



МІРОШНИЧЕНКО ІРИНА ВОЛОДИМИРІВНА

Кандидат технічних наук, доцент кафедри видобування нафти і газу та геотехніки Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка.

Основні напрямки наукової діяльності – удосконалення методики розрахунку фундаментів у пробитих свердловинах.

Автор 20 опублікованих праць

E-mail: ipamuxa@mail.ru

ВЗАЄМОДІЯ НАБИВНИХ ПАЛЬ У ПРОБИТИХ СВЕРДЛОВИНАХ У СКЛАДІ СТРІЧКОВИХ РОСТВЕРКІВ ІЗ ЗАМОКЛИМИ ЛЕСОВИМИ ҐРУНТАМИ

Статтю присвячено удосконаленню методики визначення осідань будівель на набивних палях у пробитих свердловинах у складі стрічкових ростверків за умов замклик лесових ґрунтів. За лотковими випробуваннями проаналізовано взаємодію «зон впливу» між сусідніми палями у складі ростверку. Проведено тривалі геодезичні спостереження за осіданнями будівель на набивних палях у пробитих свердловинах у складі стрічкових ростверків за умов замклик лесових ґрунтів. Чисельним моделюванням за плоскою та просторовою задачами методу скінченних елементів, доведено, що при відстані між осями сусідніх паль до п'яти діаметрів коректним є вибір плоскої версії і спрощення розрахункової схеми до умовного стрічкового фундаменту.

Ключові слова: набивна паля у пробитій свердловині, стрічковий ростверк, замклі лесові ґрунти, лоткові випробування, осідання, геодезичні спостереження, модуль деформації, напружено-деформований стан, пружно-пластична модель з критерієм міцності Мора-Кулона, метод скінченних елементів.

Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок із важливими практичними завданнями. Набивні палі у пробитих свердловинах (НППС) вирізняє високий ступінь використання несучої здатності основи внаслідок формування в ній ущільненої зони, в межах якої зростає міцність і знижується деформативність ґрунту. Спосіб їх зведення дає змогу майже повністю вилучити земляні й опалубочні роботи, знизити витрати бетону в 1,2 – 2, металу – в 1,5 – 4, вартість і трудомісткість – у 1,5 – 2 рази, прискорити нульовий цикл в 1,5 – 2 рази порівняно з фундаментами, що виготовляють з виїманням ґрунту та заглибленням у ґрунт збірних елементів.

Як показує практика НППС найбільш раціонально застосовувати у лесових макропористих ґрунтах природної вологості при зведенні житлових будівель переважно зі стрічковими ростверками. Ці ґрунти поширені на 65 – 70% території України здебільшого на надзаплавних і вододільних терасах річок. Однак через підняття рівня ґрунтових вод і замкання масивів «зверху» на значних, особливо міських, територіях леси «деградують» і знижують свої механічні властивості.

На базі натурних досліджень фахівцями ПолтНТУ і НДІБК створена інженерна методика розрахунку НППС. За нею параметри розширених і ущільнених зон паль визначають залежно від параметрів трамбівок, матеріалу розширення, фізичних властивостей ґрунту, відстані між осями паль. Але для розширення нормативної бази проектування НППС і підвищення її достовірності потребує подальшого удосконалення методики визначення осідань об'єктів на НППС у складі стрічкових ростверків за умов замклик лесових ґрунтів, яка б урахувала взаємодію зон впливу сусідніх паль. Найбільш надійний шлях розв'язання цієї задачі – у порівнянні розрахованих і вимірених за тривалими геодезичними спостереженнями величин стабілізованих осідань натурних об'єктів. Тому актуальними є комплексні експериментально-теоретичні дослідження взаємодії НППС у складі стрічкових ростверків із замклыми лесовими ґрунтами.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, у яких започатковано розв'язання цієї проблеми. Фундаменти, які виготовляють у попередньо влаштованих порожнинах, досліджували А.О. Бартоломей, І.П. Бойко, Ю.Л. Винников, С.І.

