

СТРІЧКОВІ ФУНДАМЕНТИ З ОТВОРАМИ ТА З ЛАМАНИМ ОБРИСОМ ОПОРНОЇ ПОВЕРХНІ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Здійснено аналітичні розрахунки різних варіантів стрічкових фундаментів мілкового закладання та виконано їх порівняння з роботою аналогічного традиційного фундаменту при різних геометричних параметрах та в різних ґрунтових умовах. Проведене моделювання напружено-деформованого стану (НДС) системи «фундамент – ґрунтова основа» для основи стрічкового фундаменту з ламаним обрисом опорної плити. Виконано аналіз та узагальнення результатів дослідження.

Ключові слова: фундаменти; основа; ламаний обрис; моделювання основи; фундаменти мілкового закладання.

Abstract

Analytical calculations of different variants of shallow foundation strip foundations were performed and their comparison with the work of a similar traditional foundation at different geometric parameters and in different soil conditions was performed. The modeling of the stress-strain state (SSS) of the "foundation - base" system for the base of the strip foundation with a broken out line of the base plate was carried out. The analysis and generalization of research results was performed.

Keywords: foundations; base; broken outline; base modeling; foundations of shallow laying.

Вступ

Під час проектування варто надавати перевагу простим та оптимальним рішенням з мінімальним залученням ресурсів та спеціалістів. Одними з найбільш економічно вигідних та простих у влаштуванні є стрічкові фундаменти мілкового закладання.

У спеціалістів та науковців неодноразово виникали ідеї щодо удосконалення форми підшви – зміни її обрису в плані або площини контактної поверхні, щоб покращити передачу навантаження на ґрунтову основу [1-6]. Вдосконалення конструкцій та методик розрахунку стрічкових фундаментів триває до тепер, саме тому дослідження роботи стрічкових фундаментів з ламаним обрисом опорної поверхні є актуальною задачею.

Результати дослідження

У даній роботі було поставлено такі задачі:

- здійснення аналізу експериментальних досліджень і підсумовування теоретичних результатів, що були проведені різними авторами, по розрахунку основ стрічкових фундаментів;
- розробка ефективних конструкцій стрічкових фундаментів з ламаним обрисом опорної плити, що забезпечують більш ефективне використання несучої здатності основи;
- проведення чисельного дослідження несучої здатності основи стрічкового фундаменту з ламаним обрисом опорної плити і виявлення найбільш ефективної форми.

Моделювання напружено-деформованого стану системи «фундамент – ґрунтова основа» виконано з різними параметрами основи, при змінних розмірах фундаментних плит, при різному розміщенні їх в плані та наявності або відсутності вирізів методом скінчених елементів за умов розв'язання просторової задачі засобами програмного комплексу Plaxis 3D Foundation.

Проведені чисельні експерименти було розділено на такі підгрупи:

I – моделювання роботи стрічкового фундаменту довжиною 20.4 м на однорідній піщаній основі та фундаменту перемінного стрічкового перерізу, програму моделювання наведено в табл. 1.

Характеристики піщаного ґрунту: пісок дрібний, $\gamma=18,7 \text{ кН/м}^3$, $c = 0,4 \text{ кПа}$, $\varphi = 32^\circ$, $\nu = 0,3$, $E = 20 \text{ МПа}$.

Таблиця 1 – Програма чисельного моделювання роботи стрічкового фундаменту та з перемінним перерізом у піщаному ґрунті

Група дослідів	Довжина, поперечний розмір фундаментних плит	Тип стрічкового фундаменту
1	$L= 20,4 \text{ м}$, $a \times b = 2 \times 1,2 \text{ м}$	суцільна стрічка
2	$L= 20,4 \text{ м}$, $a \times b = 2 \times 1,2 \text{ м}$ та $a \times b = 1,6 \times 1,2 \text{ м}$	із перемінним перерізом
3	$L= 20,4 \text{ м}$, $a \times b = 2 \times 1,2 \text{ м}$ та $a \times b = 1,2 \times 1,2 \text{ м}$	із перемінним перерізом

II – моделювання роботи стрічкового фундаменту влаштованого фундаментними плитами під кутом 45° до осі стіни на однорідній піщаній основі та взаємозамінного стрічкового фундаменту, програму моделювання наведено в табл. 2.

