

Роль параметрів фундаментних конструкцій у формуванні напружено-деформованого стану фундаментів будинку

Вероніка Жук¹, Богдан Шульгач²

Київський національний університет будівництва і архітектури
31, просп. Повітрофлотський, Київ, Україна, 03037,

¹zhuk.vv@knuba.edu.ua, orcid.org/0000-0002-1114-3192

²bodik_ter@ukr.net

DOI: 10.32347/0475-1132.42.2021.19-29

Анотація. Вимоги до раціональних фундаментних конструкцій стосовно їх надійності та економічності проектних рішень обумовлюють виконання розрахунків з обов'язковим врахуванням взаємодії несучих конструкцій будівлі з ґрунтовою основою. Комп'ютерне моделювання дає можливість виконувати такі розрахунки та отримати в результаті напружено-деформований стан фундаментних, несучих конструкцій надземної частини будинку і ґрунтової основи.

Числове моделювання спільної роботи будівлі з ґрунтовим масивом дає можливість досліджувати вплив всіх складових єдиної системи «ґрунтова основа – фундамент - будівля». При цьому, є можливість розглядати різні варіанти розташування елементів в плані, геометричні розміри елементів та їх властивості. Результати розрахунків взаємодії будівлі з ґрунтом дають можливість обрати оптимальний варіант фундаментних конструкцій, економічно ефективний та надійний.

В рамках дослідження було виконано пошук раціональних параметрів фундаментних конструкцій будівлі шляхом числового моделювання спільної роботи елементів системи «ґрунтова основа-фундамент-будівля». Дослідження було виконано на прикладі 16-поверхового каркасного будинку.

Виконано дослідження впливу параметрів пальового фундаменту на напружено-деформований стан фундаментних конструкцій та несучих елементів каркасу будинку, а саме:

- Розглянуто вплив розташування паль в плані, досліджено процес перерозподілу зусиль в палях в залежності від кількості та розташування паль в межах контуру будинку, виконано оцінку деформацій.



Вероніка Жук
доцент кафедри
геотехніки
к.т.н., доц.



Богдан Шульгач
магістр кафедри
геотехніки

- Здійснено пошук оптимальної довжини паль, виконано дослідження залежності між довжиною паль та деформаціями, їх несучою здатністю та кількістю. Отримано розподіл паль за коефіцієнтом використання їх несучої здатності по ґрунту.
- Виконано дослідження впливу жорсткості ростверку пальового фундаменту на перерозподіл напружень і деформацій у конструкціях будинку. Виявлено залежність між товщиною ростверку та відсотком армування елементів каркасу будівлі.

Підтверджено результатами дослідження, що використання числового моделювання взаємодії пальового фундаменту з ґрунтовою основою дозволяє отримати кількісну оцінку НДС для пошуку раціональних параметрів на етапі проектування фундаментних конструкцій.

Ключові слова. Числове моделювання, напружено-деформований стан, жорсткість фундаменту, пальовий фундамент, монолітний залізобетонний каркас.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

В галузі будівництва багатоповерхових споруд сьогодні підвищується важливість врахування на етапі виконання розрахунків та прийняття проектних рішень всіх особливостей геологічних умов будівельного майданчика, закономірностей поведінки ґрунтів під навантаженням, особливостей взаємодії з фундаментами. Отримання максимально наближеної до реальних умов картини напружено-деформованого стану (НДС) несучих конструкцій обумовлює необхідність розглядати ґрунтову основу і фундамент будинку разом з його надземною частиною як єдину систему.

Практика проектування та результати проведення моніторингу осідань новозведених будівель і споруд виявили наявність значних розбіжностей між розрахунковими і фактичними значеннями деформацій. Цей факт пояснюється наближеністю розрахункових схем, наявністю певних спрощень, застосуванням певних припущень, на яких базуються моделі середовищ для виконання числового моделювання спільної роботи будівель і споруд з ґрунтовою основою. Важливим фактором комп'ютерного моделювання також є врахування послідовності процесу навантаження ґрунтів, яка буде відповідати реальним умовам. Отже, виконання розрахунків спільної роботи будівель і споруд з ґрунтовою основою з використанням числового моделювання, є актуальним питанням для сучасної практики проектування фундаментних конструкцій.

Виконання дослідження впливу параметрів пальового фундаменту на напружено-деформований стан фундаментних конструкцій для пошуку раціонального варіанту проектного рішення є важливим і необхідним етапом сучасного проектування фундаментів будівель і споруд [2-3, 5].

АНАЛІЗ ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Врахування особливостей взаємодії ґрунтової основи з пальовими фундаментами при виконанні геотехнічних розрахунків є

важливим етапом проектування фундаментних конструкцій багатоповерхових будівель. Досвід проектування та влаштування пальових фундаментів показав, що перерозподіл навантаження на палі, виникнення внутрішніх зусиль у ростверку пальового фундаменту суттєво залежить від взаємодії всіх елементів системи «ґрунтова основа – фундамент - будівля» [2-4]. Дослідженнями впливу параметрів паль на перерозподіл навантаження між палями та формування напружено-деформованого стану пальового фундаменту займалися в різні часи ряд вчених, серед яких А.О.Бартоломей, І.П.Бойко [1], Б.І.Далматов, Р.Катценбах, В.Л.Підлуцький [3] та інші. Сьогодні пошук раціональних параметрів конструкцій на етапі проектування несучих елементів будівель і споруд залишається актуальним питанням.

МЕТА РОБОТИ

Метою виконаного дослідження є пошук раціональних параметрів фундаментних конструкцій будівлі шляхом числового моделювання взаємодії елементів системи «ґрунтова основа-фундамент-будівля».

ОСНОВНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

В рамках проведеного дослідження було виконано пошук раціональних параметрів фундаментних конструкцій будинку за результатами числового моделювання взаємодії елементів системи «ґрунтова основа-фундамент-будівля».

Для пошуку оптимального варіанту фундаментних конструкцій розглядалися наступні задачі:

- Аналіз впливу розташування паль в плані на НДС будинку.
- Оцінка впливу довжини паль пальового фундаменту на формування напружено-деформованого стану конструкцій будинку.
- Дослідження впливу жорсткості ростверку пальового фундаменту на перерозподіл напружень і деформацій у конструкціях будинку.

