

Дослідження впливу складного навантаження на фундаменти неглибокого закладання та формування реактивної епюри в ґрунтовій основі

Василь Підлуцький¹

Київський національний університет будівництва і архітектури
31, просп. Повітрофлотський, Київ, Україна, 03037,
¹vasiliytsar@gmail.com, orcid.org/0000-0002-1936-3990

DOI: 10.32347/0475-1132.45.2022.55-67

Анотація. Досліджено вплив складного навантаження на фундаменти неглибокого закладання, особливості передачі тиску на ґрунти основи, формування реактивної епюри в ґрунтовій основі, особливості призначення розмірів подошви фундаментів квадратної та прямокутної форми, а також характер армування фундаментів та залежність армування подошви фундаменту від напруження, що формується під нею. Особливу увагу приділено дії різних комбінацій складного навантаження на фундамент, які можуть призвести до відриву подошви фундаменту та, як наслідок, до його перекидання.

Дослідження виконані на фундаментах неглибокого закладання, стовбчастих, із монолітного залізобетону, на які опираються металеві колони та кріпляться за допомогою анкерних (фундаментних) болтів. Будинки з металевим каркасом на таких фундаментах найчастіше призначені для складських, виробничих або торгових центрів, споруд сільського господарства, станцій технічного обслуговування та багато інших.

Показано вплив додаткових навантажень на фундаменти при виконанні перевірки прийнятих розмірів подошви фундаментів. Такими додатковими навантаженнями можуть бути: вага фундаментів, вага ґрунту на уступах фундаментів, вага підсипки під підлогу, вага конструкції підлоги, корисне навантаження на підлогу, вага фундаментної балки, вага навісних стін тощо.

При дії складного позацентрального навантаження в різний момент часу, в результаті дії різних комбінацій навантажень, під подошвою фундаментів виникають знакоперемінні напруження: середні, максимальні та мінімальні, які можуть привести до відриву подошви фундаменту. Саме дані напруження залежать від прийнятих розмірів подошви фундаменту, а також



Василь Підлуцький
доцент кафедри
геотехніки
к.т.н., доц.

впливають на їх армування. Але постає питання: чи одні і ті ж напруження під подошвою фундаментів впливають на розміри фундаментів та на визначення їх армування? В роботі показано, що для перевірки розмірів подошви фундаментів необхідно враховувати «стандартні» напруження під подошвою фундаментів, а для визначення їх армування – зовсім інші напруження. Багато науковців та проектувальників не здогадуються про цей факт. Тому некоректне врахування напружень під подошвою фундаментів саме для визначення їх армування може привести до невірних результатів, що вплине на надійність та вартість фундаментів наведених будівель.

В роботі наведено способи конструювання фундаментів неглибокого закладання на дію позакцентрального навантаження з метою його сприйняття.

Ключові слова. Фундаменти неглибокого закладання, комбінації навантаження, розміри фундаментів, напруження під фундаментами, реактивна епюра.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Розміри фундаментів неглибокого закладання найчастіше визначають, виходячи з вертикального навантаження на фундаменти, глибини їх закладання та характеристик ґрунтів. Після конструювання фундаментів отримані розміри подошви фундаментів

необхідно перевірити за стандартними формулами, щоб тиск від дії фундаментів не перевищував середні, максимальні та мінімальні напруження в ґрунтах. При цьому, за стандартними рекомендаціями необхідно врахувати додаткові навантаження, які включають вагу фундаменту та вагу ґрунту на уступах фундаментів. Але, як показує практика проектування таких фундаментів крім «стандартних» додаткових навантажень необхідно враховувати ряд інших навантажень, наприклад від ваги підсіпки під підлогою, ваги конструкції підлоги, від корисного навантаження на підлогу, від ваги фундаментної балки, зовнішніх стін тощо. Також такі навантаження можуть діяти в різний проміжок часу. Дані питання потребують додаткового розгляду, які формують складне позацентрове навантаження на фундаменти.

Також додаткового вивчення потребує питання армування підшови фундаментів від дії складного позацентрового навантаження. Адже, саме формування реактивної епюри в ґрунті та величина напруження під підшовою фундаменту визначає величину його армування, яке залежить від зовнішнього навантаження. Тут постає питання: чи одні і ті ж напруження під підшовою фундаментів впливають на розміри фундаментів та на визначення їх армування? В роботі показано, що для перевірки розмірів підшови фундаментів необхідно визначити напруження під підшовою фундаментів від усіх видів навантажень, що діють на фундамент, а для визначення їх армування – напруження від не всіх навантажень, а також «правильність» їх врахування. Багато науковців та проектувальників не здогадуються про цей факт. Тому не коректне врахування напружень під підшовою фундаментів саме для визначення їх армування може привести до невірних результатів, що вплине на надійність та вартість фундаментів наведених будівель.

АНАЛІЗ ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Методика розрахунку фундаментів неглибокого закладання розроблена банато

років тому, основні вимоги та вказівки вказані у нормативних документах, які змінювалися в часі та регулярно перевипускалися на державному рівні. Це і СНіПи, і Посібники, і ДБН, і ДСТУ України, останій з них чинний ДБН В.2.1-10:2018 [1].

В роботах багатьох вчених розглядається різна проблематика розрахунку фундаментів неглибокого закладання, як стрічкових, так і стовпчастих. На перший погляд прості розрахунки, але вони також потребують уточнення та додаткового вивчення, так як інженерні розрахунки засновані на окремих припущеннях роботи ґрунту як пружного матеріалу, коли розрахунковий опір не значно перевищує перший критичний опір ґрунту. В роботі проф.Цимбала С.Й. [2, 3] піднімається питання впливу коефіцієнта пористості на формування напружень в основі фундаменту, автор зауважує, що із збільшенням величини коефіцієнта пористості концентрація напружень зростає по осі стрічкового фундаменту і зменшується при віддаленні від неї в горизонтальній площині. Дані дослідження були продовжені його учнями та висвітлені в роботі [4], в якій автори наголошують, що з глибиною вплив коефіцієнта пористості на розподіл напружень збільшується, порівняно із результатами розрахунків за теорією пружності. В роботах [5, 6] автори піднімають питання проектування центрально завантажених стовпчастих монолітних фундаментів під окремі колони за сучасними нормам, та порівняння їх з Європейськими нормами. В роботі [7] автор Корнієнко М.В. викладає детальну інформацію щодо розрахунків фундаментів неглибокого закладання та піднімає питання врахування додаткових навантажень при проведенні перевірки фундаментів.

МЕТА РОБОТИ

Дослідити вплив складного позацентрового навантаження на формування напруження під підшовою фундаментів неглибокого закладання та формування реактивної епюри в ґрунтовій основі, а також показати відмінність у визначенні напруження для перевірки розмірів підшови фундаментів та

для визначення величини армування їх підшви.

ОСНОВНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

Опис об'єкту. Ґрунтові умови.