Характеристики піщаного ґрунту: пісок дрібний, $\gamma=18,7 \text{ кН/м}^3$, $c = 0,4 \text{ кПа}$, $\varphi = 32^\circ$, $\nu = 0,3$, $E = 20 \text{ МПа}$.

Таблиця 2 – Програма чисельного моделювання роботи стрічкового фундаменту влаштованого фундаментними плитами під кутом 45° та взаємозамінного стрічкового фундаменту на однорідній піщаній основі

Група дослідів	Довжина, поперечний розмір фундаментних плит	Тип стрічкового фундаменту
1	$L= 20,93 \text{ м}$, $a \times b = 2 \times 1,2 \text{ м}$, $\alpha = 45^\circ$	під кутом
2	$L= 20,93 \text{ м}$, $b=1,414 \text{ м}$	суцільна стрічка

III – моделювання роботи стрічкового фундаменту влаштованого фундаментними плитами розміром $2,0 \times 1,2 \text{ м}$ з вирізами розміром $0,4 \times 0,3 \text{ м}$ та без і фундаменту з фундаментними плитами розміром $3,2 \times 1,2 \text{ м}$ з вирізами розміром $0,4 \times 0,3 \text{ м}$ та без на піщаній основі наведено в табл. 3.

Таблиця 3 – Програма чисельного моделювання роботи стрічкового фундаменту влаштованого фундаментними плитами з вирізами та без при різних геометричних розмірах фундаментних плит на піщаній основі.

Група дослідів	Довжина, поперечний розмір фундаментних плит	Тип стрічкового фундаменту
1	$L= 6 \text{ м}$, $a \times b = 2 \times 1,2 \text{ м}$, з вирізами, піщаний ґрунт	з вирізами
	$L= 6 \text{ м}$, $a \times b = 2 \times 1,2 \text{ м}$, без вирізів, піщаний ґрунт	суцільна стрічка
2	$L= 6 \text{ м}$, $a \times b = 3,2 \times 1,2 \text{ м}$, з вирізами, піщаний ґрунт	з вирізами
	$L= 6 \text{ м}$, $a \times b = 3,2 \times 1,2 \text{ м}$, без вирізів, піщаний ґрунт	суцільна стрічка

IV - моделювання роботи стрічкового фундаменту влаштованого фундаментними плитами розміром 2,0x1,2 м з вирізами розміром 0,4x0,3 м та без в котловані і фундаменту з фундаментними плитами розміром 3,2x1,2 м з вирізами розміром 0,4x0,3 м та без в котловані на піщаній основі представлено в табл. 4.

Таблиця 4 – Програма чисельного моделювання роботи стрічкового фундаменту з вирізами та без при різних геометричних розмірах фундаментних плит в котловані на піщаній основі

Група дослідів	Довжина, поперечний розмір фундаментних плит	Тип стрічкового фундаменту
1	L= 6м, ахb = 2x1.2м, з вирізами, піщаний ґрунт, в котловані	з вирізами
	L= 6м, ахb = 2x1.2м, без вирізів, піщаний ґрунт, в котловані	суцільна стрічка
2	L= 6 м, ахb = 3,2x1.2м, з вирізами, піщаний ґрунт, в котловані	з вирізами
	L= 6 м, ахb = 3,2x1.2м, без вирізів, піщаний ґрунт, в котловані	суцільна стрічка

V - моделювання роботи стрічкового фундаменту влаштованого фундаментними плитами розміром 2,0x1,2 м з вирізами розміром 0,4x0,3 м та без в котловані і фундаменту з фундаментними плитами розміром 3,2x1,2 м з вирізами розміром 0,4x0,3 м та без в котловані на суглинку, показано в табл. 5.

Характеристики суглинку : $\gamma=18,0$ кН/м³, $c = 0,026$ кПа, $\phi = 21^\circ$, $\nu = 0,35$, $E = 16,5$ МПа.