Головко, В.М. Голубков, А.Л. Готман, Б.І. Далма-тов, М.Ф. Друкований, М.Л. Зоценко, М.В. Корнієнко, В.І. Крутов, О.О. Петраков, В.Л. Сєдін, Ю.Ф. Ту-гаєнко, В.Г. Шаповал, В.Б. Швець, В.С. Шокарев, Н. Brandl, М. Bustamante, W. van Impe, I. Kerisel, A. Kezdi, G. Meyergof, R. Peck, M. Randolph, L. Rees, H. Seed й ін. [1-10]. Однак, досліджень потребують особливості роботи НППС за умов замкнених лесових ґрунтів та їх відповідного проектування.

Виділення не розв’язаних раніше частин загальної проблеми, яким присвячується стаття. Розширення нормативної бази проектування НППС потребує удосконалення визначення осідань НППС у складі стрічкових ростверків, яка б урахувала взаємодію зон впливу паль [11]. Найбільш достовірний шлях розв’язання задачі – в порівнянні розрахованих і вимірених осідань натурних об’єктів. Експериментальні дослідження системи «стрічковий ростверк – забивні палі – ґрунти» підтвердили, що: при відстані між осями паль 3-4 d (де d – діаметр поперечного перерізу палі) затиснутий між ними ґрунт можливо розглядати як єдиний масив; ростверк включається в роботу при осіданні 1,5 – 4 мм; головну частину осідання дає шар під ущільненою зоною; потужність стислої товщі зростає зі збільшенням навантаження; у м’якопластичних глинистих ґрунтах активна зона більша, ніж у туго пластичних [12].

Вісесиметрична версія МСЕ адекватно відображає НДС масиву при влаштуванні окремих паль з ущільненням ґрунту та їх наступній роботі. Та ці рішення не коректно використовувати для оцінювання взаємодії паль у складі ростверків з ґрунтами. Тому слід обґрунтувати коректність моделей стану замкненого лесового ґрунту й геомеханічних моделей плоскої та просторової версії МСЕ щодо розрахунків спільної роботи НППС у складі стрічкових ростверків з основою [7].

Недолік методів визначення осідань будівель на НППС у складі стрічкових ростверків за схемою одиночних паль з розширенням – у невраховуванні взаємного впливу сусідніх паль, що зі зменшенням відстані між їх осями, особливо до $(3-4)b_m$, де b_m – діаметр свердловини, суттєво занижує порівняно з фактичними осіданнями основ. Для удосконалення інженерної методики розрахунку осідань будівель на НППС у якості базового доцільно прийняти рішення плоскої задачі.

Тому метою досліджень є удосконалення методики визначення осідань будівель на НППС у складі стрічкових ростверків за умов замкнених лесових ґрунтів.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для досягнення поставленої мети було проведено лоткові дослідження залежностей «навантаження – осідання» НППС у складі стрічкових ростверків за умов замкнених лесових ґрунтів порушеної структури (глинистої пасти, характеристики якої наведено в табл. 1) від щільності скелету ґрунту ρ_d і відстані між осями паль l_w [13, 14].

Випробування виконано за планом одночинникового експерименту з варіюванням: відстані між осями сусідніх паль $l_w = 2 d_m = 60$ мм; $l_w = 3 d_m = 90$ мм; $l_w = 4 d_m = 120$ мм та $l_w = 5 d_m = 150$ мм, де d_m – діаметр поперечного перерізу моде-

лі палі та щільності скелета ґрунту $\rho_d = 1,45; 1,50; 1,55$ г/см³, зокрема для визначення якісних закономірностей впливу вказаних факторів на несучу здатність і деформативність основи НППС у складі стрічкового ростверку, а також на особливості спільної роботи моделей окремих паль у складі стрічкового ростверку.