Дослідження проведені на реальному об'єкті: «Будівництво тваринницького комплексу великої рогатої худоби молочного напрямку потужністю 3800 голів в Тернопільській області. На майданчику будівництва передбачено зведення більше десяти споруд різного призначення, які мають металевий каркас (Рис. 1, 2). Основні – це доїльно-молочний блок, навіс для корів, навіс родильного блоку, три навіси для телят (Рис. 2); допоміжні – навіс для сіна, навіс для техніки, перехідні галерії та ін. Розміри будівель в плані мають досить великі габарити, окремі блоки становлять 246,0x64,2 м; 204,0x32,7 м; 87,0x56,0 м. В якості фундаментів запроєктовано фундаменти неглибокого закладання з монолітного залізобетону (Рис. 3). Несучі колони металевого каркасу кріпляться до фундаментів за допомогою анкерних (фундаментних) болтів. З'єднання колон до фундаментів – жорстке. Колони в'язевих блоків анкеруються до фундаментної балки згідно окремого вузла.

Ґрунтові умови на будівельному майданчику складаються в основному з суглинистих шарів ґрунтів, які залягають з пониженням по території майданчика. Геологічний розріз представлений на Рис. 4, який включає наступні шари ґрунтів:

ІґЕ-1 – Рослинний шар - супісок твердий, гумусовий з буд. відходами;

ІґЕ-2 – Суглинок напівтвердий з запливами гумусу;

ІґЕ-3 – Суглинок напівтвердий;

ІґЕ-4 – Суглинок тугопластичний;

ІґЕ-6 – Суглинок м'якопластичний;

ІґЕ-7 – Глина напівтверда.

Так як будівлі мають досить довгу форму в план, а шари ґрунтів залягають з пониженням, то фундаменти мають перемінну висоту (1,3 м; 1,7 м; 1,9 м; 2,9 м;), щоб опиратися в несучий шар основи ІґЕ-3 або ІґЕ-4. Основні фізико-механічні характеристики ґрунтів основи представлено в Табл. 1.



Рис.1. Загальний вигляд металевого каркасу будівлі.

Fig.1. General view of the metal frame of the building.



Рис.2. Загальний вигляд навісу для корів.

Fig.2. General view of the shed for cows.



Рис.3. Фундаменти неглибокого закладання з монолітного залізобетону.

Fig.3. Shallow foundations made of monolithic reinforced concrete.

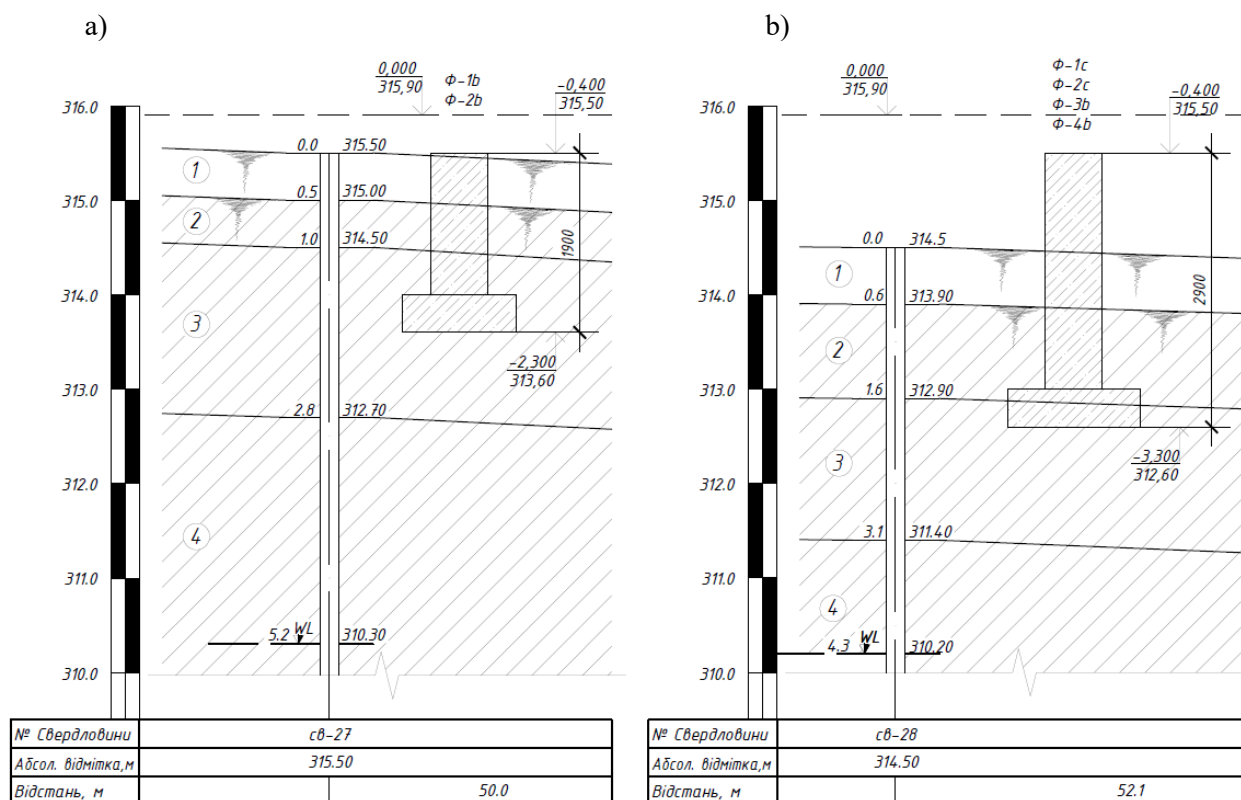


Рис.4. Фрагменти інженерно-геологічних розрізів ділянки будівництва та посадка фундаментів: а) колонка свердловини св.-27; б) колонка свердловини св.-28.

Fig.4. Fragments of engineering and geological sections of the construction site and laying foundations а) well column w-27; б) well column w-28.

Табл. 1. Показники фізико-механічних властивостей ґрунтів будівельного майданчика
Table 1. Indicators of physical and mechanical properties of the soils of the site

№ ІГЕ	Щільність ґрунту, г/см ³	Природна вологість, д.о.	Число пластичності, д.о.	Показник текучості, д.о.	Коефіцієнт пористості, д.о.	Кут внутрішнього тертя, градуси	Питоме зчеплення, кПа	Модуль деформації, МПа
	ρ	W	I_p	I_L	e	φ	c	E
1	1,61	-	-	-	-	-	-	-
2	1,74	-	-	-	-	-	-	-
3	1,92	0,21	0,08	0,10	0,70	23	28	19
4	1,96	0,24	0,10	0,30	0,72	21	25	16
6	1,88	0,22	0,08	0,57	0,75	18	20	12
7	1,90	0,25	0,23	0,00	0,80	19	50	20

Примітка:

ІГЕ-1 – Рослинний шар - супісок твердий, гумусовий з буд. відходами;

ІГЕ-2 – Суглинок напівтвердий з запливами гумусу;

ІГЕ-3 – Суглинок напівтвердий;

ІГЕ-4 – Суглинок тугопластичний;

ІГЕ-6 – Суглинок м'якопластичний;

ІГЕ-7 – Глина напівтверда.

Розміри підосви фундаменту.