Таблиця 5 – Програма чисельного моделювання роботи стрічкового фундаменту з вирізами та без при різних геометричних розмірах фундаментних плит в котловані на суглинку

Група дослідів	Довжина, поперечний розмір фундаментних плит	Тип стрічкового фундаменту
1	L= 6м, ахb = 2x1.2м, з вирізами, суглинок, в котловані	з вирізами
	L= 6м, ахb = 2x1.2м, без вирізів, суглинок, в котловані	суцільна стрічка
2	L= 6 м, ахb = 3,2x1.2м, з вирізами, суглинок, в котловані	з вирізами
	L= 6 м, ахb = 3,2x1.2м, без вирізів, суглинок, в котловані	суцільна стрічка

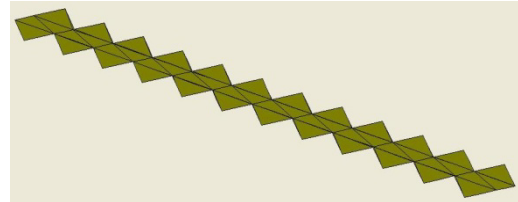
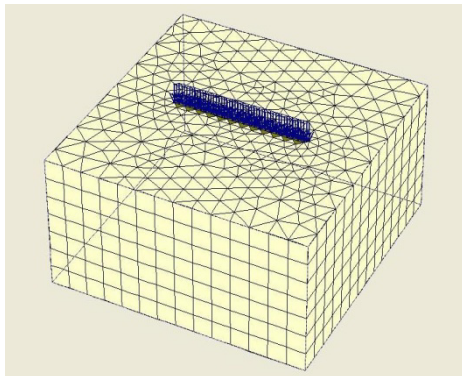
VI - моделювання роботи стрічкового фундаменту влаштованого фундаментними плитами розміром 3,2x1,2 м з вирізами розміром 1,0 x0,8 м в котловані на піщаній основі, представлено в табл. 6.

Таблиця 6 – Програма чисельного моделювання роботи стрічкового фундаменту з вирізами 1,0м x 0,8м в фундаментних плитах, в котловані на піщаній основі

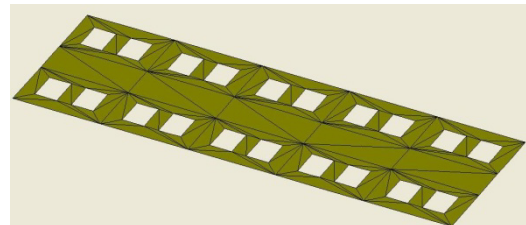
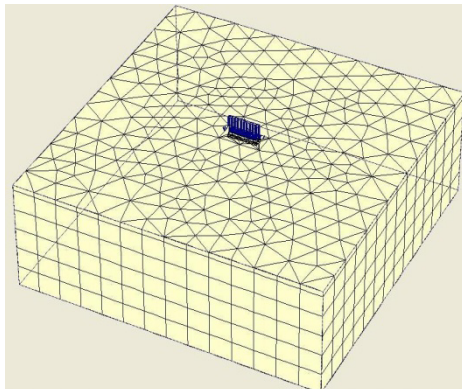
Група дослідів	Довжина, поперечний розмір фундаментних плит	Тип стрічкового фундаменту
1	L= 6м, ахb = 3,2x1.2м, з вирізами 1,0м x 0,8м, піщана основа, в котловані	з вирізами

На рисунку 1 наведено кілька розрахункових моделей розглянутих стрічкових фундаментів .

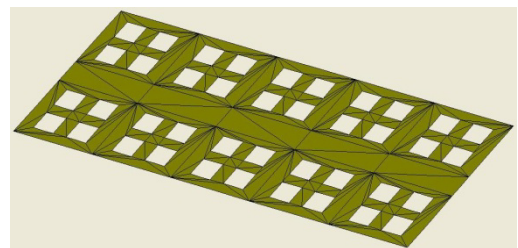
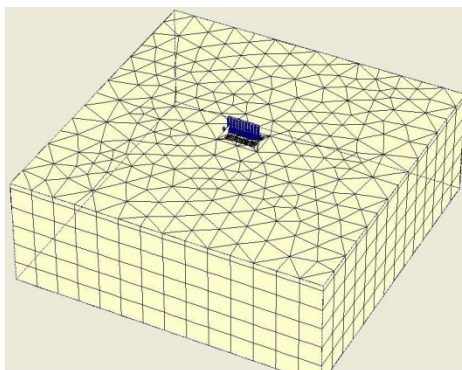
а)



б)



в)



г)

