

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ БУДІВНИЦТВА ТА АРХІТЕКТУРИ

КРОТОВ ОЛЕГ ВІКТОРОВИЧ



УДК 624.131:624.15

**СТРІЧКОВИЙ ФУНДАМЕНТ
З ПОВЗДОВЖНІМ ВИРІЗОМ ПО ПІДОШВІ**

05.23.02 – основи і фундаменти

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Одеса – 2019

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Харківському національному університеті будівництва та архітектури (ХНУБА) Міністерства освіти і науки України, м. Харків.

Науковий керівник:

доктор технічних наук, доцент
Самородов Олександр Віталійович,
Харківський національний університет
будівництва та архітектури Міністерства освіти і
науки України,
професор, завідувач кафедри геотехніки
та підземних споруд.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
Зоценко Микола Леонідович,
Полтавський національний технічний
університет імені Юрія Кондратюка
Міністерства освіти і науки України,
професор кафедри організації
і технології будівництва та охорони праці.

кандидат технічних наук, доцент
Митинський Василь Михайлович,
Одеська державна академія будівництва
та архітектури Міністерства освіти і науки
України,
завідувач кафедри основ і фундаментів.

Захист відбудеться 19 листопада 2019 р. о 11⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 41.085.03 при Одеській державній академії будівництва та архітектури, за адресою: 65029, м. Одеса, вул. Дідріхсона, 4.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Одеської державної академії будівництва та архітектури за адресою: 65029, м. Одеса, вул. Дідріхсона, 4 та на сайті: <http://odaba.edu.ua/science/specialized-scientific-council-d-41.085.03/on-the-defense-of-theses-d-41.085.03>

Автореферат розіслано 18 жовтня 2019 р.

Вчений секретар спеціалізованої
вченої ради Д 41.085.03
канд. техн. наук, доцент



В.І. Данелюк

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми дослідження. 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.

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 раза за рахунок зміни напружено-деформованого стану з плоского в просторовий, що було введено ще в радянський нормативний документ «СНиП 2.02.01-83*. Основа здания и сооружений». Удосконалення й дослідження конструкцій умовно стрічкових (протяжних) фундаментів активно триває до теперішнього часу, про що свідчать останні дисертаційні роботи за кордоном.

Тому розробка нових ефективних конструктивних рішень стрічкових фундаментів, експериментально-теоретичні дослідження їх спільної роботи з ґрунтовими основами, а також удосконалення методик їх розрахунку й проектування є актуальним напрямом у механіці ґрунтів та фундаментобудуванні.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційні дослідження проведені в межах виконання науково-дослідних робіт кафедри геотехніки та підземних споруд ХНУБА за темами: «Складні інженерно-геологічні умови та їх урахування при проектуванні основ і фундаментів» (№ ГР 0113U001550, 2010-2012 рр.), «Проектування і розрахунок основ і фундаментів будівель і споруд з урахуванням особливостей інженерно-геологічних умов» (№ ГР 0114U004761, 2013-2015 рр.), і «Проектування й розрахунок системи «основа – фундамент – споруда» з урахуванням особливостей інженерно-геологічних і геотехнічних умов» (2016-2018 рр.) та госпдоговірної теми «Дослідження взаємодії моделей фундаментів з вирізами по підшві з ґрунтовою основою в польових умовах» (№ ГР 0114U001278, 2014 р.).

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є розробка ефективної конструкції стрічкового фундаменту з повздовжнім вирізом по підшві й удосконалення відповідних методик розрахунку.

Для досягнення поставленої мети були сформульовані й вирішені такі основні завдання досліджень:

– проаналізувати існуючі конструкції умовно стрічкових (протяжних) фундаментів, методи й методики їх розрахунку спільно з ґрунтовими основами;

- розробити й запатентувати ефективну конструкцію стрічкового фундаменту з повздовжнім вирізом по підшві, а також методику визначення її основних параметрів;
- провести дослідження напруженого стану основи при взаємодії з фундаментами з повздовжнім вирізом по підшві;
- удосконалити методики визначення розрахункового опору R й осідань s ґрунтових основ фундаментів з повздовжнім вирізом по підшві;
- провести польові експериментальні дослідження взаємодії ґрунтової основи з повномасштабними моделями центрально навантажених фундаментів з вирізом по підшві й порівняти з результатами теоретичних рішень;
- розробити алгоритм і комп'ютерну програму для розрахунку стрічкових фундаментів з повздовжнім вирізом по підшві;
- провести апробацію й впровадження результатів дисертаційних досліджень в проектну практику та навчальний процес вищого навчального закладу.

Наукова гіпотеза – вперше пропонується розглянути взаємодію ґрунтової основи зі стрічковим фундаментом з повздовжнім вирізом по підшві, що заповнений низькомодульним матеріалом.

Об'єкт дослідження – взаємодія з ґрунтовою основою стрічкових фундаментів з повздовжнім вирізом по підшві.

Предмет дослідження – напружено-деформований стан ґрунтової основи фундаментів з повздовжнім вирізом по підшві й визначення їх раціональних параметрів.

Методи дослідження: аналіз нормативних та літературних джерел, науково-технічних досягнень; аналітичні методи розв'язання задач механіки ґрунтів із застосуванням теорій пружності та пластичності; метод прямого експерименту.

Достовірність результатів досліджень забезпечена за рахунок використання стандартних припущень і підтверджена порівнянням результатів теоретичних й експериментальних досліджень, розбіжність яких знаходиться в межах 10%. Засоби вимірювальної техніки повірені в установленому порядку, а метрологічне забезпечення відповідає Закону України «Про метрологію та метрологічну діяльність».

Наукова новизна отриманих результатів:

- уперше аналітично вирішена задача розподілу стискаючих напруг в основі центрально навантажених фундаментів з повздовжнім вирізом по підшві, що дозволяє визначати осідання фундаментів нормативним методом пошарового підсумовування;
- уперше отримана теоретична залежність розвитку зон пластичних деформацій в основі стрічкового фундаменту з повздовжнім вирізом по підшві на основі змішаної задачі теорій пружності та пластичності для визначення розрахункового опору основи;
- уперше теоретично доведено, що розрахунковий опір ґрунтової основи стрічкового фундаменту завширшки $B=2b+a$ з повздовжнім вирізом по підшві

величиною a до 70% більший, ніж традиційного суцільного стрічкового фундаменту завширшки $B=2b$ при інших рівних умовах та критеріях;

– уперше отримані залежності осідань основи центрально навантажених повномасштабних фундаментів з повздовжнім вирізом по підосві в польових умовах.

Практичне значення отриманих результатів:

– розроблена та запатентована конструкція стрічкового фундаменту з повздовжнім вирізом по підосві, що здатна підвищити допустимий тиск на ґрунтову основу до 70% в порівнянні з традиційним суцільним стрічковим фундаментом;

– удосконалена методика визначення розрахункового опору ґрунту основи стрічкового фундаменту з повздовжнім вирізом по підосві;

– удосконалена методика визначення осідань фундаментів з повздовжнім вирізом по підосві, що обчислюються за допомогою нормативного методу шарового підсумовування;

– розроблена комп'ютерна програма «Стрічковий фундамент з вирізом» для автоматизації розрахунків та вибору раціональних параметрів фундаментів при прийнятих нормативних обмеженнях.

Результати дисертаційних досліджень упроваджені в проектних організаціях м. Харкова: ПрАТ «Трест Житлобуд-1» (м. Харків); ТОВ «Транс Строй Комплекс» (м. Харків), а також використані в навчальному процесі при вивченні студентами будівельного факультету ХНУБА дисципліни «Геотехнічний супровід будівництва та реконструкції», про що свідчать відповідні акти та довідки.

Особистий внесок здобувача у роботах, що опубліковані у співавторстві:

- розрахунки та побудова зон граничної рівноваги методом горизонтальних перерізів та їх аналіз [1];

- розробка конструкції стрічкового фундаменту з повздовжнім вирізом по підосві [2, 9];

- розробка алгоритму розрахунку стискуючих напруг методом кутових точок, отримання результатів та їх аналіз [3];

- моделювання системи «основа – фундамент – споруда» та дослідження методом скінчених елементів напружено-деформованого стану системи за допомогою різних програмних комплексів [4, 8];

- аналіз раціональних конструктивних рішень протяжних фундаментів [5];

- проведення польових випробувань центрально навантажених фундаментів з повздовжнім вирізом по підосві, обробка результатів і порівняння отриманих даних з теоретичними [6, 7].

