065	0,4755	0,4481	0,4129	0,3595	0,2757	0,1531
0,8	0,8809	0,7251	0,5939	0,4954	0,4203	0,3565	0,2949	0,2296	0,1581	0,0807
1,2	0,7553	0,6481	0,5453	0,4530	0,3725	0,3014	0,2367	0,1754	0,1159	0,0574
1,6	0,6417	0,5606	0,4796	0,4022	0,3304	0,2647	0,2044	0,1486	0,0963	0,0469
2	0,5498	0,4849	0,4192	0,3549	0,2934	0,2355	0,1816	0,1314	0,0847	0,0410
2,4	0,4773	0,4234	0,3686	0,3143	0,2615	0,2111	0,1633	0,1184	0,0763	0,0369
2,8	0,4200	0,3738	0,3270	0,2804	0,2346	0,1903	0,1479	0,1076	0,0696	0,0337
3,2	0,3741	0,3337	0,2929	0,2521	0,2119	0,1727	0,1348	0,0984	0,0638	0,0310
3,6	0,3366	0,3009	0,2647	0,2285	0,1927	0,1576	0,1235	0,0905	0,0589	0,0287
4	0,3057	0,2736	0,2411	0,2086	0,1764	0,1447	0,1137	0,0836	0,0546	0,0267
4,4	0,2798	0,2506	0,2212	0,1917	0,1625	0,1336	0,1052	0,0776	0,0508	0,0249
4,8	0,2578	0,2311	0,2042	0,1772	0,1504	0,1239	0,0978	0,0723	0,0474	0,0233
5,2	0,2390	0,2143	0,1895	0,1647	0,1400	0,1154	0,0913	0,0676	0,0444	0,0218
5,6	0,2226	0,1998	0,1768	0,1537	0,1308	0,1080	0,0855	0,0634	0,0417	0,0206
6	0,2083	0,1870	0,1656	0,1441	0,1227	0,1014	0,0804	0,0597	0,0393	0,0194

Крен стрічкового фундаменту завширшки B з величиною центрального повздовжнього вирізу a при дії сили N уздовж боку B (див. рис. 5) визначається відповідно теоретичним дослідженням Флорина В.А. [20] та результатам наших досліджень [11]:

$$i = \frac{12Ne}{C_0(B^3 - a^3)} \quad \mathbf{0,07}, \quad (5)$$

де $C_0 = \frac{3E}{2(1-\mu^2)}$ – інтегральний коефіцієнт жорсткості основи для умов плоскої деформації, кН/м².

Висновки.

1. Проаналізовано експериментально-теоретичні дослідження існуючих конструкцій умовно стрічкових (протяжних) фундаментів: переривчастих, ламаєних і т.д. і методик визначення несучої здатності, розрахункового опору і деформацій їх ґрунтових основ.

2 Розроблена та запатентована ефективна конструкція стрічкового фундаменту завширшки $B=2b+a$ з повздовжнім вирізом по підшві величиною a , що заповнений низькомодульним матеріалом, яка здатна підвищити розрахунковий опір

ґрунту основи до 70% у порівнянні з традиційним суцільним стрічковим фундаментом завширшки $B=2b$ при інших рівних умовах і критеріях.

3. На основі експериментально-теоретичних досліджень удосконалено методики визначення розрахункового опору ґрунту основи R стрічкових фундаментів з повздовжнім вирізом по підшві, їх осідань s та кренів i .

ЛІТЕРАТУРА:

1. Архипов Д.Н. *Взаимодействие ґрунтового основания и сборных ленточных фундаментов с геометрически изменяемой формой подошвы: дис. ... канд. техн. наук.* Волгоград, 2006. 153 с.
2. Богомолов А.Н., Богомолова О. А., Якименко И. В. Повышение несущей способности основания как следствие использования составных ленточных фундаментов. *Вестн. ВолгГАСУ. Сер.: Стр-во и архитектура.* 2010. Вып. 19(38). С. 5-11.
3. Винокуров Е.Ф., Макарук П.Н., Пойта П.С. Расчет прерывистых фундаментов на песчаных основаниях. *Строительство и архитектура Белоруссии.* 1983. №3. С. 35-36.
4. Евтушенко С.И., Крахмальний Т.А. Исследование работы ленточных фундаментов со