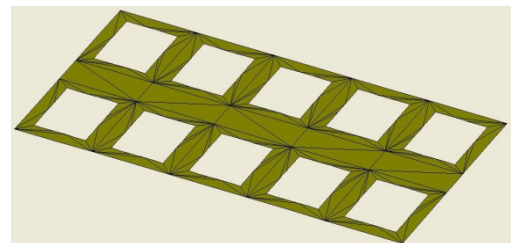
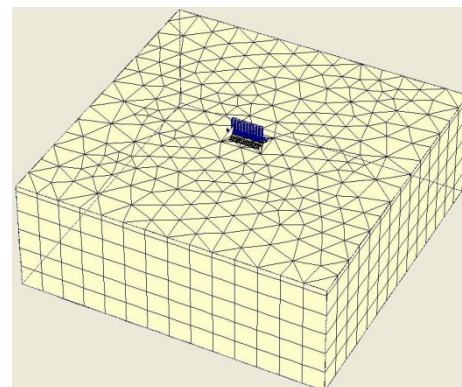


Рисунок 1 – Модель стрічкового фундаменту та розташування моделі під дією вертикального навантаження в масиві ґрунту, що влаштований з фундаментних плит : а) розміром 2,0x1,2 м під кутом 45° до осі стіни ; б) розміром 2,0x1,2 м з вирізами 0,3x0,4 м ; в) розміром 3,0x1,2 м з вирізами 0,3x0,4 м ; г) розміром 3,0x1,2 м з вирізами 0,8x1,0 м

На рисунку 2 наведено графіки «осідання – навантаження» для стрічкових фундаментів з певними конструктивними особливостями, ґрунт – пісок дрібний (а, б, в, г, д, є) та суглинок (ж, з, и).