Дослідження було виконано на прикладі багатоквартирного житлового будинку з вбудованими приміщеннями громадського призначення, що за класом наслідків відповідальності відноситься до СС2. Коефіцієнт надійності за призначенням для II класу відповідальності $\gamma_n = 1,15$. Граничне осідання основ для заданого виду будівель і споруд $S_u = 15$ см.

Досліджувана будівля 16-ти поверхова, прямокутна за планом, з габаритами в осях 49,2 м x 18,0 м. Висота будівлі 54,45 м. Під всією будівлею влаштовано підвал. Частину цокольного та весь перший поверх займають торговельні приміщення.

Конструктивна схема житлового будинку каркасна (монолітний залізобетонний безригельний в'язевий каркас). Вертикальну жорсткість каркасу забезпечують жорсткі вузли сполучення колон, діафрагм жорсткості і плит перекриття і покриття між собою в поздовжньому, і поперечному напрямках. Просторова жорсткість будівлі забезпечується сумісною роботою всіх елементів каркасу будівлі – колонами, стінами стовбура жорсткості та монолітними залізобетонними плитами перекриття.

Геологічна будова ділянки представлена четвертинними та палеогеновими відкладами (рис.1, табл.1). Вся товща з денної поверхні перекривається техногенними насипними ґрунтами. Підземні води на період вишукування були зафіксовані на глибинах 6,0...11,5 м. Сезонні коливання рівня ґрунтових вод прогнозуються в межах $\pm 1,5$ м. Ґрунтові води не агресивні, не мають напірних властивостей. Під час інтенсивних атмосферних опадів прогнозується виникнення на глибинах 4,5...6,2 м тимчасового водоносного горизонту типу «верховодка». Фундамент будинку пальовий з ростверками плитного типу із монолітного залізобетону. При цьому пошук раціональних параметрів фундаменту було задачею даного дослідження: за результатами розрахунку взаємодії будинку з ґрунтовою основою як елементів системи «ґрунтова основа – фундамент – надземна частина будівлі» було заплановано виконати пошук та призначення раціональної довжини паль,

ефективного розташування паль в плані та оптимальної товщини ростверку.

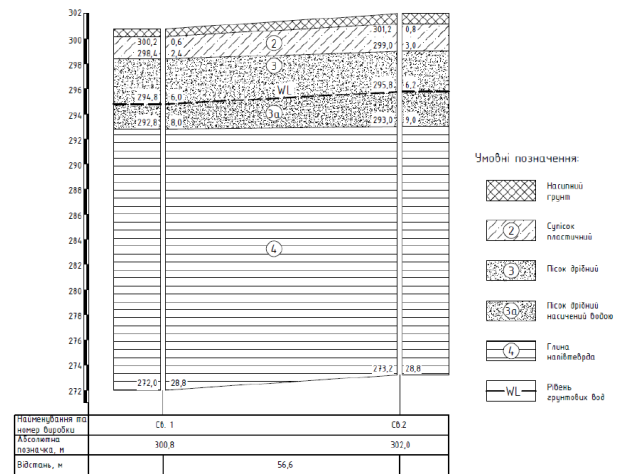


Рис.1 Інженерно-геологічний розріз
Fig.1 Geological conditions of the construction site

Для реалізації вищенаведених задач дослідження було виконано розрахунки спільної роботи будинку з ґрунтовою основою шляхом числового моделювання з використанням ПК ЛІРА. Скінчено-елементна модель (рис.2) включає всі елементи системи «ґрунтова основа – фундамент - будівля».

Для аналізу впливу розташування паль в плані було виконано дослідження перерозподілу зусиль в палях, в залежності від зміни кількості та розташування паль в межах контуру будинку.

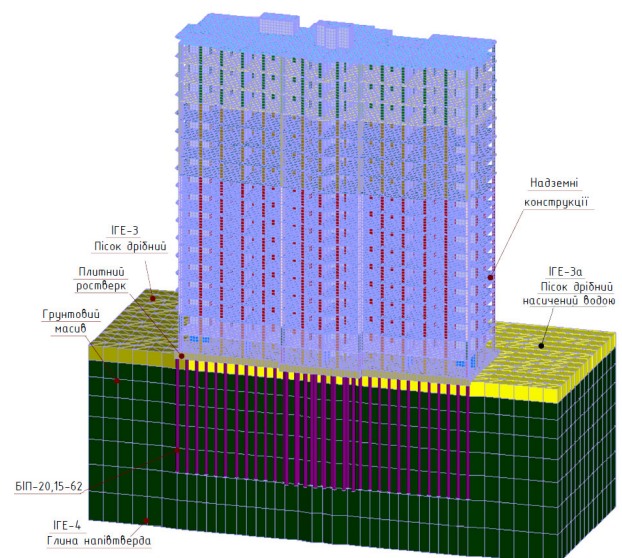


Рис.2 Скінчено-елементна модель системи «ґрунтова основа – фундамент - будівля»
Fig.2 Finite element model of the «soil base - foundation – building» system

Табл. 1. Фізичні характеристики ґрунтів будівельного майданчика
 Table 1. Physical characteristics of soils of the construction site

№ шару	Найменування ґрунту	Потужність шару, м	Щільність, т/м ³		Питома вага ґрунту, кН/м ³		Природна вологість, W	Межі		Число пластичності, I _p	Показник текучості, I _L	Коефіцієнт пористості, e	Ступінь вологості S _r	Питома зчеплення, C _п , кПа	Кут внутрішнього тертя, φ _n	Модуль деформації, E, МПа	Розрахунковий опір, R ₀ , кПа
			ρ	ρ _s	γ/γ _{sat}	γ _s		пластичності, W _p	текучості, W _L								
1	Насипний	0,6	1,67	-	16,38	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	Супісок пластичний	1,8	1,85	2,66	18,15	26,09	0,13	0,12	0,14	0,02	0,5	0,62	0,54	14	25	26,4	292
3	Пісок дрібний, шільний, малого ступеня водонасиченості	3,6	1,8	2,64	17,66	25,9	0,09	-	-	-	-	0,59	0,389	3,2	34,4	34	400
3а	Пісок дрібний, шільний, насичений водою	2,0	$\frac{1,8}{2,03}$	2,64	$\frac{17,66}{19,9}$	25,9	0,23	-	-	-	-	0,59	1	3,2	34,4	34	300
4	Глина напівтверда	20,8	2,05	2,77	20,1	27,2	0,2	0,17	0,46	0,29	0,1	0,62	0,89	71,9	20,3	25,2	480

За початковий варіант, що розглядався для дослідження, було обрано варіант розташування паль за регулярною сіткою у шаховому порядку, з кроком паль 2 м (рис.3а). Загальна кількість паль при цьому склала 224 шт.