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертаційної роботи доповідалися, обговорювалися й отримали позитивну оцінку на щорічних науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу Харківського національного університету будівництва та архітектури

(м. Харків, 2011-2018 рр.), на Всеукраїнському науково-практичному семінарі за участі іноземних фахівців «Сучасні проблеми геотехніки» (м. Полтава, 2012 р.), на Дев'ятій всеукраїнській науково-технічній конференції „Механіка ґрунтів, геотехніка та фундаментобудування” (м. Дніпро, 2016 р.), на VI міжнародній науковій конференції «Ресурс і безпека експлуатації конструкцій, будівель і споруд» (м. Харків, 2013 р.), на Міжнародній науково-практичній конференції «Ефективні організаційно-технологічні рішення та енергозберігаючі технології в будівництві» (м. Харків, 2014 р.), на Міжнародній науковій конференції «Взаємодія основ і споруд. Підземні споруди та підпірні стіни» (м. Санкт-Петербург, 2014 р.), на Міжнародній науково-практичній конференції «GEOTECHNICS – XXI» (присвячена 120-річчю з дня народження професора Є.В. Платонова) (м. Полтава, 2017 р.); на Десятій всеукраїнській науково-технічній конференції з іноземною участю «Механіка ґрунтів, геотехніка та фундаментобудування» (м. Полтава, 2018 р.).

Публікації. Основні положення, результати та висновки дисертаційної роботи відображені в 9 друкованих працях, а саме: 5 наукових статей у періодичних фахових виданнях України (з них 2 – у виданнях, що включені до міжнародної наукометричної бази Index Copernicus); 1 патент України на винахід; 3 праці апробаційного характеру.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, 4 розділів, загальних висновків, списку використаних джерел з 148 найменувань, серед яких 6 англійською мовою. Загальний обсяг дисертації – 165 сторінок. Дисертація містить 60 рисунків, 9 таблиць та 4 додатки на 16 сторінках. Структуру дисертаційних досліджень наведено на рис. 1.



Рисунок 1 – Структурно-логічна схема дисертаційної роботи

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** викладено актуальність теми, зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, сформульовано мету й завдання досліджень; визначено об'єкт, предмет та методи досліджень. Наведено наукову новизну отриманих результатів і їх практичне значення. Також наведено дані про публікації й апробацію роботи, особистий внесок автора; визначено структуру та обсяг дисертації.

Перший розділ присвячений оцінці сучасного стану об'єкту дослідження та його розвитку, проаналізовані нормативні документи, науково-технічні джерела та патенти, в яких відображено наукові розробки багатьох нижчеперерахованих учених, які вивчали взаємодію з ґрунтовою основою нестандартних фундаментів: умовно стрічкових чи протяжних. Цей розділ містить обширний аналіз конструктивних рішень протяжних фундаментів та особливості методик їх розрахунку.

У НДІ основ і підземних споруд ім. Н.М. Герсєванова була зроблена перша спроба змінити традиційний спосіб передачі навантаження таким чином, щоб умови роботи фундаменту й самої основи суттєво покращилися. Цей принцип був реалізований в 1954 р. під керівництвом Є.А. Сорочана при розробці переривчастих збірних стрічкових фундаментів, які були вперше застосовані в Ізмайловому (Москва).

Експериментально-теоретичним дослідженням взаємодії протяжних (умовно стрічкових, переривчастих, шпальних, поруч розташованих та ін.), розробці методик розрахунку і проектування таких нетрадиційних фундаментів, а також оптимізації фундаментних конструкцій в цілому присвятили свої роботи ряд дослідників: Є.А. Сорочан, М. І. Фідаров, П.С. Пойта, Р.А. Мангушев, А.В. Пилягін, І.Я. Лучковський, В.П. Єрмашов, Е.Д. Лівшиц, Ф.І. Лялін, Е.В. Нейбург, А.Ф. Разорьонов, В.І. Соломін, В.А. Таршиш, В.М. Алексєєв, Аншин Л.З., Б.Ю. Барикін, Е.Ф. Винокуров, Р.І. Фурунжієв, Г.М. Скибін, С.І. Євтушенко, В.К. Панков, Д.Н. Архипов, Т.А. Крахмальний, Ю.Ф. Тугаєнко, О.В. Самородов, В.П. Диба, А.З. Абуханов, М.С. Грицук, В.Ю. Ігнатюк та багато інших. Деякі результати досліджень вже давно знайшли відображення в нормах проектування.

Разом з тим, у першому розділі відмічається, що існуючі конструкції протяжних фундаментів не вичерпують усіх можливих форм підосви таких фундаментів 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 є розрахунок за другою групою граничних станів з визначенням розрахункового опору ґрунту.

На підставі проведеного комплексного аналізу визначено об'єкт й предмет дослідження, сформульовано мету й завдання дисертаційної роботи.

Другий розділ присвячено дослідженню напруженого стану основи стрічкового фундаменту з повздовжнім вирізом по підосві.

Розглянуто стрічковий фундамент завширшки $B=2b$ і повздовжнім вирізом по підшві $2a$ (рис. 2), до якого прикладена сила N . Тиск (опір) p по підшві фундаменту умовно прийнято рівномірно розподіленим.

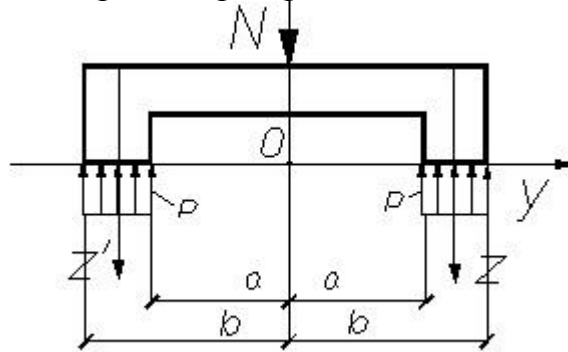


Рисунок 2 – Схема взаємодії стрічкового фундаменту з повздовжнім вирізом по підшві з пружною напівплощиною

Для встановлення закономірностей розподілу відносних вертикальних напруг $\bar{\sigma}_z$ у напівплощині від таких конструкцій фундаментів використано рішення В.Г. Короткіна для умов плоскої деформації:

$$\bar{\sigma}_z = \frac{\sigma_z}{p} = \frac{1}{\pi} \left[\left(\arctg \frac{1-\bar{y}}{\bar{z}} + \arctg \frac{1+\bar{y}}{\bar{z}} \right) - 2\bar{z} \cdot \frac{\bar{y}^2 - \bar{z}^2 - 1}{(\bar{y}^2 + \bar{z}^2 - 1)^2 + 4\bar{z}^2} \right], \quad (1)$$

де p – інтенсивність зовнішнього рівномірно розподіленого навантаження, кПа;

$$\bar{y} = \frac{a}{b}; \quad \bar{z} = \frac{z}{b},$$

що дозволяє визначати відносні напруги $\bar{\sigma}_z$ на різних відносних глибинах $\bar{z} = z/b$ уздовж осі y стрічкового фундаменту з повздовжнім вирізом при різних співвідношеннях сторони вирізу до ширини фундаменту $\eta = a/b$.

Для визначення напруженого стану основи фундаменту запропонована нумерація точок уздовж осі y (див. рис. 3), в яких по глибині знайдені відносні вертикальні напруги $\bar{\sigma}_z$.

У якості прикладу, на рис. 4-5 наведено графіки відносних напруг $\bar{\sigma}_z$ на різних відносних глибинах $\bar{z} = z/b$ (0,05; 0,125; 0,25; 0,5; 0,75; 1; 1,25; 2,5) уздовж осі y стрічкового фундаменту з повздовжнім вирізом при різних співвідношеннях η .

На рис. 6 надані графіки функції $\bar{\sigma}(\bar{z}, \bar{y})$ в точках напівплощини, що знаходяться на вертикалях, які проходять на різних відстанях $\bar{y} = y/b$ від центру стрічкового фундаменту з вирізом. Вертикальні лінії проходять як через внутрішню зону при $0 \leq \bar{y} < 1$, так і поза зоною завантаження (при $\bar{y} > 1$).