Згідно чинних норм [1] та багатьох посібників [5-7] площа підосви стовпчастого фундаменту визначаються за стандартною формулою:

$$A = \frac{N_{II} \cdot k_M}{R - \gamma_{mt} \cdot d} \quad (1)$$

де $A = a \cdot b$ - площа підосви фундаменту, м²; при чому початкове відношення між сторонами фундаменту визначають як $b = k_M \cdot a$; N_{II} - вертикальне навантаження, кН; R - розрахунковий опір ґрунту, кПа [1]; γ_{mt} - середня питома вага залізобетону і ґрунту на уступах фундаменту, приймається $\gamma_{mt} = 20 \text{ кН/м}^3$; d - глибина закладання підосви фундаменту, м; k_M - коефіцієнт впливу моменту, що визначається як:

$$k_M = 1 + \frac{\sum M_{II}}{3N_{II}} \quad (2)$$

де $\sum M_{II}$ - сума моментів на рівні підосви фундаменту.

Як показує досвід розрахунків стовпчастих фундаментів на дію складного позацентрового навантаження, визначення розмірів згідно наведеної формули (1) не гарантує того, що даний фундамент можна буде прийняти в кінцевому випадку як остаточний варіант фундаменту, не зважаючи на присутність у формулах коефіцієнту впливу моменту (k_M). Багато конструкторів часто помиляються при визначенні розмірів фундаментів саме таким способом, прийнявши при цьому спеціально «завищені» вертикальні навантаження та занижені значення розрахункового опору ґрунтів, з метою «прикидки-визначення» розмірів фундаментів з «запасом». Вони вважають, що «розрахували» розміри підосви фундаментів досить надійно.

Проблема в тому, що дані формули не дозволяють врахувати відрив та перекидання фундаменту, для запобігання чого необхідно ще збільшувати розміри фундаменту.

Тому без виконання перевірок напружень « σ » (тиску « R ») на рівні підосви фундаментів запроєктувати остаточні розміри підосви фундаментів не можливо.

Перевірка напружень на рівні підосви фундаментів.

При виконанні перевірки напружень на рівні підосви фундаментів необхідно враховувати всі види навантаження, що діють на обрізі фундаменту та приводити їх дію на рівень підосви фундаменту (Рис. 5). При цьому найчастіше враховують додаткові навантаження, які включають вагу фундаменту (G_f) та вагу ґрунту (G_s) на уступах фундаментів.

Перевірка напружень на рівні підосви фундаментів виконують за формулами, в яких перевіряється середнє (σ_{mt}), мінімальне (σ_{min}) та максимальне (σ_{max}) напруження, при чому в обох напрямках по осі « X » та осі « Y », а також напруження ($\sigma_{кут}$) на куті фундаменту (формули 3-7):

$$\sigma_{mt} = \frac{\sum N_{II}}{A_f} \leq R \quad (3)$$

$$\sigma_{max}^{x(y)} = \frac{\sum N_{II}}{A_f} + \frac{\sum M_{x(y)}^{II}}{W_{y(x)}} \leq 1,2 \cdot R \quad (4)$$

$$\sigma_{min}^{x(y)} = \frac{\sum N_{II}}{A_f} - \frac{\sum M_{x(y)}^{II}}{W_{y(x)}} \geq 0 \quad (5)$$

$$\sigma_{max}^{кут} = \frac{\sum N_{II}}{A_f} + \frac{\sum M_x^{II}}{W_y} + \frac{\sum M_y^{II}}{W_x} \leq 1,5 \quad (6)$$

$$\sigma_{min}^{кут} = \frac{\sum N_{II}}{A_f} - \frac{\sum M_x^{II}}{W_y} - \frac{\sum M_y^{II}}{W_x} \geq 0 \quad (7)$$

де $\sum N_{II} = N_{II} + G_f + G_s$ - сума всіх вертикальних навантажень на фундамент; $\sum M_{II} = M_{II} + Q_{II} \cdot h_f$ - сума моментів на рівні підосви фундаменту р врахуванням дії горизонтальної сили на рівні верхнього обрізу фундаменту; h_f - висота фундаменту; $A_f = a \cdot b$ - площа підосви прийнятого фундаменту;

$W=(b \cdot a^2)/6$ – момент опору площі підшви фундаменту у відповідному напрямі.

У виникненні випадку, коли мінімальне напруження менше «нуля», буде відбуватися відрив підшви фундаменту від ґрунту. Такий випадок дозволявся «Рекомендаціями» до СНіП, але було необхідно контролювати, щоб величина відриву була менше $0,25b$, тобто менше чверті ширини підшви фундаменту.

В такому випадку з протилежного боку фундаменту виникає досить велике значення максимального напруження і необхідно ретельно контролювати якість ґрунту основи, щоб не відбулося його послаблення в результаті не відповідальної розробки ґрунту будівельниками. З досвіду виконання фундаментних робіт такі недоліки були замічені, коли будівельники перекопували відмітку ґрунту котловану механізованим способом, а потім його «досипали» без належного ущільнення. Також виникає верхня розтягнута зона в підшви фундаменту, що потребує додаткового армування. Тому допускати відрив фундаменту є не доцільним та небезпечним з приводу стійкості фундаменту вцілому.

Додаткові навантаження на фундамент.

Проектуючи фундаменти неглибокого закладання під промислові та виробничі будівлі з металевим каркасом, крім найчастіше прийнятих додаткових навантажень на фундаменти (вага фундаменту (G_f) та ґрунт на уступах фундаменту (G_s)) практично завжди на фундаменти діють наступні додаткові навантаження, наприклад:

1. вага підсіпки під підлогу ($G_{нас}$);
2. вага конструкції підлоги ($G_{під}$);
3. корисне навантаження на підлогу ($G_{кор}$);
4. вага фундаментної балки ($G_{ФБ}$);
5. вага зовнішніх стін ($G_{ст}$) тощо.

Слід зауважити, що перераховані додаткові навантаження на фундамент діють в межах підшви фундаменту (Рис. 6, 7). Але, у випадку розрахунку фундаменту під крайню колону, дані навантаження необхідно ділити навпіл, так як вони діють тільки на половині підшви фундаменту. А у випадку розрахунку фундаменту під середні колони дані

навантаження враховуються по всій площі фундаменту, але не потрібно враховувати вагу від фундаментної балки та стіни, так як дані конструкції в даному місці відсутні. Для більш точнішого розрахунку рекомендовано з площі фундаменту віднімати площу підколонника, так як в його межах додаткові навантаження можуть не діяти.