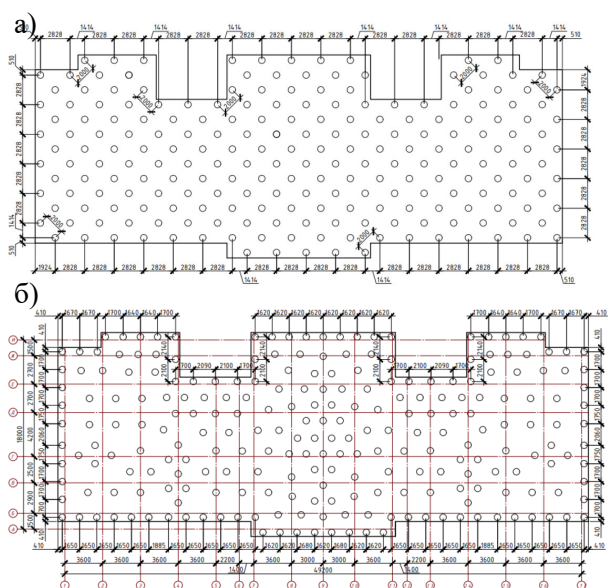


Рис.3 Схема розташування паль: а) за регулярною сіткою; б) раціональне розташування.
 Fig.3 Arrangement scheme of piles: a) regular arrangement; b) rational arrangement.

Аналіз результатів розрахунків (рис. 4а) дозволяє зробити висновок, що такий варіант розташування паль є нераціональним, через значну кількість недовантажених паль, а також, при цьому, максимальний коефіцієнт використання по несучій здатності для цього варіанту перевищує допустиме значення: $1,275 > 1$.

Було розроблено варіант раціонального розташування паль в межах площі завантаження (рис.3б), що забезпечує виконання вищевказаної умови.

За результатами розрахунків спільної роботи пальових фундаментів будівлі з ґрунтовою основою виявлено, що при розташуванні паль за регулярною сіткою палі недовантажені (рис.4а). Зменшивши кількість середніх паль і збільшивши кількість периферійних паль було досягнуто раціонального розподілу зусиль в палях (рис.4б), частково перевантаживши периферійні палі $F_{d,max} = 1.14 > 1$, перевантаження периферійних паль на 14% є допустимим.

Числове моделювання показало, що характер деформування ростверку пальового фундаменту будинку внаслідок зміни розташування паль змінюється несуттєво

(рис.5). Величина осідання ростверку в максимальних точках та відносна різниця осідань при цьому не перевищує допустиме діючими нормами граничне значення.

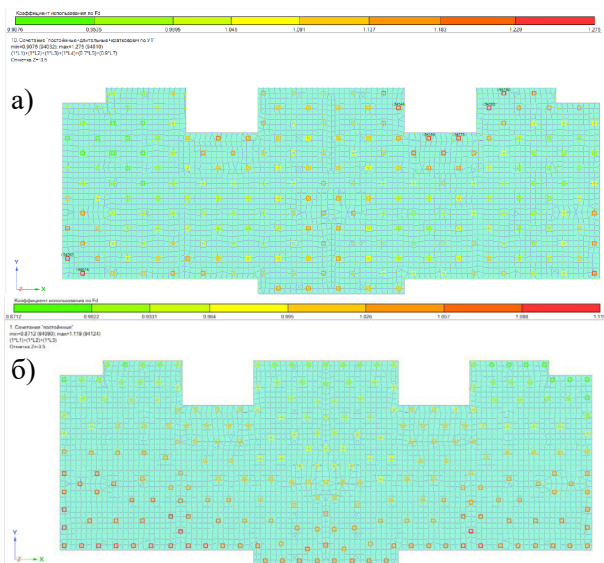


Рис.4 Мозаїка коефіцієнту використання по несучій здатності паль: а) розташування паль за регулярною сіткою; б) раціональне розташування паль.

Fig.4 Mosaic of the utilization rate by pile bearing capacity: a) regular arrangement of piles; b) rational arrangement of piles.

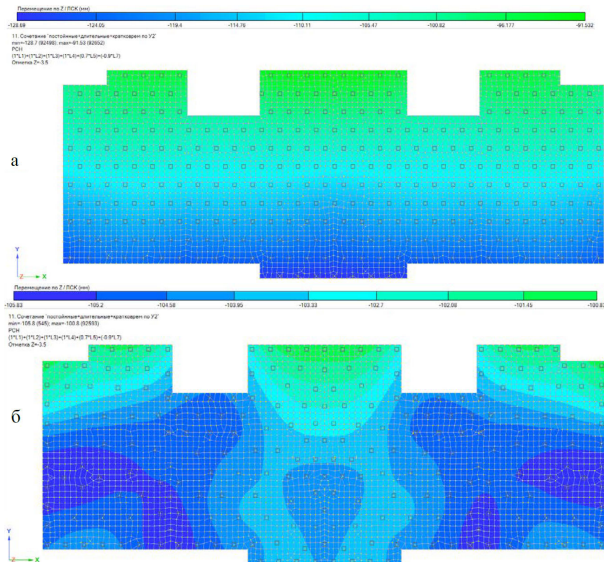


Рис.5 Осідання ростверку пального фундаменту: а) розташування паль за регулярною сіткою; б) раціональне розташування паль.

Fig.5 Settlement of pile caps: a) regular arrangement of piles; b) rational arrangement of piles.