- сложной конфигурацией подошвы. *Основания, фундаменты и механика грунтов*. 2017. № 3. С. 14-17.
5. Королев К.В. *Исследование несущей способности оснований близко расположенных ленточных фундаментов мелкого заложения: автореф. дис. ... канд. техн. наук*. ТГАСУ. – Томск, 2003. 25 с.
 6. Лучковский И.Я., Самородов А.В. Расчетное сопротивление грунта рядом стоящих ленточных фундаментов. *Будівельні конструкції. Механіка ґрунтів та фундаментобудування: міжвід. наук.-техн. зб.* Київ: НДІБК, 2008. С. 384-393.
 7. Пилягин А.В. *Напряженно-деформированное состояние оснований фундаментов зданий и сооружений: монография*. Чебоксары: ЧПИ МГОУ, 2010. 264 с.
 8. Пойта П.С. *Совместная работа прерывистых ленточных фундаментов с продольным расположением разрыва и намывных песчаных оснований (для региона Белорусской ССР). дис. ... канд. техн. наук*. Киев, 1985. 256 с.
 9. Самородов А.В. *Внецентренно нагруженные фундаменты с вырезами по подошве: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.02*. Днепропетровск: ПГАСА, 2005. 203 с.
 10. Самородов А.В., Конюхов А.В., Кротов О.В., Фурсенко Н.В., Убийвовк А.В. Экспериментально-теоретические исследования центрально нагруженных фундаментов с продольным вырезом по подошве. *Труды Международной конференции по геотехнике Технического комитета 207 ISSMGE «Взаимодействие оснований и сооружений. Подземные сооружения и подпорные стены»*, Санкт-Петербург, 2014. том 2. С. 74-81.
 11. Самородов А.В., Конюхов А.В. Полевые исследования внецентренно нагруженных фундаментов с вырезами по подошве. *Основания, фундаменты и механика грунтов*. Москва: ОФМГ, 2014. Вып. 3. С. 2-5.
 12. Сорочан Е.А. *Фундаменты промышленных зданий*. М.: Стройиздат, 1986. 303 с.
 13. Тугасенко Ю.Ф., Кушак С.И. Деформации в основаниях фундаментов из шпальных элементов. *Основания, фундаменты и механика грунтов*. 1986. № 2. С. 9-11.
 14. Фидаров М.И. *Проектирование и возведение прерывистых фундаментов*. М.: Стройиздат, 1986. 230 с.
 15. Самородов О.В., Лучковский И.Я., Конюхов О.В., Кротов О.В. *Стрічковий фундамент з повздожнім вирізом по подошві*. Патент на винахід №100647, Україна. МПК (2006.01) E02D 27/01. Заявл. 03.02.2012. Опубл. 10.01.2013. Бюл. №1. 4 с.
 16. Маслов Н.Н. *Основы инженерной геологии и механики грунтов: учебник для вузов*. М.: Высш. школа, 1982. 511 с.
 17. Горбунов-Посадов М.И. Метод решения смешанной задачи теории упругости и теории пластичности грунтов. *Основания, фундаменты и механика грунтов*. 1971. №2.
 18. ДБН В.2.1-10-2009 *Основи та фундаменти споруд*. К.: Мінрегіонбуд України, 2009. 104 с.
 19. СП 22.13330.2016 *Основания зданий и сооружений*. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83*.
 20. Флорин В.А. *Основы механики грунтов*. М.; Л.: Госстройиздат, 1959. Т. 1. 357 с.
- Самородов А.В., Кротов О.В., Храпатова И.В. РАЗРАБОТКА МЕТОДИК РАСЧЕТА ГРУНТОВОГО ОСНОВАНИЯ ЛЕНТОЧНОГО ФУНДАМЕНТА С ВЫРЕЗОМ ПО ПОДОШВЕ.** Разработана и запатентована эффективная конструкция ленточного фундамента с продольным вырезом по подошве, заполненного низко модульным материалом, которая позволяет повысить расчетное сопротивление грунта основания до 70% по сравнению с традиционным ленточным фундаментом при равной площади контакта с основанием. На основании экспериментально-теоретических исследований предложены соответствующие методики расчета грунтового основания таких фундаментов
- Ключевые слова:** ленточный фундамент, продольный вырез, грунтовое основание, методика расчета.
- Samorodov O.V., Krotov O.V., Khrapatova I.V. DEVELOPMENT OF A CALCULATION PROCEDURE OF A SOIL BASE STRIP FOUNDATION WITH A CUT-OUT ON THE BOTTOM.** An effective design of a strip foundation with a longitudinal cut-out on the sole filled with low-modulus material was developed and patented, which allows to increase the design resistance of the foundation soil to 70% compared to a traditional strip foundation with an equal contact area with the base. Based on experimental and theoretical studies, appropriate methods for calculating the soil base of such foundations are proposed.
- Keywords:** strip foundation, longitudinal cut, soil base, calculation procedure.