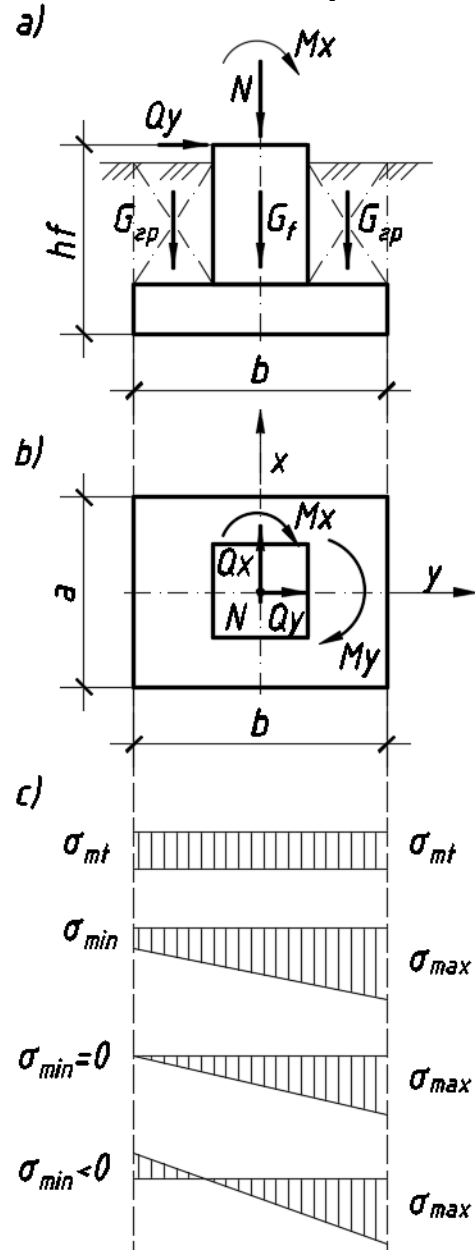


Рис.5. Навантаження, які діють на фундаменти: а) розріз фундаменту; б) план фундаменту; в) епюри напружень під підшвою фундаменту

Fig.5. Loads acting on foundations: a) section of the foundation; б) foundation plan; в) stress diagrams under the sole of the foundation.

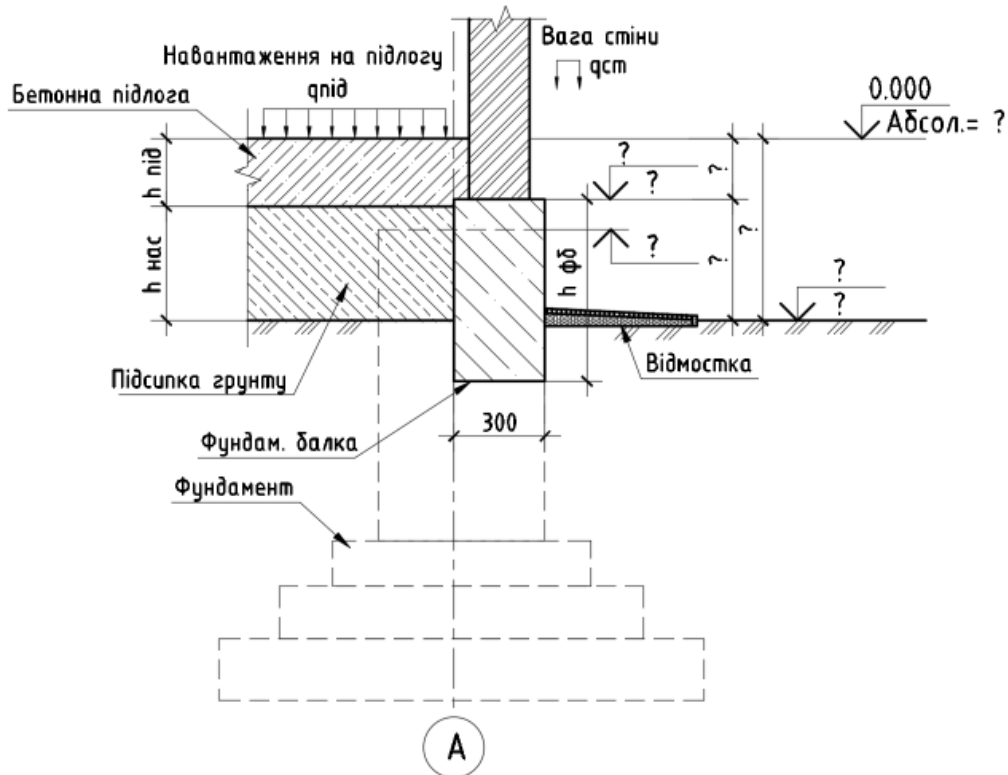


Рис.6. Розрахункова схема до фундаменту неглибокого закладання та додаткові навантаження, що діють на фундамент.

Fig.6. Calculation scheme for the shallow foundations and additional loads acting on the foundation.

В досліджуваних спорудах досить часто підіймають рівень підлоги в середньому на 1,2 м з метою заїзду підйомних механізмів з приміщення прямо у причепи вантажних автомобілів для їх розвантаження. Тому необхідно під підлогу виконувати підсипку, яка влаштовується вище планувальної позначки та являється додатковим навантаженням для фундаментів в межах їх подошви (Рис. 7, а).

Визначення напружень в ґрунті для перевірки розмірів подошви фундаменту та для розрахунку армування подошви фундаменту.

Напруження в ґрунті для перевірки розмірів подошви фундаменту знаходять за формулами 3-7, враховуючи всі додаткові навантаження, які діють на фундаменти. При чому, сумарне вертикальне навантаження (ΣN^II) буде включати всі додаткові:

$$\Sigma N^II = N^II + G_f + G_s + G_{нас} + G_{під} + G_{кор} + G_{ФБ} + G_{ст} \quad (8)$$

де всі позначення – див. вище по тексту.

Слід зауважити, що дані додаткові навантаження також знаходяться в різних категоріях навантаження: постійні, тимчасові довготривалі та тимчасові короточасні, що необхідно враховувати при розрахунку фундаментів та включати / виключати їх в різний проміжок часу із застосуванням різних коефіцієнтів сполучення за навантаженням.

При конструюванні фундаменту встановлюють кількість ступенів фундаменту. Прийнято, що більше трьох ступенів не проєктують, так як фундамент неглибокого закладання буде не ефективний і потрібно переходити на пальовий фундамент.

Для розрахунку армування подошви фундаменту кожен ступень фундаменту розглядають як консольну балку, яка жорстко заземлена з боку фундаменту. Розрахункову схему зображено на Рис. 7б, 7с. Окремо розраховують кожен ступень фундаменту у випадку двох- або трьох-ступінчатого фундаменту, збираючи на нього навантаження від напруження під подошвою фундаменту.

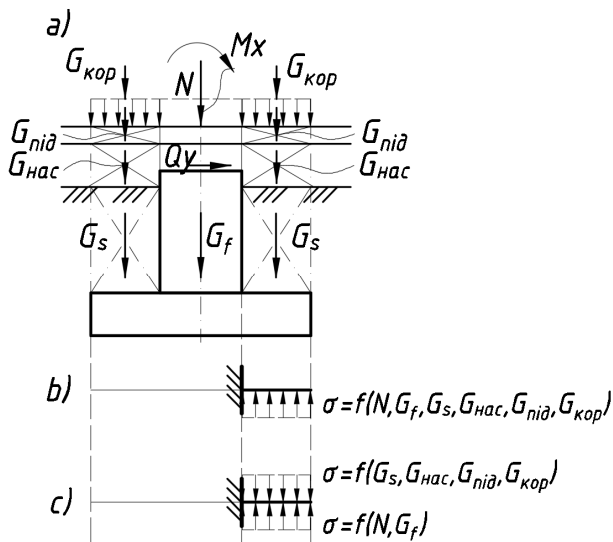


Рис.7. а) Сили, які діють на фундамент під середню колону; б) Ступінь фундаменту як консольна балка та напрямок дії на неї напруження (тиску) від дії всіх додаткових сил при перевірці розмірів фундаменту; в) Ступінь фундаменту як консольна балка та напрямок дії на неї напруження (тиску) від дії окремих додаткових сил при визначенні армування фундаменту.