Діаграма зміни кількості паль в окремих зонах (рис.6) свідчить, що кількість паль при раціональному розташуванні була зменшена на 62 шт, що становить 21% від початкової їх кількості.

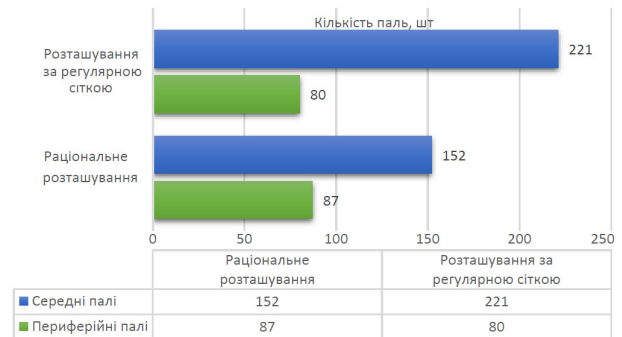


Рис.6 Діаграма зміни кількості паль в окремих зонах.

Fig.6 Chart of the change of piles amount in certain areas.

При раціональному розташуванні паль, максимальні зусилля, N_{max} на середні та периферійні палі зросли не суттєво (рис.7). N_{max} периферійних паль збільшились на 3%, а для середніх паль збільшилось на 21%. Отже, в зоні розташування середніх паль за рахунок збільшення N_{max} прогнозується більш рівномірний розподіл зусиль.

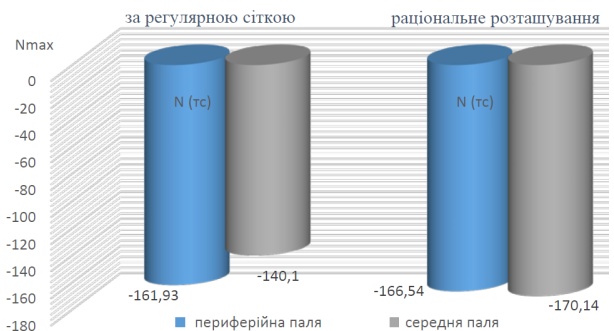


Рис.7 Діаграма максимальних зусиль в палях в окремих зонах

Fig.7 The diagram of the maximum piles efforts in separate zones

Найбільш навантаженими елементами каркасу будівлі є колони цокольного та першого поверхів, за результатами розрахунків для схеми розташування паль за регулярною сіткою $N_{max} = 364,96$ тс, та $N_{max} = 352,29$ тс для схеми раціонального розташування паль. На рис.8 виділені вертикальні несучі конструкції нижнього поверху будівлі, у яких виникають максимальні за величиною деформації.

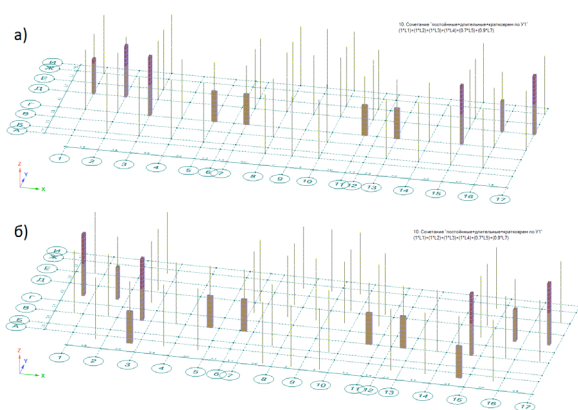


Рис.8 Несучі конструкції будівлі у яких виникають найбільші деформації: а) розташування паль за регулярною сіткою; б) раціональне розташування паль.

Fig.8 The load-bearing structures of the building in which the greatest deformations occur: a) regular arrangement of piles; b) rational arrangement of piles

У варіанті з регулярною сіткою розташування паль, найбільшим деформаціям піддаються колони центральної частини каркасу будинку в осях Г-Д (рис.8а), а саме в зонах максимального прогину фундаментів будинку при осідання основ від ваги будинку. В той же час, при раціональному розташуванні паль зафіксовано, що максимальні деформації виникають не лише в центральних колонах, а й в крайніх (рис.8б). Це означає, що зусилля і деформації каркасу будівлі при варіанті раціонального розташування паль розподіляються більш рівномірно, тим самим зменшуючи деформації несучих конструкцій.

За результатами виконаного дослідження було підмічено, що палі крайових зон є більш завантажені ніж палі в центральній зоні. Для ефективного використання несучої здатності паль по ґрунту необхідно намагатися досягнути раціонального розташування паль у фундаменті. Критерієм раціонального розташування паль є рівномірний розподіл зусиль, забезпечення ефективної роботи паль по бічній поверхні.

Отже, для зменшення витрат матеріалів, скорочення строків будівництва та економічної ефективності конструкцій доцільно проводити розрахунок по виявленню раціонального розташування паль у паловому фундаменті.

З метою пошуку оптимальної довжини паль було виконано дослідження залежності між довжиною паль та деформаціями ростверку будинку, їх несучою здатністю та кількістю.

Дослідження було виконано для раціонального розташування паль (рис.3б), при цьому розглядалися варіанти довжини паль $L=20\text{м}$, 22м та 24м . Несучим шаром ґрунту палового фундаменту для всіх варіантів виступає ПГЕ-4 - глина напівтверда (рис.1, табл.1).

За результатами розрахунків було виявлено, що збільшення довжини паль не є раціональним для даних геологічних умов, оскільки суттєвого впливу на напружено-деформований стан конструкцій не було зафіксовано згідно даних моделювання (табл.2). Вплив збільшення довжини паль на величину осідання за даними числового моделювання не перевищує $2\dots 3\text{мм}$ (рис.9), при цьому різниця осідань між крайніми кутовими палями не перевищує 1см .