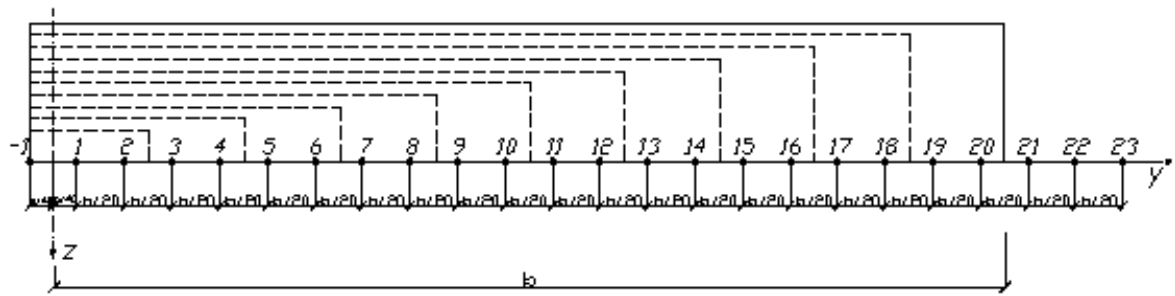


Рисунок 3 – Нумерація точок поверхні вздовж осі у правій частини фундаменту

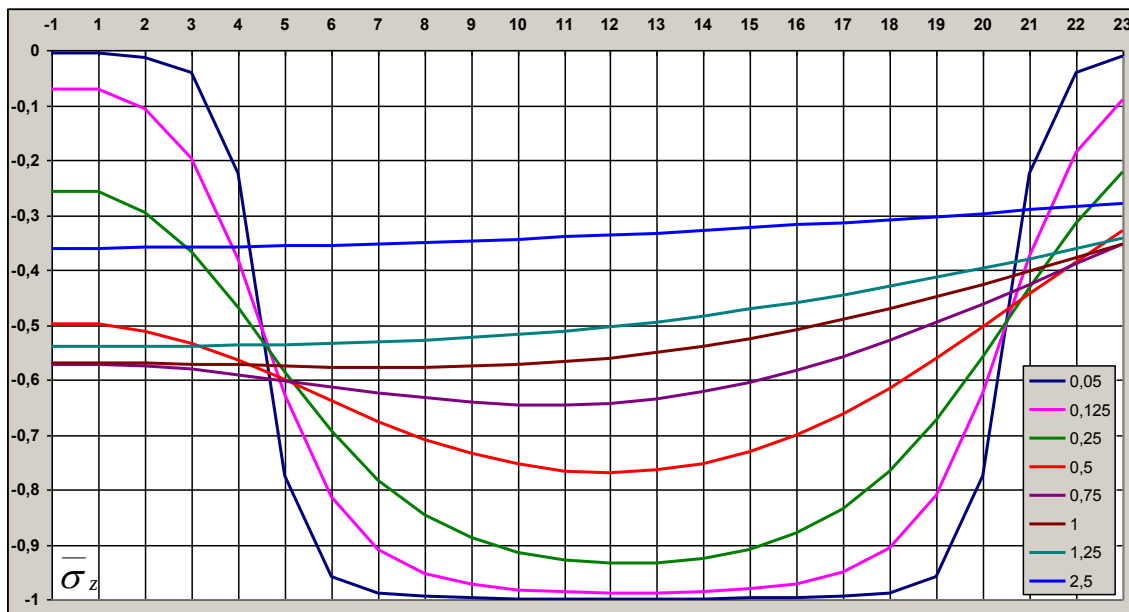


Рисунок 4 – Графіки відносних вертикальних напруг $\bar{\sigma}_z$ при $\eta=0,2$

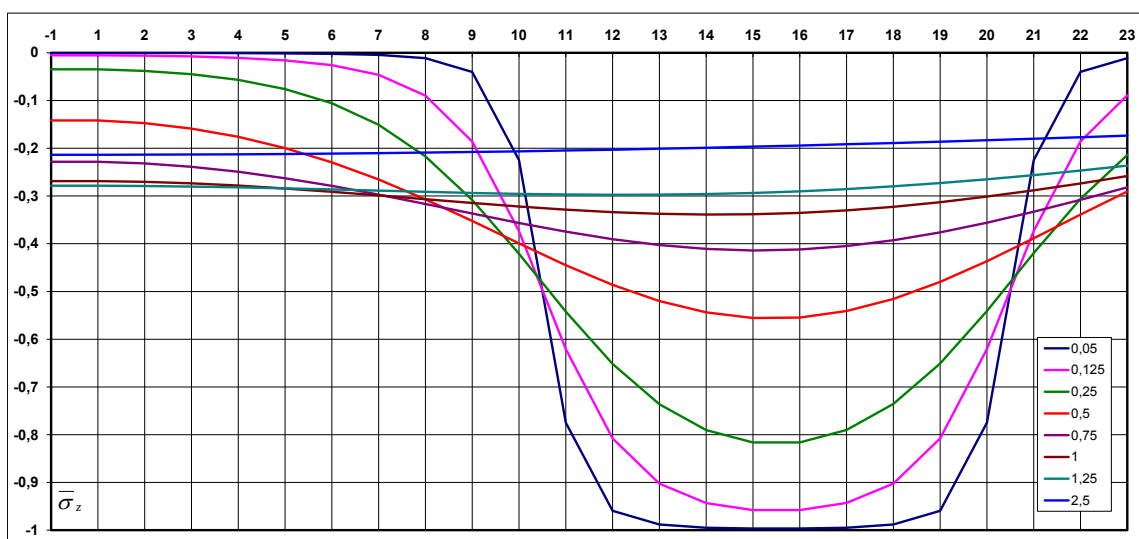


Рисунок 5 – Графіки відносних вертикальних напруг $\bar{\sigma}_z$ при $\eta=0,5$

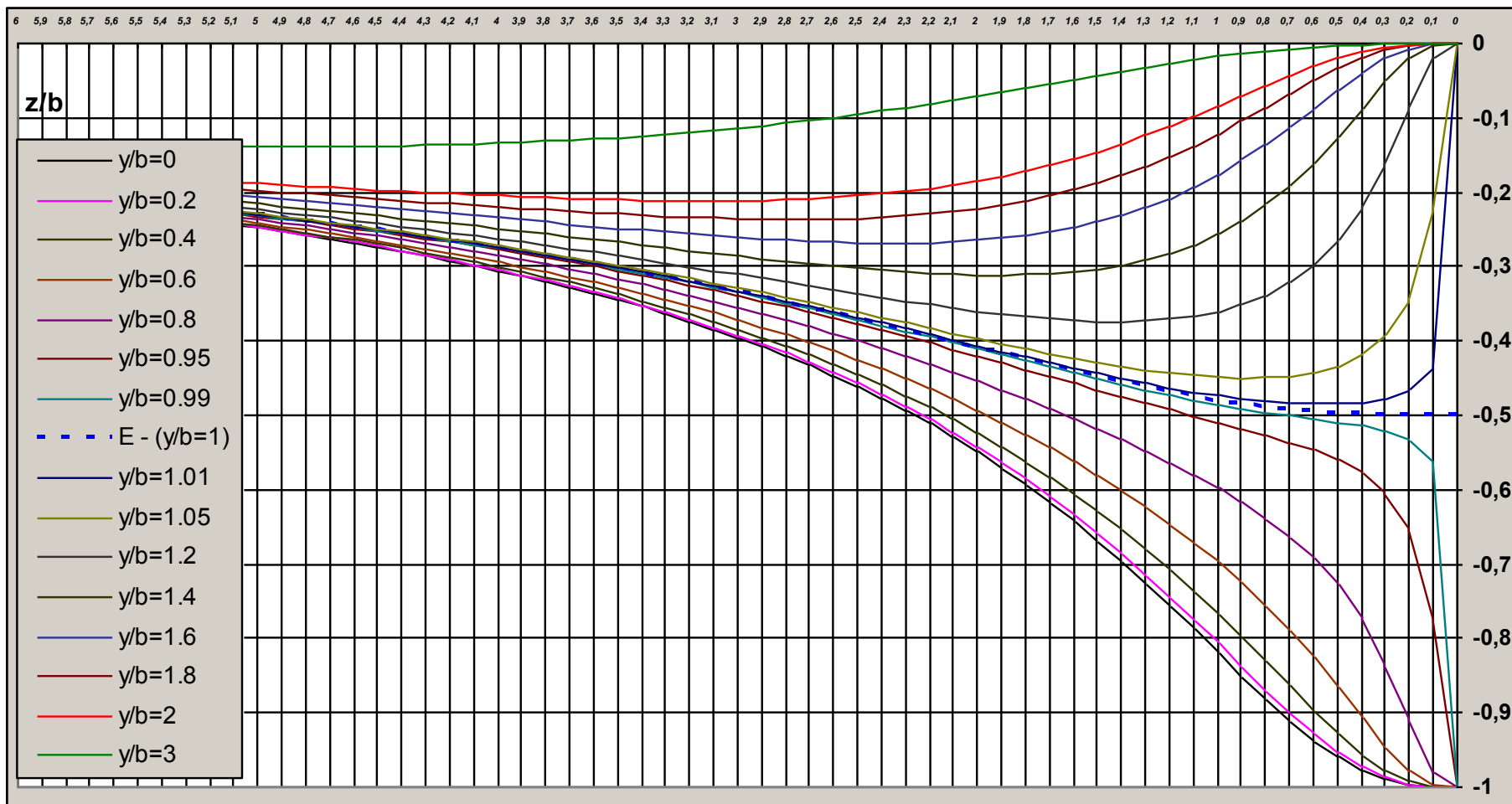


Рисунок 6 – Графік зміни відносної напруги $\bar{\sigma}_z$ для фундаменту з вирізом
($y/b=0$ – нижня крива; $y/b=3$ – верхня крива)