Fig.7. a) Forces acting on the foundation under the middle column; b) The footing of the foundation as a cantilever beam and the direction of stress (pressure) on it from the action of all additional forces when checking the dimensions of the foundation; c) The footing of the foundation as a cantilever beam and the direction of stress (pressure) on it from the action of individual additional forces when determining the foundation reinforcement.

На Рис. 7, а показано дію всіх основних та додаткових сил, які діють на фундамент. А на Рис. 7, б наведено традиційну розрахункову схему ступені фундаменту для визначення її армування, яка представлена у вигляді консольної балки, на яку діють напруження від усіх наведених основних та додаткових сил. Але, якщо розібрати дану розрахункову схему детально, то виявляється, що не всі сили потрібно враховувати в даному розрахунку, так як деякі з них мають протилежний знак дії на консоль, тобто навантажують нашу консоль (ступінь фундаменту) з протилежних сторін балки (Рис. 7, с) та

навіпаки приводять до її розвантаження.

Приклад врахування додаткових сил при визначенні напруження під подошвою фундаменту під колону середнього ряду для перевірки розмірів подошви фундаменту та для розрахунку армування подошви фундаменту наведено на Рис. 8.

Розглянувши разом Рис.7 та Рис.8 видно, що навантаження від ґрунту на уступах фундаменту (G_s), навантаження від підсипки під підлогу ($G_{нас}$), навантаження від конструкції підлоги ($G_{під}$), корисне навантаження на підлогу ($G_{кор}$) діє зверху консольної балки та розвантажує її. Тобто із загального значення напруження під подошвою фундаменту їх потрібно вирахувати (приймати з від'ємним знаком). Але, слід зауважити, це потрібно робити лише для обчислення площі армування подошви фундаменту. Багато проектувальників не задумуються про цей момент при визначенні армування подошви фундаменту, беручи загальне значення напруження під подошвою фундаменту, яке вираховали для визначення перевірки розмірів подошви фундаменту. Це призводить до перевитрат армування фундаментів, але забезпечує великий запас в армуванні та надійність конструкції.

На Рис.8. в таблиці для наглядної оцінки показано, що додаткові сили для армування подошви взято з «нулем», а не з «від'ємним» знаком для того, щоб залишити ще деякий процент запасу міцності та показати різницю у формуванні напруження та для оцінки різниці площі армування. Як видно з таблиці, при визначенні армування за напруженням для розмірів подошви фундаментів, необхідна площа робочої арматури становить 10,06 см², що відповідає арматурі діаметром 16 мм з кроком 200 мм. А при врахування напруження для армування подошви - необхідна площа робочої арматури вже становить 5,66 см², що відповідає арматурі діаметром 12 мм з кроком 200 мм. Діаграму різниці витрат армування подошви фундаменту при різному врахування додаткових сил у визначенні напруження під подошвою фундаменту показано на Рис. 9. Як видно з даної діаграми відмінність становить 1,8 рази, а це не обґрунтований запас в армуванні.

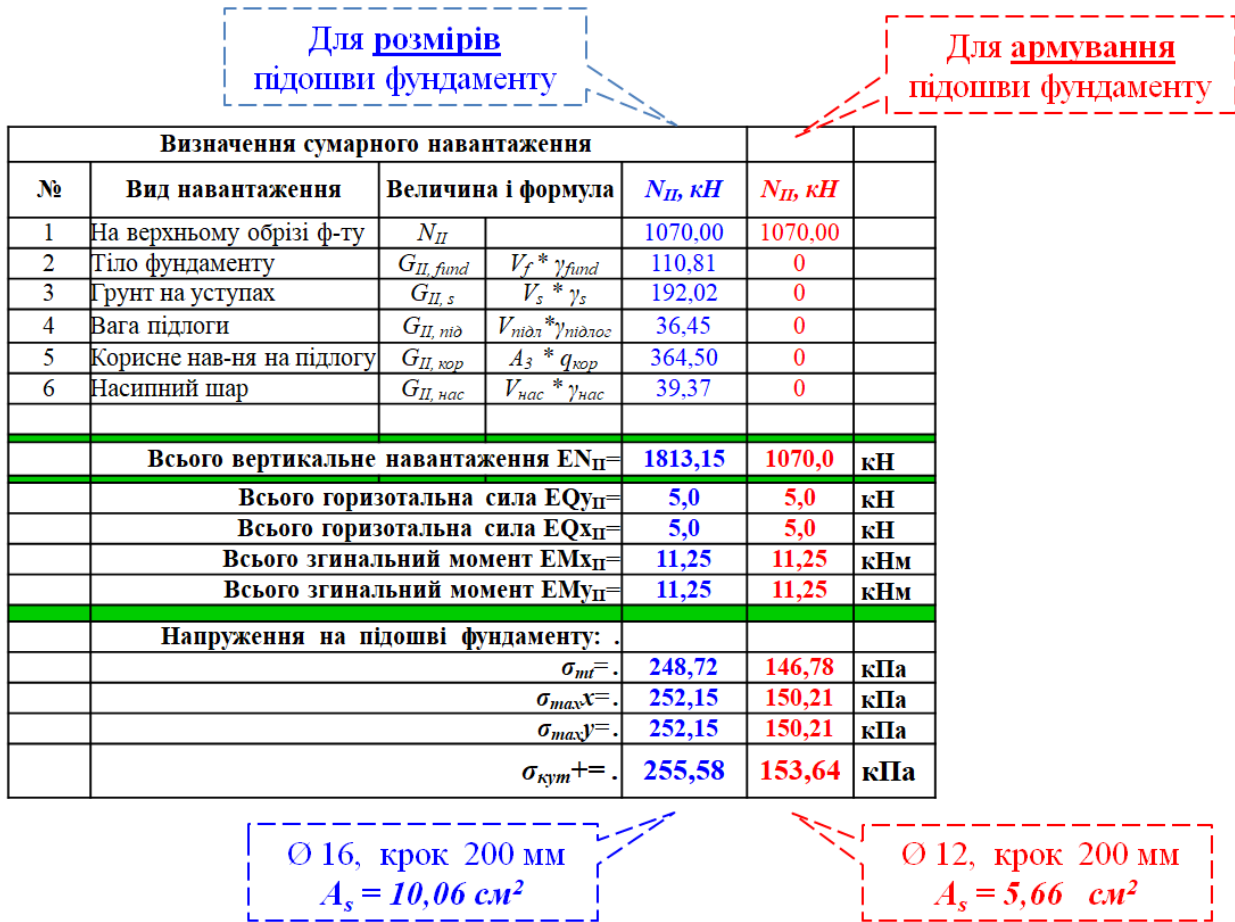


Рис.8. Приклад врахування додаткових сил при визначенні напруження під підшовою фундаменту під колону середнього ряду.

Fig.8. An example of taking into account additional forces to determine the stress under the sole of the foundation for the column of the middle row.