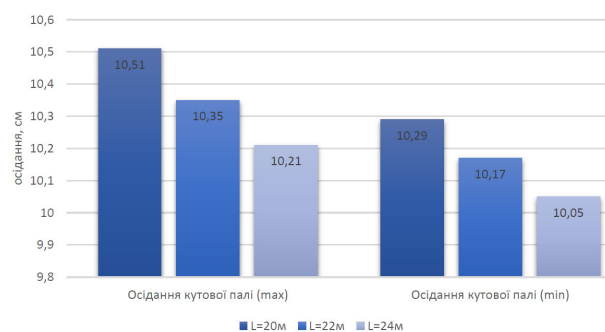


Рис.9 Діаграма осідання паль в окремих зонах
Fig.9 Piles settlement diagram for separate zones

За результатами виконаного дослідження впливу довжини паль на їх несучу здатність отримано розподіл паль в плані з різним коефіцієнтом використання паль по несучій здатності (рис.10). Були складені діаграми кількості паль для розглянутих варіантів довжини паль (рис.11) залежно від значення F_d . Аналіз результатів розрахунків показав, що при довжині паль $L=20\text{м}$, кількість перевантажених паль становить 15% , недовантажених 36% (рис.11а); при $L=22\text{м}$, кількість перевантажених паль становить $0,004\%$, недовантажених 79% (рис.11б); при $L=24\text{м}$, кількість перевантажених паль становить 0% , недовантажених 100% (рис.11в).

Табл. 2. Вплив довжини палів на вертикальні зусилля в окремих елементах
Table 2. Influence of pile length on vertical forces in separate elements

Палі довжиною	Зусилля в пілонах		Зусилля в колонах		Зусилля в ростверку		Зусилля на оголовку палів	Нес. Здатн.
	N_x , тс/м ²	N_y , тс/м ²	N , тс	σ_{max} , тс/м ²	M_x , тс/м ²	M_y , тс/м ²	N , тс	F_d , тс
20м	183,29	1382,2	345,78	2328,2	121,35	127,97	170,17	202,01
22м	182,95	1387,5	345,75	2326,4	121,46	127,58	170,68	223,3
24м	182,82	1390,8	345,72	2321,1	121,71	127,57	170,75	245,12

Отже, для ефективного використання матеріальних ресурсів під час будівництва необхідно приділяти увагу пошуку раціонального варіанту пального фундаменту з оптимальними параметрами відношень довжини та кількості.

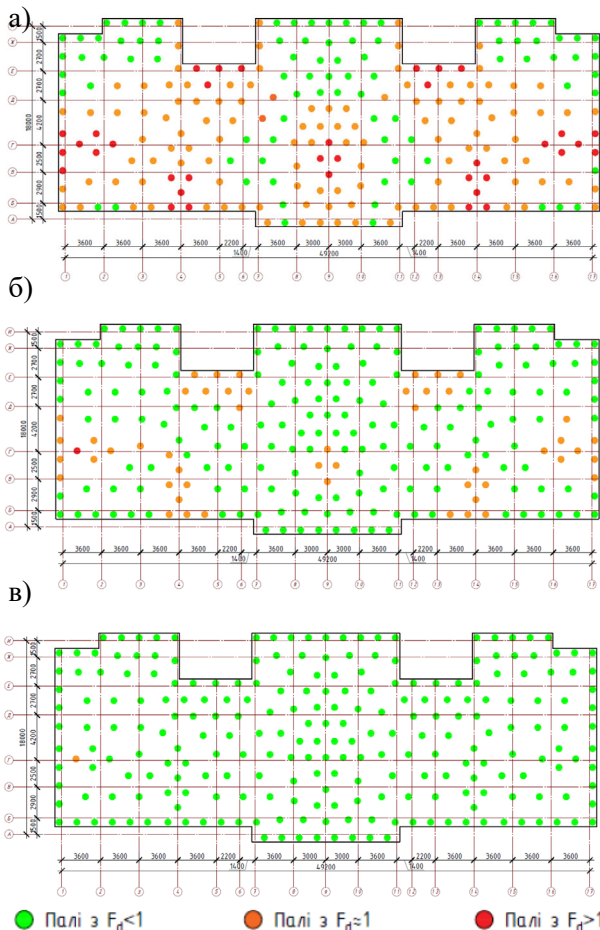


Рис.10 Коефіцієнт використання по несучій здатності палів: а) довжина палів 20м; б) довжина палів 22м; в) довжина палів 24м.

Fig.10 Coefficient of the utilization rate by pile bearing capacity: a) 20m length of piles; b) 22m length of piles; c) 24m length of piles.

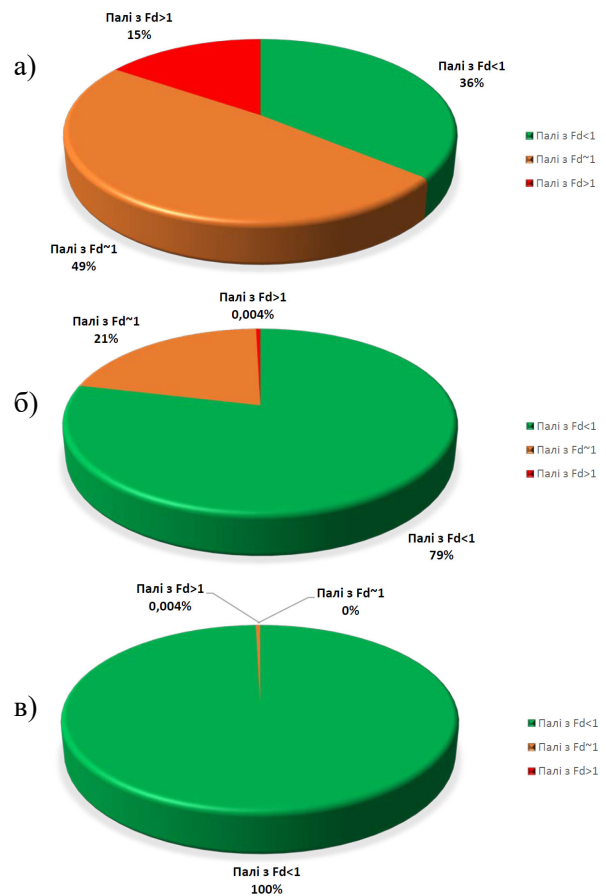


Рис.11 Діаграма кількості палів залежно від їх несучої здатності: а) довжина палів 20м; б) довжина палів 22м; в) довжина палів 24м.