У роботі для практичного застосування в табличній і графічній формах наводяться значення відносних стискаючих напруг уздовж різних осей стрічкового і окремо розташованого фундаментів з повздовжнім вирізом по підшві для визначення осідань нормативним методом пошарового підсумовування.

Третій розділ присвячено дослідженню впливу величини вирізу на розрахунковий опір основи стрічкового фундаменту з повздовжнім вирізом по підшві та розробці методик визначення розрахункового опору ґрунту такого фундаменту та його раціональних параметрів.

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. 7), яка складається з фундаментної частини 1 завширшки $(2b+a)$ і вирізу 2 завширшки a й заввишки Δ , який заповнюється низькомодульним матеріалом 3, наприклад, пінопластом.

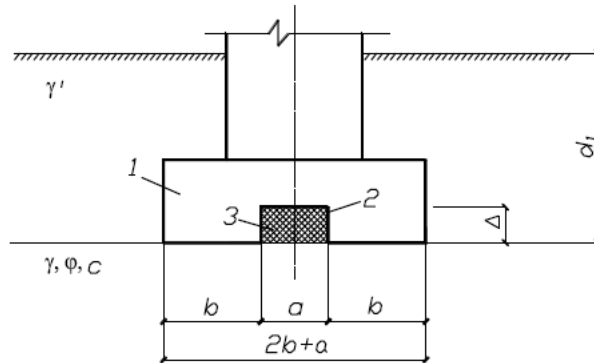


Рисунок 7 – Стрічковий фундамент з повздовжнім вирізом по підшві, що заповнений низькомодульним матеріалом

У цьому випадку пропонується розглянути розрахункову схему взаємодії фундаменту з ґрунтовою основою, яка представлена на рис. 8, де в межах ширини вирізу a при навантаженні фундаменту передається тиск, що дорівнює величині побутового тиску $\gamma' d_1$ за межами фундаменту.

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

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

де s – прогнозоване осідання фундаменту, м;

Δ – висота вирізу, м;

γ' – питома вага ґрунту вище підшви фундаменту, кН/м^3 ;

d_1 – глибина закладення фундаменту, м,

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

$$\Delta = \frac{E_{\text{вкл}}}{\gamma' d_1} s. \quad (3)$$

При розрахунку основ фундаментів будівель і споруд за деформаціями розрахунковий опір ґрунту R без підвищуючих нормативних коефіцієнтів приймається рівним середньому тиску p , що відповідає розвитку зон граничної рівноваги (пластичних зон) під краями стрічкового фундаменту на глибину $z=0,25b$ (де b – ширина фундаменту). При цьому ґрунт прийнято розглядати як лінійно-деформоване середовище. Однак, це припущення не справджується при $\varphi < 14^\circ$ (малих кутах внутрішнього тертя) через те, що зони руйнування «заходять» під контур фундаменту більш ніж наполовину його ширини. У зв'язку з чим у роботі для визначення розрахункового опору основи фундаменту використано підхід М.М. Маслова: умова розташування нижньої межі зони зсуву z на вертикалі обрізу фундаменту, тобто при $z=b \cdot \operatorname{tg} \varphi$ (рис. 8).

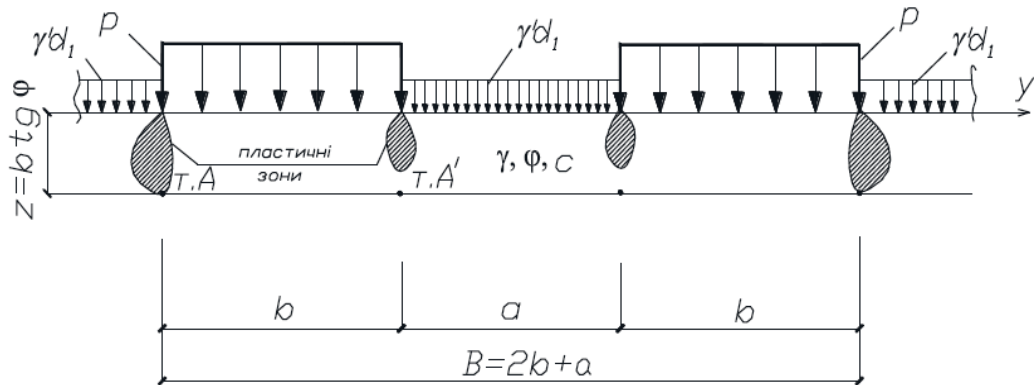


Рисунок 8 – Схема до визначення розрахункового опору ґрунту R стрічкового фундаменту з повздовжнім вирізом по підшві

Виходячи зі змішаної задачі теорій пружності та пластичності (плоска деформація), у третьому розділі проведені аналітичні дослідження розвитку пластичних зон в основі фундаменту, які показують, що граничний стан завжди виникає раніше в точках A (див. рис. 8), тобто під зовнішніми краями фундаменту. При цьому, відносний допустимий тиск на основу $\bar{R}$ можна навести у зручному для аналізу вигляді:

$$\bar{R} = k_d = \frac{R}{\gamma' d_1} = F(1 + \bar{b} \operatorname{tg} \varphi + \bar{c} \operatorname{ctg} \varphi) + 1, \quad (4)$$

$$\text{де } \bar{b} = b / d_1; \quad \bar{c} = c / \gamma' d_1; \quad \gamma = \gamma'; \quad F = \frac{\pi}{\sqrt{T} - \sigma_1 \sin \varphi}; \quad T = \left(\frac{1}{2} \sin 2\varphi - \sigma_2 \right)^2 + (\cos^2 \varphi + \tau)^2;$$

$$\sigma_1 = \left(\frac{\pi}{2} - \varphi \right) + \operatorname{arctg} \frac{\bar{a} + 2}{\operatorname{tg} \varphi} - \operatorname{arctg} \frac{\bar{a} + 1}{\operatorname{tg} \varphi}; \quad \sigma_2 = \left[\frac{\bar{a} + 1}{(\bar{a} + 1)^2 + \operatorname{tg}^2 \varphi} - \frac{\bar{a} + 2}{(\bar{a} + 2)^2 + \operatorname{tg}^2 \varphi} \right] \operatorname{tg} \varphi;$$

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

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.

Згідно формулі (4) при $\bar{a} = a/b \rightarrow \infty$ матимо вираз $\bar{R}_0$ для одиночного фундаменту завширшки b (рішення М.М. Маслова), а при $\bar{a} = a/b \rightarrow 0$ – для суцільного фундаменту завширшки $2b$.

Використовуючи вираз (4), побудуємо графіки функцій $R/R_0(a/b)$ (див. рис. 8) в залежності від зміни кута внутрішнього тертя $\varphi = 20^\circ \div 45^\circ$, приймаючи: $b = d_1 = 1$; $\gamma = \gamma' = 18 \text{ кН/м}^3$; $c = 0$.