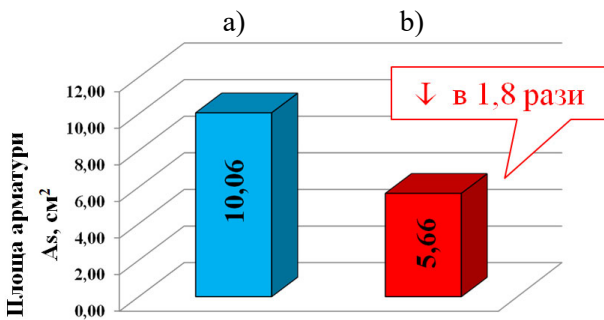


Рис.9. Площа армування підшови фундаменту: а) напруження для розмірів підшови фундаментів; б) напруження для армування підшови фундаментів.

Fig.9. Area of foundation sole reinforcement a) stress for the dimensions of the foundation base; b) stress for the reinforcement of the foundation base.

Якщо приймати додаткові сили, що діють на фундамент, з від’ємним значенням, то отримаємо ще більший коефіцієнт запасу, що дозволить ще більш суттєво знизити площу армування фундаментів.

Звідси, можемо зробити висновок, що при розрахунку фундаментів неглибокого закладання, напруження в ґрунті для перевірки розмірів підшови фундаменту та для розрахунку армування підшови фундаменту необхідно визначати по-різному. Тобто це не одне і теж значення напруження. У випадку визначення армування підшови фундаменту це будуть напруження, які будуть зменшенні на дію окремих додаткових сил. Цей захід допоможе знизити загальну вартість фундаментів через зменшення його армування.

Способи конструювання фундаментів для погашення відриву підосви фундаментів.

При дії складного позacentрового навантаження на фундаменти в окремий момент часу може відбутися відривання його підосви. На це сильно впливає конструктивна схема металевого каркасу, а саме варіант з'єднання бази колони з фундаментом (жорстке, шарнірне). При жорсткому сполученні на фундаменти додатково діє перекидний момент, який не можливо сприйняти ні чим, крім самого фундаменту. Наприклад, при дії поперечної сили, помноженої на висоту фундаменту, теж створюється перекидний момент фундаменту, але його можна сприйняти, передавши дію поперечної сили у фундаментну балку будівлі або у підлогу будівлі, яка для такого класу становить товщиною 200-300 мм з армуванням у верхній і нижній зонах та може сприйняти на себе дію даної поперечної сили.

Основними способами конструювання фундаментів для погашення відриву підосви фундаментів можуть бути (Рис.10):

- a) розвиток розмірів підосви в плані;
- b) влаштування затяжок;
- c) влаштування упорів або розпірок;
- d) проектування шарнірних баз колон.

Способом розвитком розмірів підосви в плані (Рис.10, a) передбачається сприйняттям всіх позacentрових навантажень лише габаритами фундаменту без додаткових заходів. Способом влаштування затяжок (Рис.10, b) передбачається сприйняття поперечних сил за допомогою затяжок, які з'єднують протилежні фундаменти через прольот будівлі. У вигляді затяжок можуть бути залізобетонні балки або металеві пластини, які працюють на розрив. Металеві пластини мають бути захищені від корозії, часто їх влаштовують у конструкції підлоги. Такий спосіб часто застосовувався при будівництві ангарів для літаків.

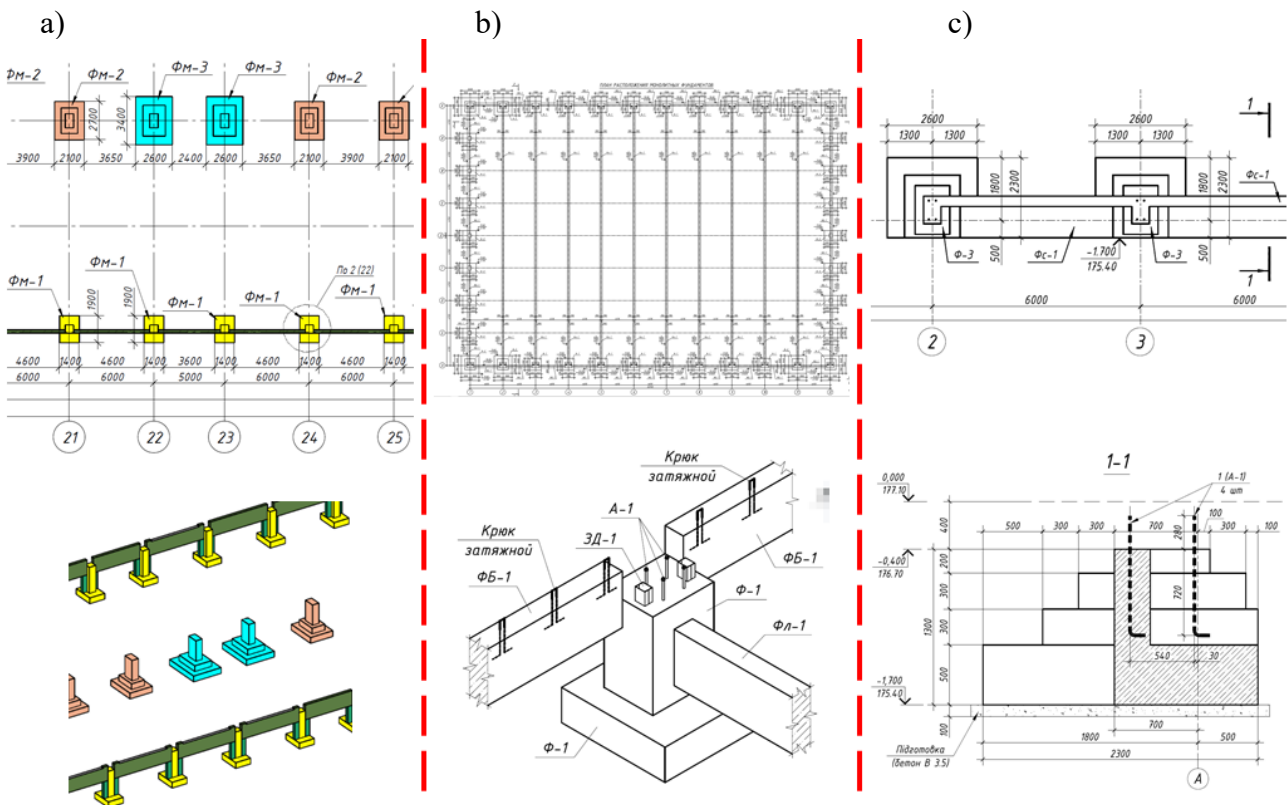


Рис.10.Способи конструювання фундаментів для погашення відриву підосви фундаментів: a) розвиток розмірів підосви в плані; b) влаштування затяжок; c) влаштування упорів або розпірок.

Fig.10. Methods of construction of foundations to compensate for separation of the foundations base: a) the development of the dimensions of the base in the plan; b) setting puffs; c) setting of stops or struts.