Fig.11 Piles number diagram depending on the bearing capacity value: a) 20m length of piles; b) 22m length of piles; c) 24m length of piles.

Дослідження впливу жорсткості ростверку пального фундаменту на перерозподіл напружень і деформацій у конструкціях будинку було виконано для варіанту пального фундаменту будинку з плитним ростверком товщиною $h_r=1\text{м}, 1,2\text{м}, 1,4\text{м}$.

Аналіз отриманих результатів було виконано для головних напружень, що виникають у ростверку у контрольних точках (рис.12, 13) та для надземних конструкцій будівлі, а саме для вертикальних несучих

елементів каркасу. Результати розрахунків показали, що зі збільшенням товщини ростверку у пальовому фундаменті зменшуються головні напруження (табл.3).

Табл. 3. Значення напружень в ростверку в характерних точках
Table 3. Values of stresses in the pile cap at characteristic points

№ точок	Головні напруження, тс/м ²	Плита товщиною 1м	Плита товщиною 1,2м	Плита товщиною 1,4м
1	σ_3	-758,52	-566,91	-435,73
2		-845,63	-644,73	-511,51
3		235,43	169,43	127,19
4		-836	-640,75	-510,34
5		168,59	123,6	83,101
6		-1070,8	-769,28	-570,43
1	σ_1	-287,13	-207,4	-156,19
2		-285,34	-204,29	-154,05
3		336,12	237,05	168,49
4		-369,11	-265,92	-203,86
5		211,6	171,89	130,27
6		-79,99	-47,87	-33,525

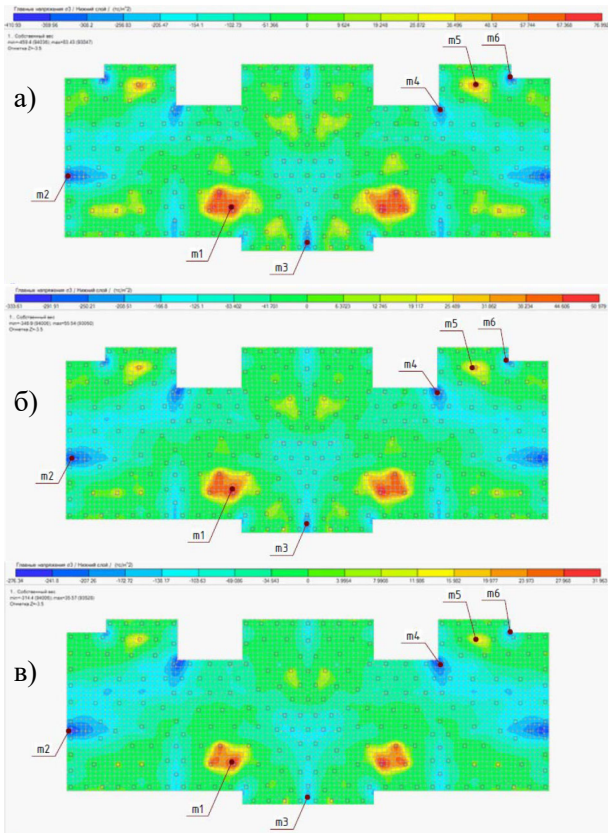


Рис.12 Мозаїка головних напружень σ_3 у ростверку товщиною: а) 1,0 м; б) 1,2 м; в) 1,4 м.
Fig.12 Mosaic of main stresses σ_3 in the pile cap: а) 1,0m cap height; б) 1,2m height; в) 1,4m height.

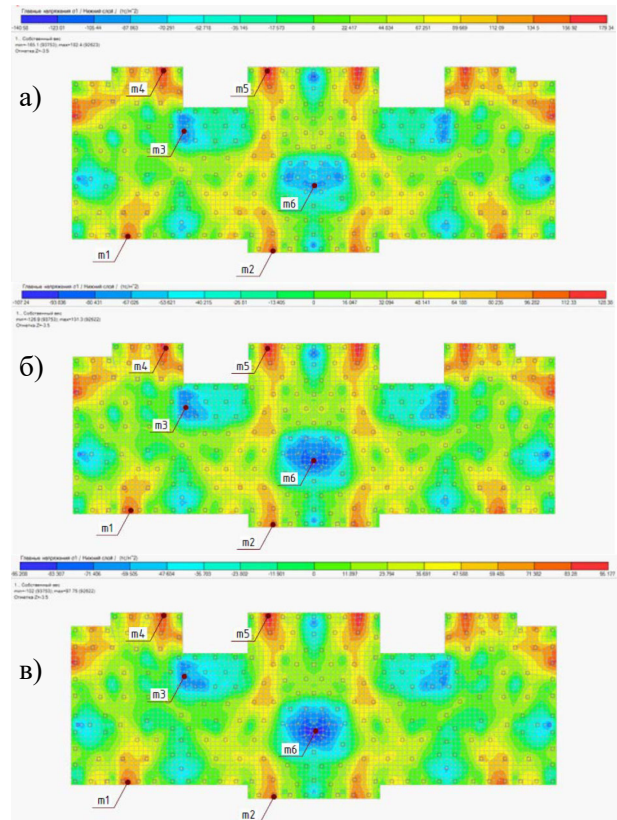


Рис.13 Мозаїка головних напружень σ_1 у ростверку товщиною: а) 1,0 м; б) 1,2 м; в) 1,4 м.
Fig.13 Mosaic of main stresses σ_1 in the pile cap: а) 1,0m cap height; б) 1,2m height; в) 1,4m height.

Такий аналіз дає змогу порівняти витрати арматури на армування плитного ростверку при різній його товщині, та відповідно визначити оптимальний варіант конструювання для раціонального співвідношення висоти ростверку до відсотку його армування. Перерозподіл напружень у контрольних точках ростверку залежно від його товщини показано на рис. 14.

Результати виконаних розрахунків показали, що зі збільшенням товщини ростверку у пальовому фундаменті зменшуються значення головних напружень у несучих елементах каркасу будівлі. Такий результат вказує на те, що збільшення товщини ростверку, дозволяє зменшити відсоток арму-

вання несучих елементів каркасу будівлі, що відкриває шлях до пошуку раціонального варіанту.