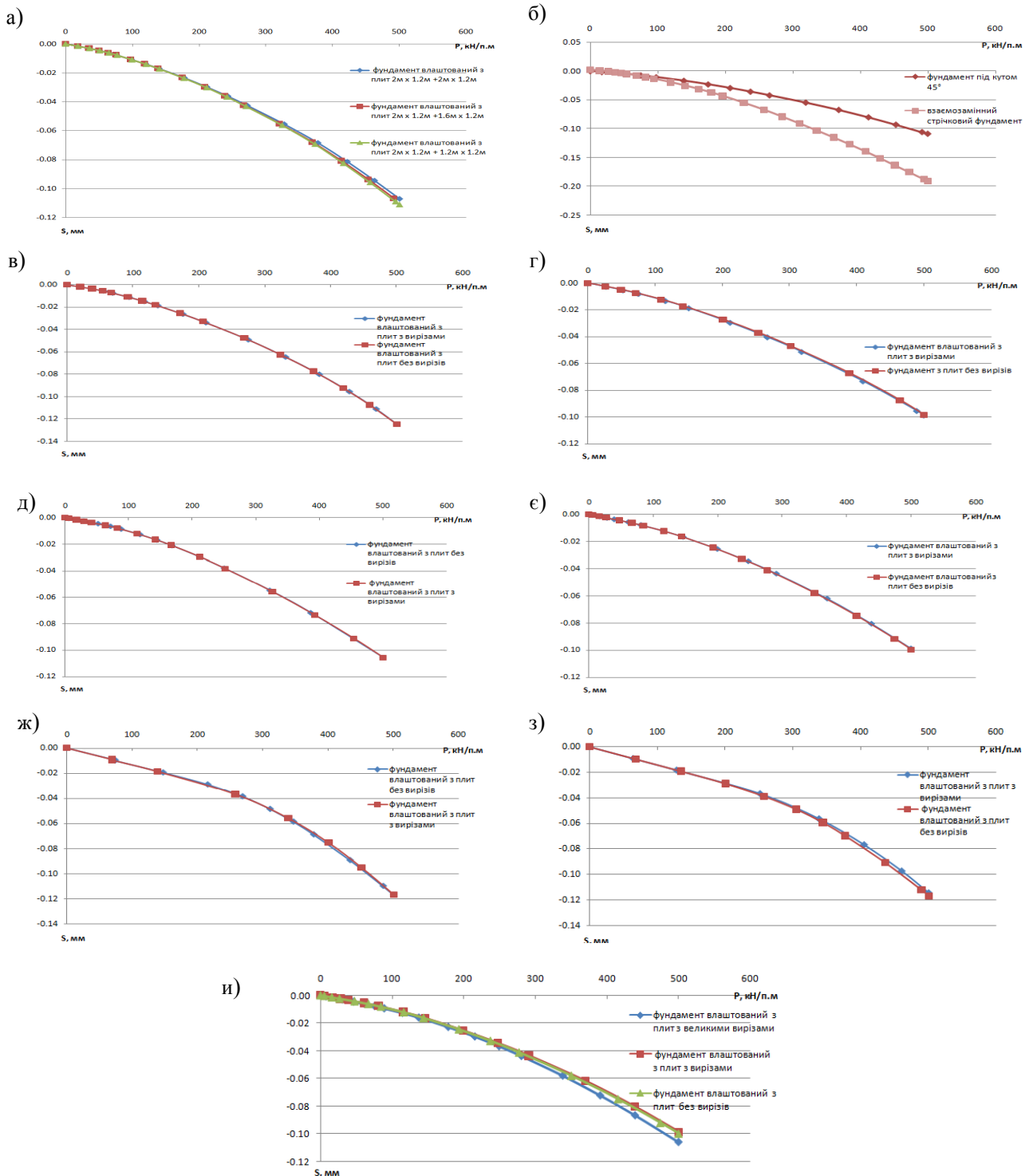


Рисунок 2 – Графіки залежності «осідання – навантаження» (на 1 п.м) : а) при влаштуванні фундаменту з плит однієї довжини та при перемінній довжині плит; б) при влаштуванні фундаментних плит під кутом 45° та взаємозамінного йому стрічкового фундаменту, в) при влаштуванні фундаменту плитами розмірами 2,0x1,2 м з вирізами та без; г) при влаштуванні фундаменту плитами розмірами 3,2x1,2 м з вирізами та без, д) при влаштуванні фундаменту плитами розмірами 2,0x1,2 м з вирізами та без, при наявності котловану; е) при влаштуванні фундаменту плитами розмірами 3,2x1,2 м з вирізами та без, при наявності котловану; ж) при влаштуванні фундаменту плитами розмірами 2,0x1,2 м з вирізами та без, при наявності котловану; з) при влаштуванні фундаменту плитами розмірами 3,2x1,2 м з вирізами та без, при наявності котловану; и) при влаштуванні фундаменту плитами розмірами 3,2x1,2 м з вирізами 0.3x0.4 мм, з вирізами 0.8x1,0мм та без, при наявності котловану

Проаналізувавши рис. 2, на якому наведено графічне співвідношення навантаження та осідання різних видів фундаментів, а саме суцільна стрічка шириною 2м та фундаментів з перемінним стрічковим перерізом $2 \times 1,2 \text{ м} + 1,6 \times 1,2 \text{ м}$ та $2 \times 1,2 \text{ м} + 1,2 \times 1,2 \text{ м}$ можна зробити висновок, що при різній площі опирання та однаковому навантаженні, осідання можна вважати рівним.

Фундамент, що влаштований з плит під кутом 45° до осі стіни, буде використовувати максимальну несучу здатність ґрунту з меншими переміщеннями у порівнянні з рівним за площею опирання стрічковий фундамент.

Робота плит з вирізами та без вирізів є аналогічною, проте при виготовленні плит з вирізами затрати матеріалів менші:

- об'єм бетону, що потрібен для виготовлення суцільної фундаментної плити ФЛ 32-12-3 становить $1,6 \text{ м}^3$, натомість об'єм бетону потрібного для виготовлення такої плити з вирізами становить $1,18 \text{ м}^3$. Різниця витрат бетону складає 26,25%.

- для виготовлення суцільної фундаментної плити ФЛ 20-12-3 використовують $0,976 \text{ м}^3$ бетону, в той час як для виготовлення такої ж плити з вирізами потрібно $0,77 \text{ м}^3$ бетону. І як висновок, різниця витрати бетону становить 20,9%.