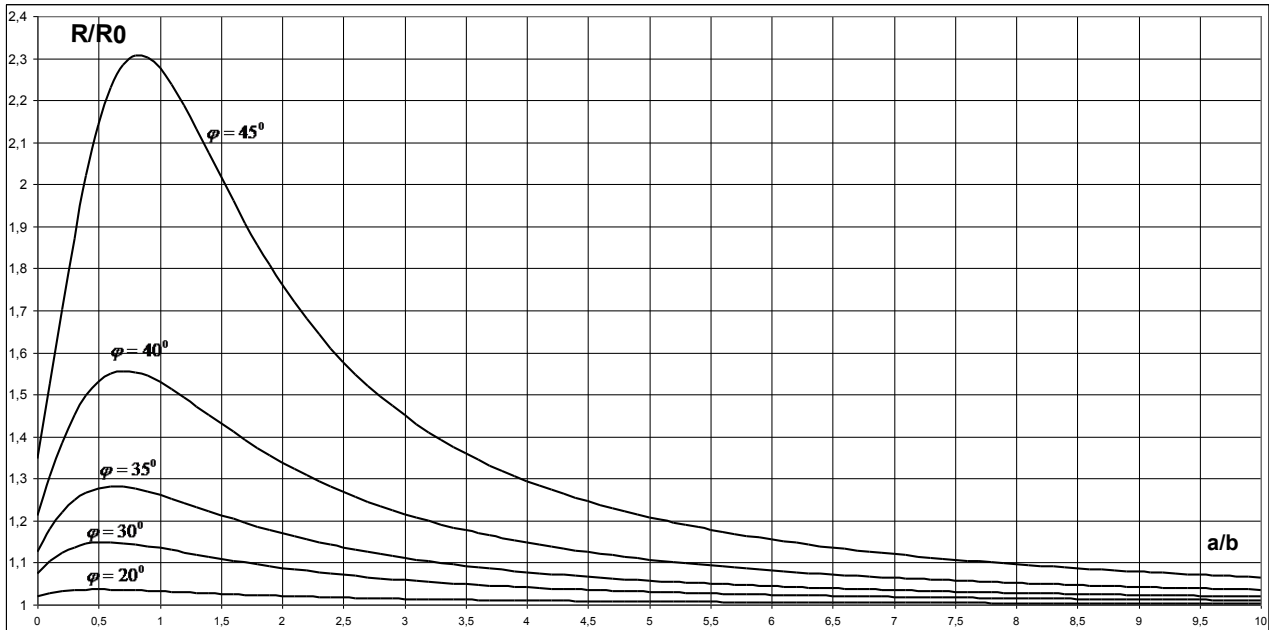


Рисунок 9 – Графіки залежностей R/R_0 від a/b

З графіків рис. 9 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 (5).

У випадках же дії на стрічкові фундаменти значних моментних навантажень M , наприклад, на фундаменти масивних підпірних стін (див. рис. 10), можуть застосовуватися запропоновані І.Я. Лучковським та О.В. Самородовим формули для визначення раціональних геометричних параметрів підосви таких фундаментів при заданих зусиллях N і M та відповідному розрахунковому опору ґрунту R_{2b+a} (див. формулу (5)).

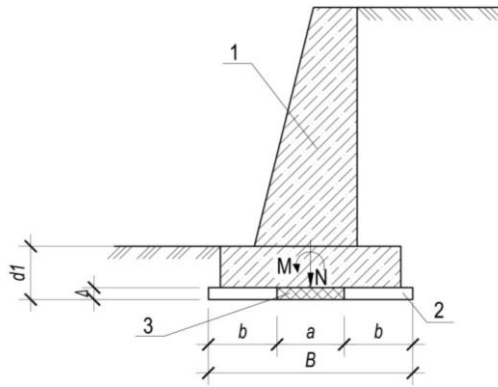


Рисунок 10 – Фундамент масивної підпірної стіни з повздовжнім вирізом по підшві (виріз представлено як вкладка з низькомодульного матеріалу в бетонній підготовці для технологічної зручності улаштування)

Розрахунковий опір основи стрічкового фундаменту з повздовжнім вирізом по підшві пропонується визначати за аналогію з переривчастим фундаментом згідно норм рівним:

$$R_{2b+a} = R_b \cdot k_d, \quad (5)$$

де $R_b(R_0)$ – розрахунковий опір ґрунту основи фундаменту завширшки b , що визначається за нормативною формулою ДБН 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. 9 чи за формулою (4).

Також у третьому розділі для автоматизації ітераційного процесу визначення основних параметрів стрічкових фундаментів з вирізами по підшві згідно запропонованому алгоритму розроблена комп'ютерна програма «Стрічковий фундамент з вирізом», яка дозволяє визначити раціональні параметри підшви згідно чинних нормативних вимог ДБН. Комп'ютерна програма розрахунку «Стрічковий фундамент з вирізом» написана об'єктно-орієнтованою мовою програмування Delfi у середовищі візуального програмування Embarcadero Delphi XE, яка сумісна з операційною системою Windows. Для впровадження результатів досліджень на реальному об'єкті будівництва згідно запропонованому алгоритму розрахунку та норм проектування проведені порівняльні розрахунки варіантів стрічкового фундаменту підпірної стінки: суцільного та з повздовжнім вирізом по підшві, які показали, що ширина фундаменту з вирізом менша на 1,5м у порівнянні з фундаментом із суцільною підшовою, що має суттєвий економічний ефект на кожному погонному метрі стрічкового фундаменту підпірної стіни.

Четвертий розділ присвячено випробуванню повномасштабних моделей вертикально навантажених фундаментів із центральним вирізом по підшві в польових умовах і порівнянню з результатами теоретичних досліджень.

У польових умовах випробувувалися три повномасштабні моделі фундаментів загальними габаритами в плані $B \times l = 2,0\text{м} \times 1,0\text{м}$ на центральні навантаження (див. рис. 11):

- фундамент №1 – фундамент із суцільною підшовою, де $a/B=0$;
- фундамент №2 – фундамент з вирізом a по підшві при співвідношенні величини вирізу до загальної довжини підшови $B=2b+a$, що дорівнює $a/B=0,3$;
- фундамент №3 – фундамент з вирізом a по підшві при співвідношенні величини вирізу a до загальної довжини підшови $B=2b+a$, що дорівнює $a/B=0,7$.

На рис. 11 представлена розрахункова схема взаємодії центрально навантажених моделей фундаментів з ґрунтовою основою, при цьому розрахункові характеристики приймалися для природного стану ґрунту.

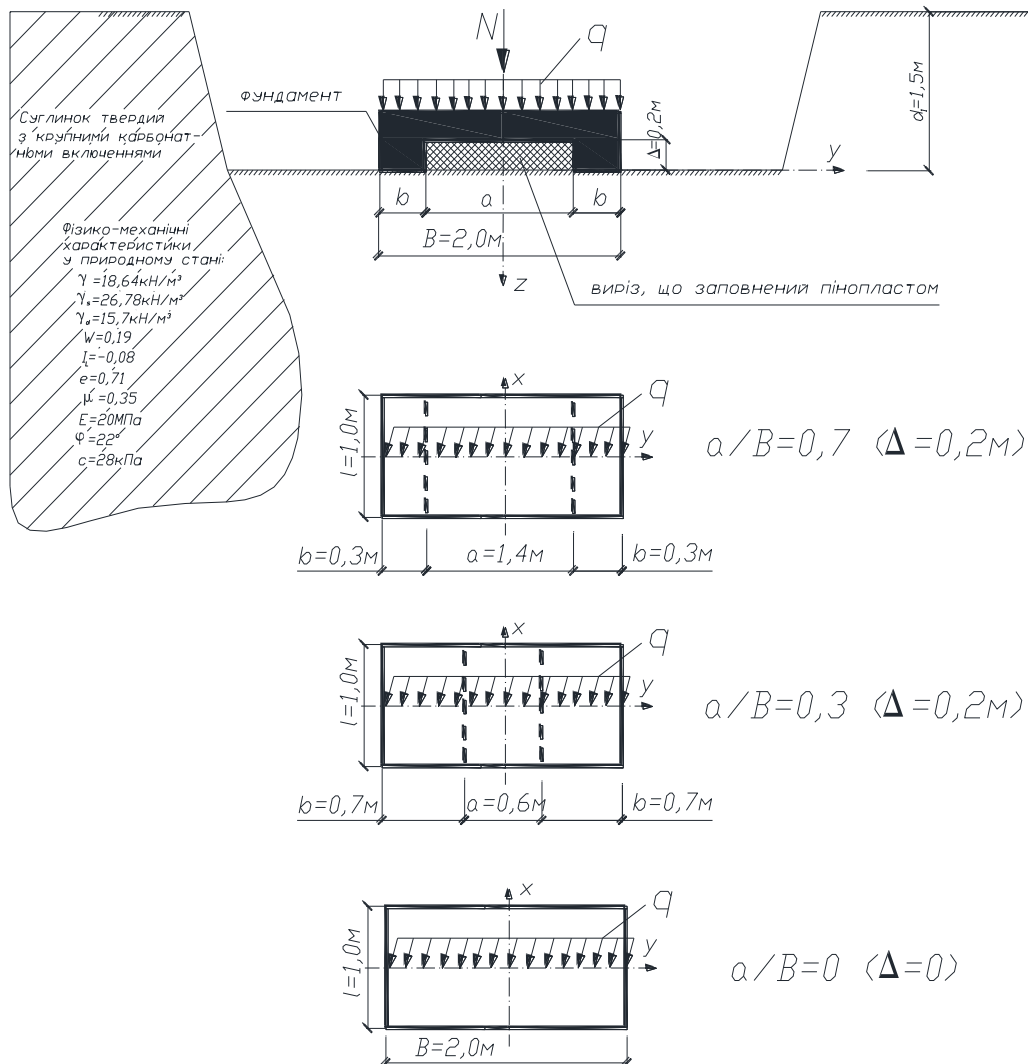


Рисунок 11 – Схема взаємодії центрально навантажених фундаментів з ґрунтовою основою