Було проаналізовано вплив жорсткості ростверку на значення напружень у вертикальних несучих елементах каркасу, на прикладі колони та пілону, що розташовані на першому та шістнадцятому поверхах будинку (табл.4). Зафіксовано зменшення перерозподілу напружень зі збільшенням товщини ростверку. На рис. 15 наведено графіки співвідношення напружень при різній товщині ростверку для верхнього та нижнього поверху будинку.

Табл.4. Значення напружень в вертикальних несучих елементах каркасу
Table 4. The value of stresses in the vertical bearing elements of the frame

Головні напруження, тс/м ²	Елемент каркасу	Плита товщиною 1м	Плита товщиною 1,2м	Плита товщиною 1.4м
σ_{min}	Колона 1	-1139	-1297,4	-1404,4
σ_{max}	поверху	-2720,1	-2512,5	-2374,9
σ_{min}	Колона 16	172,58	175,42	177,53
σ_{max}	поверху	-356,04	-357,04	-357,97
σ_{max}	Пілон 1	-1186,91	-1185,5	-1181,4
σ_{min}	поверху	-159,22	-157,75	-156,35
σ_{max}	Пілон 16	-268,67	-262,51	-258,03
σ_{min}	поверху	-55,35	-53,91	-52,84

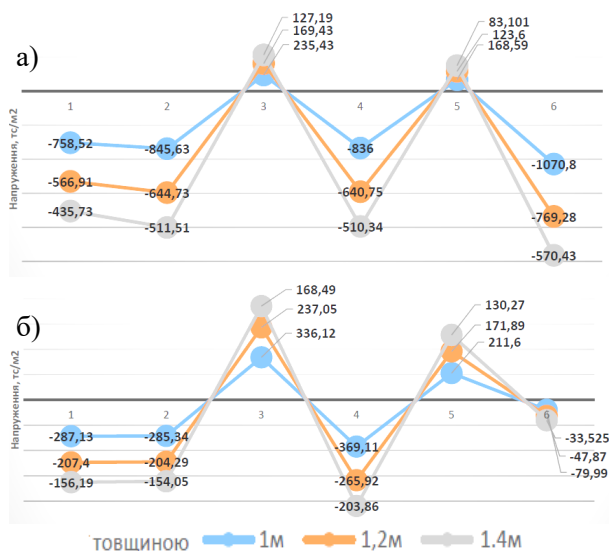


Рис.14 Напруження в характерних точках ростверку при різній його товщині: а) напруження σ_3 ; б) напруження σ_1 .

Fig.14 Stress at characteristic points of the pile cap depending on the different cap height: а) stress σ_3 ; б) stress σ_1 .

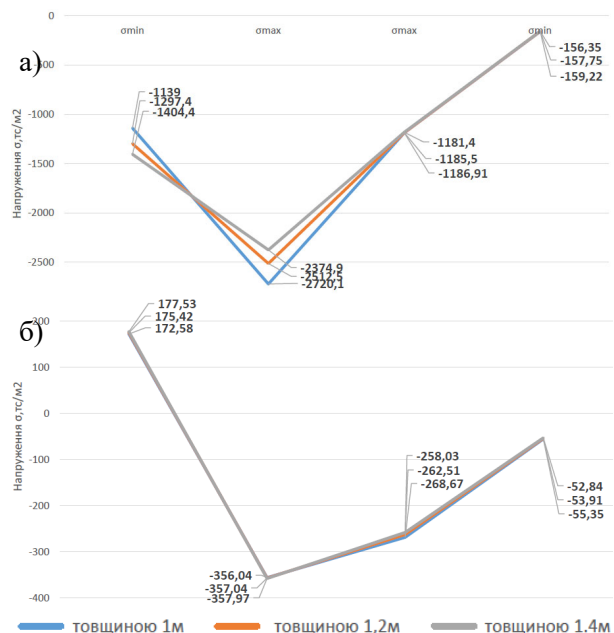


Рис.15 Напруження при різній товщині ростверку: а) несучих конструкцій першого поверху; б) останнього поверху.

Fig.15 The stresses at different pile cap thicknesses: а) structures of the bottom floor.; б) the top floor.

Підтверджено числовим моделюванням, що товщина ростверку впливає на розподіл внутрішніх зусиль у ньому. Зі збільшенням товщини, зменшуються напруження, що дозволяє зменшити відсоток армування пальового фундаменту. Також було встановлено за даними аналізу результатів розрахунків, що зі збільшенням товщини ростверку напруження в елементах каркасу будівлі також зменшуються.

Отже, такий результат вказує на те, що зміна параметрів плитного ростверку впливає на НДС каркасу будівлі, а саме відсоток армування несучих елементів. Це дозволяє раціонально підібрати необхідну товщину ростверку, для підвищення економічної ефективності проектного рішення та зменшення витрат матеріальних ресурсів.

Комп'ютерне моделювання спільної роботи будинку з ґрунтовим масивом з можливістю зміни параметрів конструкцій дозволяє виконати пошук оптимального варіанту фундаментів будинку, який, залишаючись економічно ефективним, забезпечить надійну експлуатацію будинку в заданих ґрунтових умовах.

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

- За результатами досліджень, проведених для 16-ти поверхової будівлі з монолітним залізобетонним каркасом на пальовому фундаменті, виконано комплексний аналіз впливу різних чинників, пов'язаних з геометричними параметрами і жорсткісними характеристиками пальового фундаменту, на НДС будівлі в цілому.
- Виявлено, що в залежності від геометрії розташування та взаємодії паль у фундаменті багатоповерхової будівлі необхідно виділяти характерні зони їх розташування: середню та периферійну.
- Встановлено, що раціональне розташування паль дозволяє зменшити їх кількість на 15-30% та розподіл навантаження між палями периферійної та центральної зони на 15-25% у порівнянні з розташуванням паль по регулярній сітці.
- Досліджено, що зміна довжини паль на

10-20% дозволяє збільшити крок між палями за рахунок зменшення коефіцієнту використання по несучій здатності. Це дає можливість краще включити в роботу бокову поверхню паль, що дозволяє отримати значний економічний ефект в результаті оптимізації розташування та кількості паль та виявлення резервів стосовно несучої здатності по ґрунту.