Варто звернути увагу на рисунок 3, на якому наведено мозаїки деформацій системи «фундамент – ґрунтова основа» для стрічкових фундаментів при перемінних поперечних перерізах фундаментних плит ($2 \text{ м} \times 1,2 \text{ м} + 2 \text{ м} \times 1,2 \text{ м}$; $2 \text{ м} \times 1,2 \text{ м} + 1,6 \text{ м} \times 1,2 \text{ м}$; $2 \text{ м} \times 1,2 \text{ м} + 1,2 \text{ м} \times 1,2 \text{ м}$) (а), при розташуванні фундаменту під кутом 45° до осі стіни та взаємозамінного стрічкового фундаменту (б), при влаштуванні фундаменту з плит розміром $3,2 \text{ м} \times 1,2 \text{ м}$ без вирізів та з вирізами розміром $0,8 \text{ м} \times 1,0 \text{ м}$ в котловані глибиною 1м (в, г) та в ступінчатому котловані глибиною 2м (д, є).

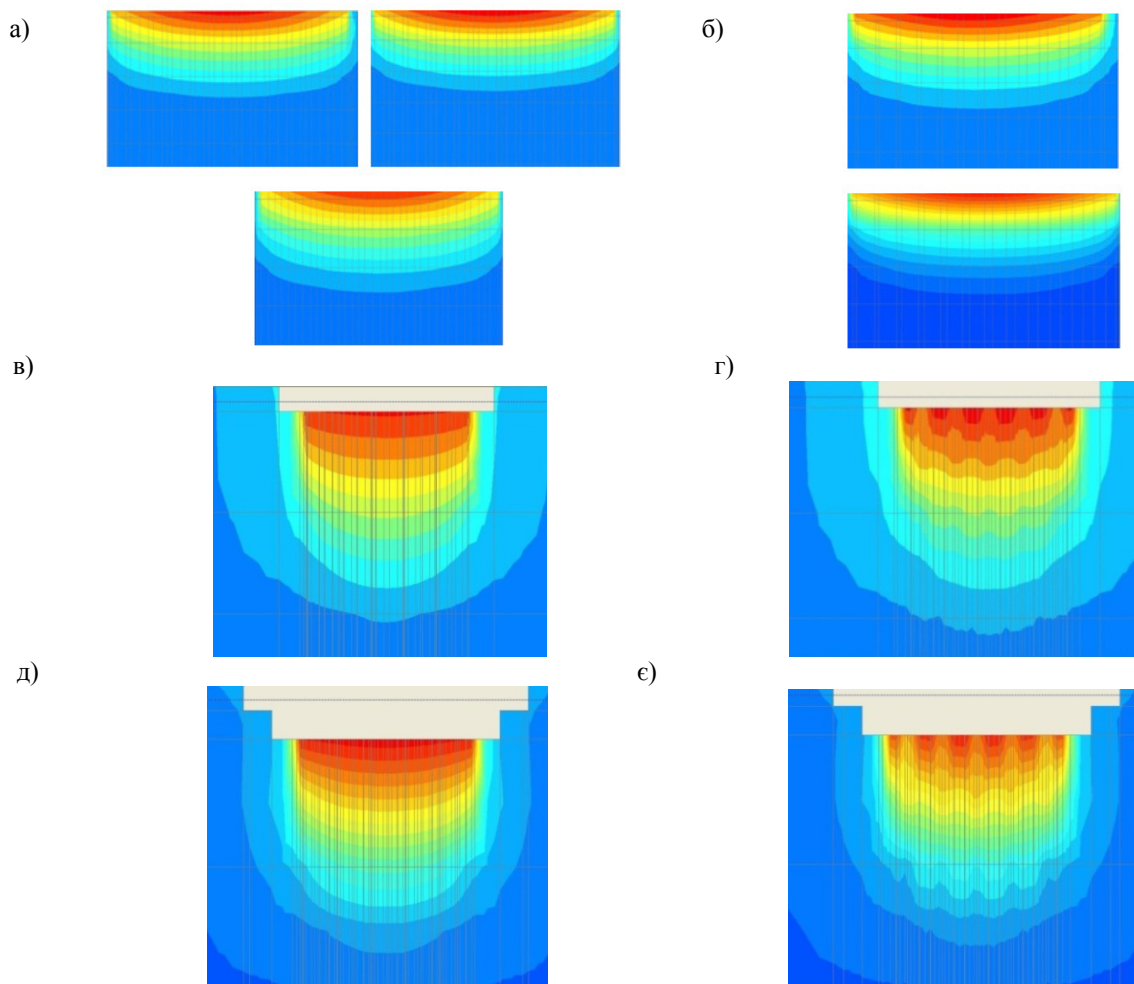


Рисунок 3 – Мозаїки деформацій системи «основа – ґрунт» при перемінних поперечних перерізах фундаментних плит ($2 \text{ м} \times 1,2 \text{ м} + 2 \text{ м} \times 1,2 \text{ м}$; $2 \text{ м} \times 1,2 \text{ м} + 1,6 \text{ м} \times 1,2 \text{ м}$; $2 \text{ м} \times 1,2 \text{ м} + 1,2 \text{ м} \times 1,2 \text{ м}$) (а), при розташуванні фундаменту під кутом 45° до осі стіни та взаємозамінного стрічкового фундаменту (б), при влаштуванні фундаменту з плит розміром $3,2 \text{ м} \times 1,2 \text{ м}$ без вирізів та з вирізами розміром $0,8 \text{ м} \times 1,0 \text{ м}$ в котловані глибиною 1м (в, г) та в ступінчатому котловані глибиною 2м (д, є), ґрунт – пісок дрібний.

Характер зміни розвитку деформацій в товщі ґрунту розподілення їх по основі досить чітко видно на рисунку 3. Від геометричних розмірів та видів ґрунтів залежить розповсюдження деформацій по глибині основи та різні максимальні та мінімальні значення напружень у певній точці мозаїки деформацій. Особливу увагу варто звернути на те, яким чином змінюються деформації при наявності або відсутності отворів в фундаментних плитах.

Висновки

1. При проведенні чисельного моделювання зафіксовано, що осідання суцільного стрічкового фундаменту та стрічкового фундаменту перемінного перерізу (почергово збірні плити такої ж ширини та меншої) при однаковому навантаженні в різних умовах можна вважати рівним.

2. Моделюванням було підтверджено, що фундамент влаштований з плит під кутом 45° до осі стіни, буде використовувати максимальну несучу здатність ґрунту з меншими переміщеннями ніж рівний за площею подошви традиційний стрічковий фундамент.