Фундаменти з вирізами мали заповнення зони вирізу пінопластом, що мало на меті при осіданнях с фундаменту довантаження ділянки ґрунту у зоні вирізу згідно з прийнятою розрахунковою схемою взаємодії фундаментів з вирізом (див. рис. 8) для підвищення розрахункового опору основи R відповідно до теоретичних досліджень.

Завантаженість центральними навантаженнями конструкцій здійснювалася статично, з поступовим підвищенням робочого тиску в

домкратах і його постійній підтримці до умовної стабілізації вертикальних переміщень (осідань) фундаментів. Навантаження q передавалося рівномірно вздовж сторони B (рис. 11). Вертикальні переміщення фундаментів вимірювалися в чотирьох кутових точках за допомогою встановлених на реперну систему прогиномірів типу 6ПАО.

На рис. 12-13 представлені фотографії експериментальних досліджень, а на рис. 14-15 – графічні результати випробувань.



Рисунок 12 – Фундамент з вирізом по підшві ($a/B=0,7$)



Рисунок 13 – Загальний вигляд процесу випробувань

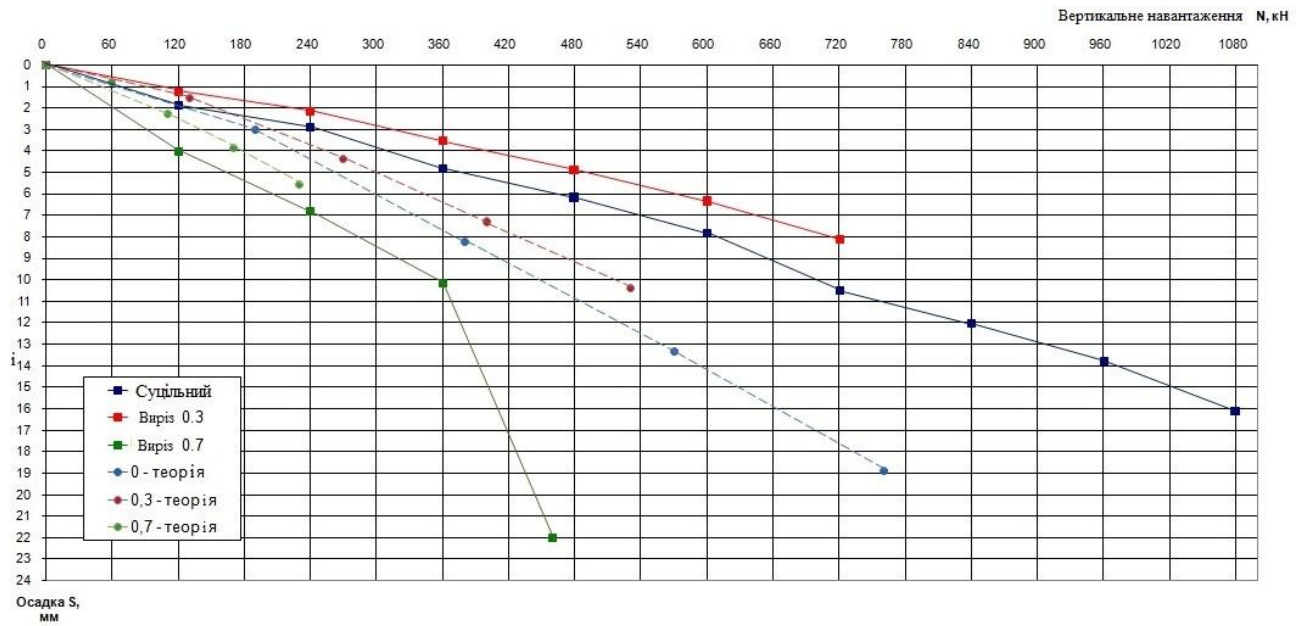


Рисунок 14 – Порівняння графіків експериментальних і теоретичних осідань s основи фундаментів від вертикальної сили N

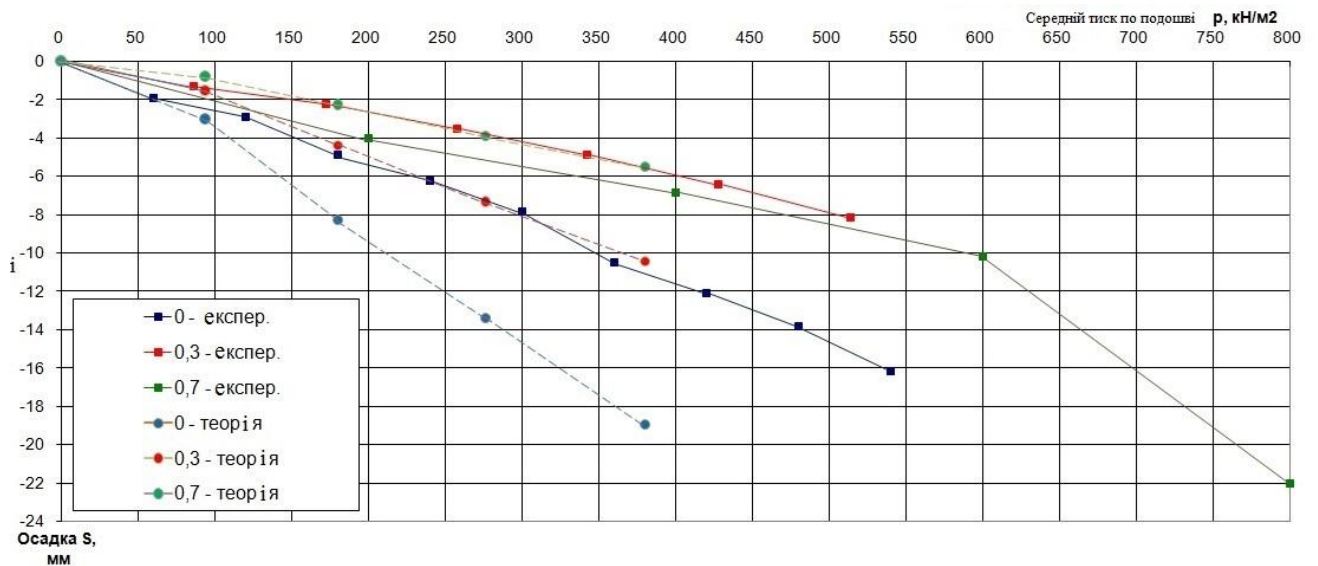


Рисунок 15 – Порівняння графіків експериментальних і теоретичних осідань s основи фундаментів від середнього тиску по підшві p

На рис. 14 бачимо, що при однаковій експериментальній вертикальній силі N , але більших тисках по підшві p фундаментів з вирізом, осідання s залишаються практично рівними для фундаменту із суцільною підшвою і з відносним вирізом $a/B=0,3$, але при збільшенні співвідношення розмірів підшви $a/B=0,7$ осідання починають зростати. Такий же характер зберігається при теоретичному визначенні осідань, тобто зі збільшенням вирізу спочатку осідання незначно зменшуються, а потім починають зростати в порівнянні з фундаментом із суцільною підшвою, що було теоретично показано різними вченими-геотехніками, де ефект сталості осідань при збільшенні вирізу залишається до співвідношення $a/B=0,6$.