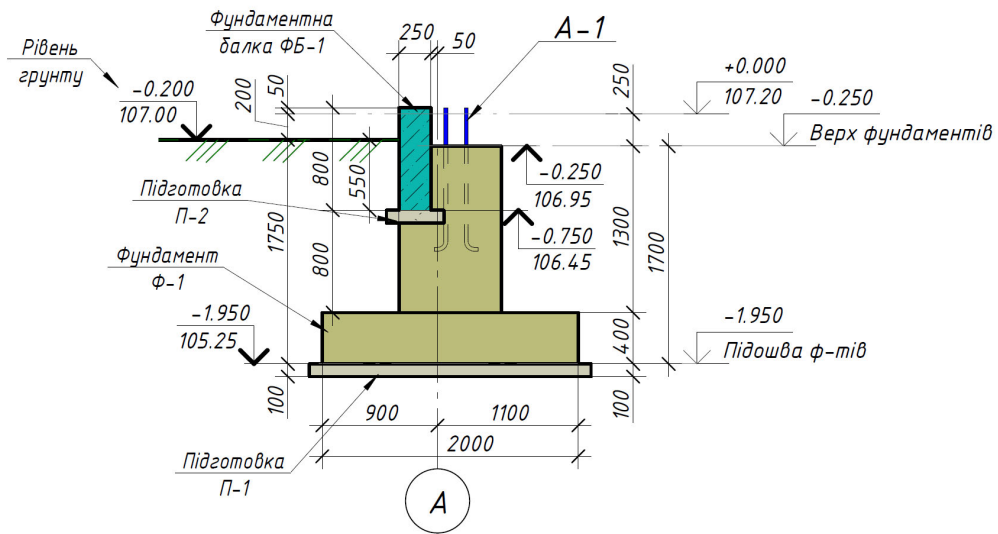


Рис.11. Приклад креслення фундаменту неглибокого закладання під крайню колону.
 Fig.11. An example of a drawing of the shallow foundation under the extreme column.

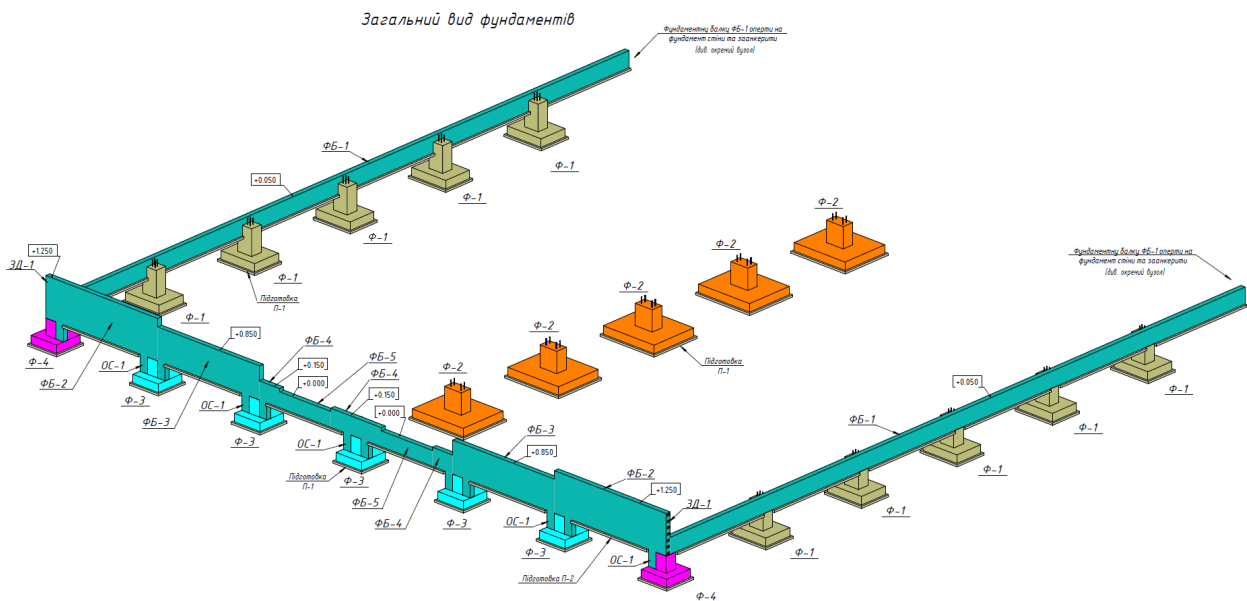


Рис.12. Фрагмент загального виду фундаментів неглибокого закладання з фундаментними балками.
 Fig.12. A fragment of the general type of the shallow foundations with foundation beams.

Способом влаштування упорів або розпірок (Рис.10, с) передбачається сприйняття поперечних сил та перекидних моментів шляхом влаштування додаткових сапожкових стінок. В даному способі є важливий недолік – для того, щоб даною стінкою сприймалася поперечна сила, необхідно забезпечити стійкість ґрунту за даною стінкою з неможливістю її руху. А це практично зробити неможливо, так як ґрунт в будь-якому випадку має здатність до ущільнення. Такий

спосіб може бути використаний у випадку влаштування за межами будівлі бетонного або асфальто - бетонного покриття із значною ущільненою підготовкою із можливістю упору конструкцій фундаментів.

Вибір того чи іншого способу конструювання фундаментів для погашення відриву підшви фундаментів необхідно виконувати із врахуванням загальної конструктивної схеми будівлі, характеристик ґрунтів будівельного майданчика, можливості

виконання тих чи інших конструктивних рішень будівельною організацією. На Рис. 11 та Рис. 12 наведено приклад креслення фундаменту неглибокого закладання під крайню колону та фрагмент загального виду фундаментів з фундаментними балками відповідно. На даних кресленнях показано варіант стикування окремих фундаментів з фундаментними балками, що забезпечує сприймання фундаментними балками поперечних сил, які діють вздовж балок.

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

Показано, що складне позацентрове навантаження на стовпчасті фундаменти неглибокого закладання впливає на їх габарити та формує реактивну епюру в ґрунтовій основі, що вимагає окремого підходу до визначення напружень в ґрунті для перевірки розмірів підшви фундаменту та для розрахунку армування підшви фундаменту.

Встановлено, що для визначення напружень під підшвою фундаменту для перевірки його розміру необхідно враховувати всі додаткові сили, які виникають від додаткових конструктивних рішень, наприклад такі як: навантаження від ґрунту на уступах фундаменту (G_s), навантаження від підсипки під підлогу ($G_{нас}$), навантаження від конструкції підлоги ($G_{під}$), корисне навантаження на підлогу ($G_{кор}$), навантаження від ваги фундаментної балки ($G_{ФБ}$), навантаження від зовнішніх стін ($G_{ст}$) тощо.

Для розрахунку армування підшви фундаменту необхідно окремо визначати напруження під підшвою фундаменту, так як воно буде відрізнятись від напружень для перевірки розмірів підшви фундаменту. В даному випадку необхідно враховувати частину додаткових навантажень з «від'ємним» знаком, так як вони діють зверху на ступень фундаменту та розвантажують його. Це призводить до зменшення площі армування підшви фундаменту до 2-ох разів, що зменшує вартість фундаментів.

Показано, що для зменшення негативного впливу позацентрального навантаження на фундаменти можна використовувати різні конструктивні способи.