Випробування проведено у лотку розмірами 580×580×560мм. Масштабний коефіцієнт при виконанні моделі склав 15. Модель кожної НППС мала глибину свердловини $h_m = 120$ мм та її діаметр $d_m = 30$ мм (рис. 1). Для влаштування розширення використовували щєбінь фракції розміром 2 – 4 мм. Модель забивали в масив на глибину 120 мм, потім витягали, в отворену свердловину засипали порцію щєбеню об’ємом $V_{ср1} = 42,5$ см³, яку також забивали разом з моделлю на ту ж глибину. Моделі стрічкових ростверків висотою 50 мм виготовлено зі сталі. Статичні випробування моделей НППС у складі ростверків здійснювали прямим навантаженням їх тарованими вантажами через металевий «хомут». Значення вертикальних осідань визначали двома прогиномірами. Схема і фотографія статичних випробувань моделей НППС у складі ростверку в лотку подана на рис. 2.

Отримані фотографуванням кризь прозору стінку лотка зображення «зони впливу» у водонасиченій глинистій пасти до навантаження моделей НППС у складі ростверків, а також після їх статичних випробувань (вичерпання несучої здатності) було інтерпретовано умовним виділенням зовнішніх меж цієї зони. Приклади таких досліджень при різних відстанях l_w для $\rho_d = 1,55$ г/см³ показано на рис. 3.

Фотофіксацією геометричних параметрів «зон впливу» у водонасиченій глинистій пасти навколо НППС у складі стрічкового ростверку встановлено, що на їх формування переважно впливає відстань між осями сусідніх моделей. При відстані між їх осями $l_w = 2 \cdot d_m$ між бічними поверхнями паль формуються «ґрунтова сорочка» і зона достатнього ущільнення ґрунту, а між розширеннями паль утворюється лише «ґрунтова сорочка» з переущільненого ґрунту; при $l_w = 3 \cdot d_m$ як між стовбурами, так і між розширеннями виникає «ґрунтова сорочка» й зона достатнього ущільнення; при $l_w = 4 \cdot d_m$ між стовбурами мають місце «ґрунтова сорочка», зона достатнього ущільнення та перехідна область, а між розши-

Таблиця 1. Фізико-механічні характеристики глинистої пасти в лотковому експерименті

Щільність скелету ґрунту ρ_d , г/см ³	Фізико-механічні властивості												
	ρ_s , г/см ³	w	W_L	W_P	I_P	I_L	S_r	e	γ , кН/м ³	c , кПа	ϕ , °	E_s , МПа	
1,45	1,86	0,285	0,315	0,21	0,105	0,72	0,90	0,85	19,5	7	1	1	
1,50	1,90	0,265	0,315	0,21	0,105	0,53	0,90	0,79	19,5	13	3	2	
1,55	1,93	0,245	0,315	0,21	0,105	0,34	0,90	0,73	19,5	20	5	4	

реннями – «ґрунтова сорочка» і зона достатнього ущільнення; при $l_w = 5 \cdot d_m$ як між стовбурами, так і між розширеннями формуються всі три складові «зони впливу».

На рис. 4 показано графіки залежності осідання моделей НППС у складі ростверків від навантаження $S=f(F)$. З них помітно, що для кожної величини відстані між осями паль l_w зі збільшенням щільності скелету ґрунту ρ_d несуча здатність системи «стрічковий ростверк – НППС – основа» («СР – НППС – О») також зростає.

Визначено й проаналізовано величини першої F_1 (момент

Дивись рисунок 3 на стор. 4 обл.



Рис 1. Вигляд моделей НППС і стрічкових ростверків для досліджень:
а – посередині лотка; б – біля прозорої стінки лотка.