З рис. 15 видно, що: по-перше, умовно лінійна ділянка деформації для всіх експериментальних фундаментів не обмежується нормативним розрахунковим опором $R=380\text{кН/м}^2$, а має «продовження» до тиску $p\approx 600\text{кН/м}^2$, що більш ніж в 1,5 раза перевищує допустимий нормативний тиск; по-друге, осідання фундаментів із вирізами практично в 2 рази менші за осідання фундаменту із суцільною підшоною при рівних тисках p , що підтверджується й теоретичними розрахунками.

Однак, порівняння графіків теоретичних й експериментальних осідань, що представлені на рис. 15, показує, що для фундаментів із суцільною підшоною і незначним вирізом ($a/B=0,3$) осідання, обчислені методом пошарового підсумовування з умовним обмеженням стисливої товщі завищені, а для фундаменту з вирізом по підшіві ($a/B=0,7$) практично збігаються. Це пов'язано, головним чином, з призначенням модуля деформації ґрунту основи, який залежить від площі фундаменту, що не враховується у сучасних нормах. Однак, експериментальні результати підтверджують адекватність застосування удосконалених методик визначення осідань фундаментів з центральним вирізом по підшіві.

ВИСНОВКИ

Проведені в дисертаційній роботі дослідження вирішують актуальну науково-прикладну задачу по розробці ефективної конструкції стрічкового фундаменту з повздовжнім вирізом по підшіві й удосконалення відповідних методик розрахунку. Отримані в роботі рішення ґрунтуються на загальноприйнятих теоретичних положеннях й узгоджуються з результатами натурних випробувань, що свідчить про достовірність результатів дисертаційної роботи і дозволяє зробити наступні висновки:

1. Аналітичний огляд експериментально-теоретичних робіт, а також нормативних положень, свідчить про активне вдосконалення й дослідження конструкцій умовно стрічкових (протяжних) фундаментів, при цьому для кожної окремої конструкції відсутнє рішення комплексної задачі науково-обґрунтованого підвищення допустимого тиску на ґрунтову основу й визначення її осідань.

2. Розроблена та запатентована конструкція стрічкового фундаменту з повздовжнім вирізом по підшіві, який заповнений низькомодульним матеріалом, що здатна підвищити розрахунковий опір ґрунту основи стрічкового фундаменту завширшки $B=2b+a$ з повздовжнім вирізом по підшіві величиною a до 70% в порівнянні з традиційним суцільним стрічковим фундаментом завширшки $B=2b$ при інших рівних умовах і критеріях.

3. Аналітично отримано рішення розподілу стискаючих напруг в основі центрально навантажених фундаментів з повздовжнім вирізом по підшіві, використання якого уможливорює визначення осідань фундаментів нормативним методом пошарового підсумовування.

4. Теоретично визначена максимальна глибина розвитку зон пластичних деформацій в основі стрічкових фундаментів з повздовжнім вирізом по підшві на основі змішаної задачі теорій пружності та пластичності, що дозволяє обґрунтовано призначати розрахунковий опір ґрунту основи таких фундаментів.

5. У польових умовах проведені випробування повномасштабних моделей центрально навантажених фундаментів з вирізом по підшві, при цьому отримані залежності осідань основи від навантажень на фундаменти, що підтверджують результати теоретичних рішень.

6. На основі аналітичних рішень та натурних експериментів удосконалено методики визначення розрахункового опору ґрунту основи стрічкових фундаментів з повздовжнім вирізом по підшві та їх осідань, а також розроблена комп'ютерна програма «Стрічковий фундамент з вирізом» для автоматизації розрахунків та вибору раціональних параметрів фундаментів при прийнятих нормативних обмеженнях.

7. Результати дисертаційних досліджень впроваджені в ряді проектних організацій м. Харкова для розрахунку й проектування стрічкових фундаментів житлових будівель та масивних підпірних стін, а також у навчальний процес ХНУБА підготовки магістрів професійного спрямування «Промислове і цивільне будівництво» спеціальності «Будівництво та цивільна інженерія».

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації

Публікації у спеціалізованих виданнях України та у виданнях, включених до міжнародних наукометричних баз:

1. Лучковский И.Я. Определение границ «неустойчивых» зон в основании фундамента методом горизонтальных сечений / И.Я. Лучковский, А.В. Самородов, О.В. Кротов // Науковий вісник будівництва. – Вип. 61. – Харків: ХДТУБА, ХОТБ АБУ, 2010. – С. 135-140. Видання включено до Переліку наукових фахових видань України з технічних наук відповідно до бюлетню ВАК України та перереєстровано № 4, 1999.

Особистий внесок: розрахунки та побудова зон граничної рівноваги методом горизонтальних перетинів та їх аналіз.

2. Самородов А.В. Ленточный фундамент с продольным вырезом по подошве / А.В. Самородов, И.Я. Лучковский, О.В. Кротов // Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво). – Полтава: ПолтНТУ, 2012. – Вип. 4 (34). Т.2 – С. 198-201. Видання включено до Переліку наукових фахових видань України з технічних наук відповідно до Постанови президії ВАК України від 14.10.2009 № 1-05/4.

Особистий внесок: розробка конструкції стрічкового фундаменту з повздовжнім вирізом по підшві.

3. Самородов А.В. Напряженное состояние основания ленточного фундамента с продольным вырезом по подошве / А.В. Самородов,

И.В. Храпатова, О.В. Кротов // Науковий вісник будівництва. – Вип. 73. – Харків: ХНУБА, ХОТБ АБУ, 2013. – С. 542-548. Видання включено до Переліку наукових фахових видань України з технічних наук відповідно до Постанови президіуму ВАК України від 22.12.2010 № 1-05/8.

Особистий внесок: розробка алгоритму розрахунку стискуючих напруг методом кутових точок, отримання результатів та їх аналіз.

4. Khrapatoва I.V. The analysis of the SDC of the system “basement – pile foundation – structures” with account of swelling properties of soils / I.V. Khrapatoва, O.V. Krotov // Academic journal. Series: Industrial Machine Building, Civil Engineering. Poltava: Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University, 2017. – Issue. 2 (49) 2017. – Pp. 54-60. Видання включено до Переліку наукових фахових видань України з технічних наук відповідно до Наказу МОН України від 06.11.2014 № 1279. ISSN 2409-9074. Index Copernicus.

Особистий внесок: моделювання системи «основа – фундамент – споруда», дослідження методом скінченних елементів напружено-деформованного стану системи за допомогою програмного комплексу SCAD та аналіз результатів.

5. Samorodov O. Review of design solutions for nominally strip (continuous) foundations / O.V. Samorodov, I.V. Khrapatoва, O.V. Krotov, S.V. Tabachnikov // Academic Journal. Series: Industrial Machine Building, Civil Engineering / Poltava National Technical Y. Kondratyuk University. – Issue 2(51) 2018. – Pp. 108-114. Видання включено до Переліку наукових фахових видань України з технічних наук відповідно до Наказу МОН України від 06.11.2014 № 1279. ISSN 2409-9074. Index Copernicus.

Особистий внесок: аналіз існуючих конструкцій умовнострічкових (протяжних) фундаментів, які за рахунок своєї форми (конфігурації) контакту з основою дозволяють більш раціонально проектувати фундаменти протяжних конструкцій будівель і споруд.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

6. Самородов А.В. Экспериментально-теоретические исследования центрально нагруженных фундаментов с продольным вырезом по подошве / А.В. Самородов, А.В. Конюхов, О.В. Кротов, Н.В. Фурсенко, А.В. Убийвовк // Труды Международной конференции по геотехнике Технического комитета 207 ISSMGE «Взаимодействие оснований и сооружений. Подземные сооружения и подпорные стены», том 2, Санкт-Петербург, 16-18 июня 2014 г. – С. 74-81.

Особистий внесок: проведення польових випробувань центрально навантажених фундаментів з вирізами по підшві, обробка результатів та порівняння з теоретичними даними.

7. Самородов А.В. Полевые исследования взаимодействия фундаментов с вырезами по подошве с грунтовым основанием / А.В. Самородов, А.В. Конюхов, А.В. Убийвовк, О.В. Кротов, В.Б. Никулин // Матеріали

міжнародної науково-практичної конференції «Ефективні організаційно-технологічні рішення та енергозберігаючі технології в будівництві», Харків, 23-24 квітня 2014 р. – С. 69-70.

Особистий внесок: проведення польових випробувань центральних навантажених фундаментів з вирізами по підшві, обробка результатів та порівняння з теоретичними даними.

Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації

8. Самородов А.В. Анализ напряженно-деформированного состояния свайно-плитного фундамента многоэтажного здания с помощью программного комплекса SOFISTIK / А.В. Самородов, В.Б. Никулин, О.В. Кротов, И.В. Храпатова // Будівельні конструкції: Міжвідомчий науково-технічний збірник наукових праць (будівництво) / Державне підприємство «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій» Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. – Вип. 83: В 2-х кн.: Кн. 2. – Київ, ДП НДІБК, 2016. – С. 95-105. ISBN 978-617-676-102-0.

Особистий внесок: моделювання системи «основа – фундамент – споруда» та дослідження методом скінчених елементів напружено-деформованного стану системи за допомогою програмного комплексу SOFISTIK.

Патенти

9. Патент на винахід №100647, УКРАЇНА. МПК (2006.01) E02D 27/01. СТІЧКОВИЙ ФУНДАМЕНТ З ПОВЗДОВЖНІЙНИМ ВИРІЗОМ ПО ПІДОШВІ (Самородов О.В., Лучковський І.Я., Конюхов О.В., Кротов О.В.) Харківський національний університет будівництва та архітектури. – Заявл. 03.02.2012. Опубл. 10.01.2013. Бюл. №1. – 4 с.

Особистий внесок: розробка конструкції стрічкового фундаменту з повздовжнійним вирізом по підшві.

АНОТАЦІЯ

Кротов О.В. Стрічковий фундамент з повздовжнім вирізом по підшві. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.02 – Основи і фундаменти. Одеська державна академія будівництва та архітектури, Одеса, 2019.

Дисертацію присвячено розробці нової ефективною конструкції стрічкового фундаменту з повздовжнім вирізом по підшві та вдосконаленню відповідних методик розрахунку.

Проведено патентний пошук та проаналізовано експериментально-теоретичні дослідження існуючих конструкцій умовно стрічкових (протяжних) фундаментів: переривчастих, ламаних тощо й методик визначення несучої здатності, розрахункового опору та деформацій їх ґрунтових основ.

Розроблено й запатентовано конструкцію стрічкового фундаменту з повздовжнім по підшві вирізом, що заповнюється низькомодульним матеріалом, яка дозволяє підвищити розрахунковий опір ґрунту основи до 70% порівняно з традиційним стрічковим фундаментом.

Проведено польові великомасштабні експерименти та теоретичні дослідження взаємодії фундаментів з повздовжнім вирізом по підшві з основою, ґрунтуючись на яких удосконалено методики визначення розрахункового опору та осідань таких фундаментів, а також створено комп'ютерну програму «Стрічковий фундамент з вирізом» для автоматизації розрахунків та вибору раціональних параметрів фундаментів за прийнятими нормативними обмеженнями.

Ключові слова: ґрунтова основа, фундамент, стрічковий, підшва, повздовжній виріз, напружено-деформований стан, методика.

АННОТАЦИЯ

Кротов А.В. Ленточный фундамент с продольным вырезом по подошве. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.02 – Основания и фундаменты. Одесская государственная академия строительства и архитектуры, Одесса, 2019.

Диссертация посвящена разработке новой конструкции ленточного фундамента с продольным вырезом по подошве и совершенствованию соответствующих методик расчета.

Проведен патентный поиск и проанализированы экспериментально-теоретические исследования существующих конструкций условно ленточных (протяженных) фундаментов: прерывистых, ломаных и т.д. и методик определения несущей способности, расчетного сопротивления и деформаций их грунтовых оснований.

Разработана и запатентована конструкция ленточного фундамента с продольным вырезом по подошве, заполненного низкомодульным материалом, которая позволяет повысить расчетное сопротивление грунта основания до 70% по сравнению с традиционным ленточным фундаментом.

Проведены полевые крупномасштабные эксперименты и теоретические исследования взаимодействия фундаментов с продольным вырезом по подошве с основанием, основываясь на которых усовершенствованы методики определения расчетного сопротивления и осадок таких фундаментов, а также создана компьютерная программа «Ленточный фундамент с вырезом» для автоматизации расчетов и выбора рациональных параметров фундаментов по принятым нормативным ограничениям.

Ключевые слова: грунтовое основание, фундамент, ленточный, подошва, продольный вырез, напряженно-деформированное состояние, методика.

ABSTRACT

Krotov O.V. Strip foundation with a longitudinal cut-out on the bottom. Qualifying research paper as manuscript.

Thesis for the Degree of Candidate of Technical Sciences in speciality 05.23.02 – Bases and Foundations. Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Odessa, 2019.

The thesis deals with the development of a new design of a strip foundation with a longitudinal cut-out on the bottom and improvement of appropriate methods of calculation.

Designs of nominally strip (continuous) foundations have been intensively improved and investigated up to the present time, and the development of new design solutions for strip foundations, experimental and theoretical research of their combined behaviour with soil bases, and improvement of the methods of their calculation and designing are an area of current interest in soil mechanics and foundation engineering.

Chapter I conducts a patent search and reviews the experimental and theoretical studies of the existing designs of nominally strip (continuous) foundations such as discontinuous foundations, broken-line foundations and others, and methods of determination of the bearing capacity, design resistance, and strains of their soil bases.

Chapter II examines the stress state of the base of a strip foundation with a longitudinal cut-out on the bottom.

For practical application, the values of relative compressive stresses (damping coefficient) along the different axes of a separate stand-alone foundation and a strip foundation with a longitudinal cut-out on the bottom are given in tabular and graphical forms to determine settlements by the standard layer-by-layer summation method.

Chapter III deals with the study of the interaction between the soil base and the strip foundation with a longitudinal cut-out on the bottom and the development of calculation methods.

There is provided a patented design of a strip foundation with a longitudinal cut-out that consists of a foundation part of $B=2b+a$ in width and a cut-out of a in width and l in height, filled with low-modulus material such as foamed plastic. This allows increasing the design resistance of the soil of the base to 70% compared with a solid strip foundation of $B=2b$ in width, all other conditions and criteria being equal.

Chapter IV deals with the testing of the full-scale models of vertically loaded foundations with a central cut-out on the bottom in the field and comparison with the results of our theoretical studies.

When comparing experimental and theoretical studies, it can be said that with the same experimental vertical force N , but with the large pressures p on the bottom of the foundations with cut-outs, the settlements s remain practically similar for the foundation with a solid bottom and for that with a relative cut-out of $a/B=0.3$; however, beyond the ratio of the size of the bottoms of $a/B=0.6$ the settlements begin to increase. The same behaviour is retained in the theoretical determination of

settlements, that is, with the increase of the size of the cut-out, initially, the settlements decrease slightly, and then begin to increase in comparison with the foundation with a solid bottom, which was theoretically shown by various authors, including us, where the effect of the constancy of settlements with the increase of the size of the cut-out remains to the ratio of $a/B=0.7$.

It has been proved that: firstly, in any case, the arrangement of a cut-out does not reduce the design resistance of the base and can be calculated by its external dimensions with the ratio of the cut-out to the width of the foundation of $a/B<0.7$.

The comparison of the values of theoretical and experimental settlements shows that for foundations with a solid bottom and a relative cut-out of $a/B=0.3$ the settlements calculated by the layer-by-layer summation method with the conditional restriction of the compressive mass are overevaluated, and for foundations with a relative cut-out on the bottom of $a/B=0.7$ they are nearly similar. This confirms the adequacy of the proposed methods of calculating settlements of foundations with cut-outs by the standard layer-by-layer summation method.

The findings of the thesis research have been implemented in the design organizations of the city of Kharkiv for the calculation and designing of strip foundations of residential buildings and massive retaining walls, and in the academic activities at higher education institutions specializing in civil engineering.

Key words: soil base, foundation, strip, bottom, longitudinal cut-out, stress-strain state, method.

Для нотатків

For notes

Підписано до друку 16.10.2019 р.
Формат 60×84/16. Папір офсетний. Друк цифровий.
Гарнітура Times. Ум. друк. арк. 0,9.
Наклад 100 прим. Зам. №1861

Віддруковано в ТОВ «ДРУКАРНЯ МАДРИД»
61024, м. Харків, вул. Максиміліанівська, 11
Тел.: (057) 756-53-25
Свідотство суб'єкта видавничої справи
Серія ДК, № 4399 от 27.08.2012 р.
www.madrid.in.ua e-mail: info@madrid.in.ua