3. Робота суцільних плит та плит з вирізами при їх однакових геометричних розмірах є аналогічною. На різних основах дані фундаменти працюють однаково.

4. Проаналізувавши витрати бетонної суміші для виготовлення конструкцій фундаментних плит з вирізами 300×400 мм та без відповідно до розмірів визначено, що економія бетонної суміші становить 20,9-26,25%.

5. Дослідження показали, що запропоновані фундаменти з ламаним обрисом поверхні та з отворами є ефективними та економічно доцільними.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Шутенко Л. Н., Рудь А. Г., Кичаева О. В., Самородов А. В., Гаврилюк О. В. Механика ґрунтов, основания и фундаменты : учебн. Харьков : ХНУГХ им. А. Н. Бекетова, 2015. 502 с.

2. Евтушенко С.И. Исследование особенностей формирования уплотненной зоны ґрунта под моделью ленточного фундамента с геометрически изменяемой формой подошвы . Строительство и архитектура. Т. 2. № 1(2). Москва, 2014. с. 9-12.

3. Фидаров М. П. Проектирование и возведение прерывистых фундаментов. Москва: Стройиздат, 1986. 157 с.

4. Крахмальний Т.А., Евтушенко С.И., Шубин М.А., Синяков В.Н. Численное моделирование работы ленточного фундамента с ломаным очертанием опорной плиты : Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура №1. Волгоград, 2009.с 24-30.

5. Стрічковий фундамент з повздовжнім вирізом по подошві : пат. 100647 Україна: МПК E02D 27/01. № а 2012 01118; заявл. 03.02.2012; опубл. 25.09.2012, Бюл. №18. 4 с.

6. Алексеев В. М., Нейбург. Э. В. Ленточные сборные фундаменты переменной ширины : материалы Третьей Украинской научно-техн. конф. по мех.грун. и фундаментостроению, Одесса, 1997. с. 196-197.

Просьяник Анна Леонідівна — студентка групи Б-20м, факультет будівництва, теплоенергетики та газопостачання, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, email: prosianyuk.anna1999@gmail.com.

Науковий керівник: **Блащук Наталя Вікторівна** — канд. техн. наук, доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет.

Anna L. Prosiyanuk — Department of Building Heating and Gas Supply, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email : prosianyuk.anna1999@gmail.com..

Supervisor: **Natalya V. Blashchuk** — Ph. D., assistant professor, Department of Construction, Urban Management and Architecture, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.