- Показано, що зміна товщини ростверку паль впливає на НДС основи та надземної частини будівлі. За рахунок збільшення товщини можна зменшити відсоток армування плити, та елементів каркасу будівлі. Такий підхід раціонального підбору висоти перерізу до армування дає змогу отримати хороший економічний ефект від ефективного використання матеріально-технічних ресурсів під час будівництва.
- За результатами техніко-економічного порівняння за основний варіант було прийнято ростверк товщиною 1200 мм, палі довжиною 20 м з раціональним розташуванням в плані.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бойко І.П. Дослідження влаштування паль у фундаменті різної довжини /І.П.Бойко, В.Л.Підлуцький// Збірник наукових праць [Полтавського національного технічного університету ім. Ю. Кондратюка]. Сер. : Галузеве машинобудування, будівництво. - 2012. - Вип. 4(2). - С. 42-48.
2. Жук В. Напружено-деформований стан фундаментів будинку з врахуванням можливого водонасичення лесових ґрунтів / В.Жук, О.П'ятков, С.Тарамбула // Основи і фундаменти: Міжвідомчий науково-технічний збірник. – К.: КНУБА. – 2020. – Вип. 41. – С. 22-31.
3. Підлуцький В.Л. Напружено-деформований стан елементів системи «основа – пальово-плитний фундамент - надземні конструкції» // Збірник наукових праць (Галузеве машинобудування, будівництво).–2007.–Вип.19. – С.108-113.
4. Підлуцький В.Л. Перерозподіл зусиль в пальовому фундаменті при влаштуванні паль різної довжини // Основи і фундаменти: Міжвідомчий науково-технічний збірник. –К.:КНУБА–2006.–Вип.30. – С. 77–83.

5. Józefiak, Kazimierz & Zbiciak, Artur & Maślakowski, Maciej & Piotrowski, Tomasz. (2015). Numerical Modelling and Bearing Capacity Analysis of Pile Foundation. *Procedia Engineering*. 111. 356-363.

REFERENCES

1. Boiko I.P., Pidlutskyi V.L. (2012). Doslidzhennia vlashtuvannia pal u fundamenti riznoi dovzhyny [Research of the arrangement of piles in the foundation of different lengths]. *Zbirnyk naukovykh prats Poltavskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu im. Yu. Kondratiuka. Ser. : Haluzeve mashynobuduvannia, budivnytstvo*. Poltava, 4(2), 42-48. (in Ukrainian)
2. Zhuk V., Piatkov O., Tarambula S. (2020). Napruzhenno-deformovanyi stan fundamentiv budynku z vrakhuvanniam mozhyvoho vodonasychnennia lesovykh gruntiv [Stress-strain state of the foundations of the building]. *Osnovy i fundamenty: Mizhvidomchyi naukovotekhnichniy zbirnyk*. K.:KNUBA, 41, 22–31. (in Ukrainian)
3. Pidlutskyi V.L. (2007). Napruzhenodeformovanyi stan elementiv systemy «osnova - palovo-plytnyi fundament - nadzemni konstruktsii». *Zbirnyk naukovykh prats: Haluzeve mashynobuduvannia, budivnytstvo*. Poltava, 19, 108-113. (in Ukrainian)
4. Pidlutskyi V.L. (2006). Pererozpodil zusyul v palovomu fundamenti pry vlashtuvanni pal riznoi dovzhyny. [Redistribution of forces in the pile foundation with piles of different lengths]. *Osnovy i fundamenty: Mizhvidomchyi naukovotekhnichniy zbirnyk*. K.: KNUBA, 30, 77–83. (in Ukrainian)
5. Józefiak, Kazimierz & Zbiciak, Artur & Maślakowski, Maciej & Piotrowski, Tomasz. (2015). Numerical Modelling and Bearing Capacity Analysis of Pile Foundation. *Procedia Engineering*. 111. 356-363.

The role of parameters of foundation structures in the formation of a stress-strain state of the foundations of the building

*Veronika Zhuk,
Bogdan Shulgach*

Summary. Requirements for the reliability and cost-effectiveness of rational foundation structures determine the performance of calculations taking into account the interaction of the load-bearing

structures of the building with the soil base. Computer modeling makes it possible to perform such calculations and obtain the stress-strain state of the structures of the building and the soil base.

Numerical modeling of the interaction of a building with a soil massif makes it possible to study the influence of all components of the system "soil base - foundation - building". At the same time, during numerical modeling it is possible to consider different options for the location of elements in the plan, different geometric dimensions of the elements and their properties. The results of the interaction calculations of the building with the soil base make it possible to choose the best option for foundation structures, which is cost-effective and ensures reliable operation of the building.

In this study, the search for rational parameters of the foundation structures of the building was performed by numerical modeling of the joint work of the elements of the system "soil base - foundation - building". The study was performed on the example of a 16-storey frame building.

A study of the influence of the parameters of the pile foundation on the stress-strain state of the foundation structures and bearing elements of the frame of the building:

- The influence of the piles location in the plan is considered. The process of redistribution of forces in piles depending on the amount and location within the contour of the building is investigated. Deformation assessment is performed.
- The optimal pile length has been searched. The relationship between the length of piles and deformations, their load-bearing capacity and quantity has been studied. The distribution of piles according to the coefficient of use of their bearing capacity has been obtained.
- A study of the influence of the stiffness of the foundation pile cap on the redistribution of stresses and strains in the structures of the building. The relationship between the thickness of the pile cap and the percentage of reinforcement elements of the frame of the building has been obtained.

It is confirmed by the results of the research that the use of numerical modeling of the interaction of the pile foundation with the soil base allows to obtain a quantitative assessment of the stress-strain state. It becomes possible to search for rational parameters at the design stage of foundation structures.

Key words. Numerical simulation, stress-strain state, foundation rigidity, pile foundation, monolithic reinforced concrete frame.