ЛІТЕРАТУРА

1. Основи і фундаменти будівель та споруд. Основні положення: ДБН В.2.1-10:2018. – К.: Укрархбудінформ, 2018. – 36 с.
2. Цимбал С.Й. Розподіл напружень в основі стовпчастих фундаментів / С.Й. Цимбал, В.К. Чибіряков // *Основи і фундаменти: Міжвідомчий науково-технічний збірник*. – К.: КНУБА, 2005. – Вип. 29. – С. 132-137.
3. Цимбал С.Й. Розподіл напружень в основі стрічкових фундаментів / С.Й. Цимбал, М. Шахмохаммаді // *Опір матеріалів і теорія споруд: Науково-технічний збірник*. – К.: КНУБА, 2009. – Вип. 84. – С. 147-154.
4. Малишев О. Розподіл напружень у основі стрічкових фундаментів з врахуванням впливу коефіцієнта пористості / О. Малишев, П.Олійник // *Науково-технічний збірник «Основи та фундаменти»*. – К.: КНУБА. – 2019. – Вип. 38. – С. 22-27. DOI: 10.32347/0475-1132.38.2019.22-27.
5. Корнієнко М.В. Проектування центрально завантажених плитних фундаментів під окремі колони за сучасними нормами / М.В. Корнієнко, Л.А. Мурашко, Т.В. Диптан, О.В. Козак // *Збірник наукових праць [Полтавського національного технічного університету ім. Ю. Кондратюка]. Сер. : Галузеве машинобудування, будівництво*. – Полтава: ПолтНТУ, 2013. – Вип. 3(38), Т2. – С. 175-185.
6. Корнієнко М.В. Розрахунок стовпчастих монолітних фундаментів за Європейськими нормами: посібник / М.В. Корнієнко, Т.В. Диптан, А.М. Ращенко. – К.: КНУБА. 2015. – 72с.
7. Корнієнко М.В. Основи і фундаменти. Навчальний посібник. – К.: КНУБА. 2009. – 150с.
8. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення: ДБН В.2.6-98:2009. – К.: Укрархбудінформ, 2011. – 71 с.

REFERENCES

1. Osnovy i fundamenti budivel ta sporud. Osnovni polozhennia: DBN V.2.1–10:2018 [Bases and foundations of buildings and structures. Substantive provisions]. (2018). Kyiv: Ukrarhbuildinform, 36 (in Ukrainian).
2. Tsymbal S.Y., Chibiyarakov V.K. (2005). Rozpodil napruzhen' v osnovi stovpchastykh fundamentiv. [Distribution of stresses on the base of columnar foundations]. *Osnovy i fundamenti: Mizhvidomchyj naukovy-*

- tekhnichnyj zbirnyk*. Kyiv: KNUBA, 29. 132-137 (in Ukrainian).
3. Tsymbal S.Y., Shahmohammadi M. (2009). Rozpodil napruzhen' v osnovi strichkovykh fundamentiv. [Distribution of stresses on the base of strip foundations]. *Opir materialiv i teoriya sporud. Naukovo-tekhnichnyj zbirnyk*. Kyiv: KNUBA, 84. 147-154 (in Ukrainian).
 4. Malyshev O, Oliinyk P. (2019). Rozpodil napruzhen u osnovi strichkovykh fundamentiv z vrakhuvanniam vplyvu koefitsiienta porystosti [Distribution of stresses on the base of strip foundations with consideration influence of the porosity coefficient]. *Naukovo-tekhnichnyi zbirnyk «Osnovy ta fundamenty»*, Kyiv: KNUBA, 38, 22-27. (in Ukrainian). DOI: 10.32347/0475-1132.38.2019.22-27.
 5. Korniyenko M.V., Murashko L.A., Dyptan T.V., Kozak O.V. (2013). Proektuvannia tsentralno zavantazhenykh plytynykh fundamentiv pid okremi kolony za suchasnymi normamy [Design of central loaded plate bases under separate columns in accordance with modern standards]. *Zbirnyk naukovykh prats [Poltavskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu im. Yu. Kondratiuka]*. Ser. : *Haluzeve mashynobuduvannia, budivnytstvo*. Poltava: PolNTU, 3(38), T2. 175-185 (in Ukrainian).
 6. Korniyenko M.V., Dyptan T.V., Rashchenko A.M. (2015). Rozrakhunok stovpchastykh monolitynykh fundamentiv za Yevropeiskymy normamy: posibnyk [Calculation of columnar monolithic foundations according to European standards: manual]. Kyiv: KNUBA, 72 (in Ukrainian).
 7. Korniyenko M.V. (2009). Osnovy i fundamenty. Navchalnyi posibnyk [Basics and foundations. Tutorial]. Kyiv: KNUBA, 150 (in Ukrainian).
 8. Betonni ta zalizobetonni konstruktsii. Osnovni polozhennia: DBN V.2.6-98:2009 [Concrete and reinforced concrete structures. Substantive provisions]. (2011). Kyiv: Ukrarhbudinform, 71 (in Ukrainian).

Investigation of the impact of complex loading on the shallow foundations and the formation of a reactive layer in the soil base

Vasyl Pidlutskyi

Summary. The effect of a complex load on the shallow foundations, features of pressure transfer to

the base soil, formation of a reactive layer in the soil base, features of determining the dimensions of the sole of square and rectangular foundations, as well as the character of the reinforcement of the foundations and the dependence of the reinforcement of the foundation sole on the stress formed under it were studied. Particular attention is paid to the action of various combinations of complex loads on the foundation, which can lead to separation of the foundation sole and, as a result, to its overturning.

The studies were carried out on the shallow foundations, columnar, made of monolithic reinforced concrete, on which metal columns rest and are fastened with the help of anchor (foundation) bolts. Buildings with a metal frame on such foundations are most often intended for warehouses, production or trade centers, agricultural facilities, service stations and many others.

The effect of additional loads on the foundations during the verification of the accepted sizes of the soles of the foundations is shown. Such additional loads can be: the weight of the foundations, the weight of the soil on the ledges of the foundations, the weight of the backfill under the floor, the weight of the floor structure, the useful load on the floor, the weight of the foundation beam, the weight of the hanging walls, etc.

Under the action of a complex off-center load at different moments of time, as a result of the action of various combinations of loads, under the sole of the foundations there are alternating stresses: average, maximum and minimum, which can lead to separation of the foundation sole. These stresses depend on the accepted dimensions of the foundation sole, and also affect their reinforcement. But the question arises: do the same stresses under the sole of the foundations affect the dimensions of the foundations and the determination of their reinforcement? The paper shows that to check the dimensions of the sole of the foundations, it is necessary to take into account the "standard" stresses under the sole of the foundations, and to determine their reinforcement - completely different stresses. Many scientists and designers are unaware of this fact. Therefore, incorrect consideration of the stresses under the sole of the foundations precisely to determine their reinforcement can lead to incorrect results, which will affect the reliability and cost of the foundations of the above buildings.

The work presents methods of constructing foundations of shallow laying under the action of an off-center load with the aim of absorbing it.

Key words. Shallow foundations, load combinations, dimensions of foundations, stresses under foundations, earth back pressure.