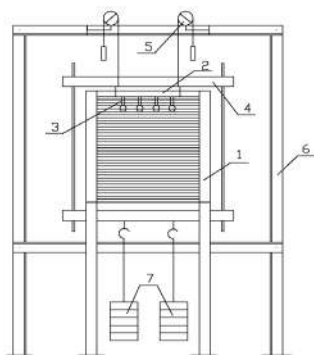


Рис 2. Лоткові статичні випробування моделей НППС у складі стрічкового ростверку: а) схема; б) загальний вигляд;
1 – лоток; 2 – ростверк; 3 – моделі НППС з розширеннями;
4 – система навантаження; 5 – прогиноміри; 6 – реперна рама; 7 – підвіски з вантажами.

завершення лінійної стадії графіка $S=f(F)$ і другої F_2 (передостання точка перед «зривом» графіку) критичних сил на систему «СР – НППС – О». Побудовано графічну залежність величин сил F_1 і F_2 від відстані між осями НППС у складі ростверку при різних значеннях ρ_d в лотку показана на рис. 5. Аналізуючи ці графіки, можливе узагальнення, що зі збільшенням l_w від $2d$ до $5d$ лінійно збільшуються й F_1 і F_2 . Значення критичних сил апроксимовано за методом дво-

чинникового аналізу:

$$F_1 = -58,26 + 21,89 \frac{\ell_w}{\ell_{w0}} + 39,50 \frac{\rho_d}{\rho_{d0}}, \quad (1)$$

де $\ell_{w0} = 1\text{м}$; $\rho_{d0} = 1\text{г/см}^3$, – при коефіцієнті множинної кореляції $r=0,965$ та критерії Фішера $F = 14,73 > F_{мабл} = 3,10$, (для числа ступенів свободи $\nu_1=11$ і $\nu_2=9$), отже емпірична залежність (2) є коректною;

$$F_2 = -65,14 + 23,56 \frac{\ell_w}{\ell_{w0}} + 44,50 \frac{\rho_d}{\rho_{d0}}, \quad (2)$$

при $r=0,979$ та $F = 23,74$ (для $\nu_1=11$ та $\nu_2=9$), $F = 14,73 > F_{мабл} = 3,10$.

Оскільки усі моделі стрічкових ростверків мають різну довжину, що, звичайно, впливає на залежність величин критичних сил на систему «СР – НППС – О» від l_w , значення F_1 і F_2 було умовно віднесено до одиниці відстані між осями паль, тобто до $l_w = 1 \cdot d_m$. Таким чином, отримано питомі значення критичних сил F_i/n ($i=1; 2; n = 2; 3; 4; 5$) на систему «СР – НППС – О» (рис. 6). Аналізуючи їх дані, можливе узагальнення, що зі збільшенням відстані між осями паль l_w від $2d$ до $5d$ лінійно зменшуються питомі величини критичних сил F_i/n і F_2/n .

Далі проведено тривалі геодезичні спостереження за осіданнями будівель на НППС у складі стрічкових ростверків за умов замokлих лесових ґрунтів [15]. Несучий шар основи НППС – лесовані суглинки з коефіцієнтом водонасичення $S_r \geq 0,80$ і модулем деформації $E=4\text{--}7\text{МПа}$. Підстильний шар цієї основи – суглинки з модулем деформації $E = 5,5 - 19 \text{ МПа}$. Для цих умов найбільш повна інформація отримана для семи житлових будинків: два – десятиповерхових; три – дев'ятиповерхових; два – п'ятиповерхових (табл. 2). Інженерно-геологічна колонка з об'єкту №2 (9-ти поверхового гуртожитку по вул. Степового Фронту, 29 в м. Полтаві) представлена на рис. 7. Спостереження за осіданнями будівель на НППС проводились методом нівелювання III класу точності за поверхневими марками.

Графіки мінімальних $S_{min}(t)$, середніх $S(t)$ і максимальних $S_{max}(t)$ осідань у часі поверхневих марок на будівлях з НППС у складі стрічкових ростверків за умов замokлих

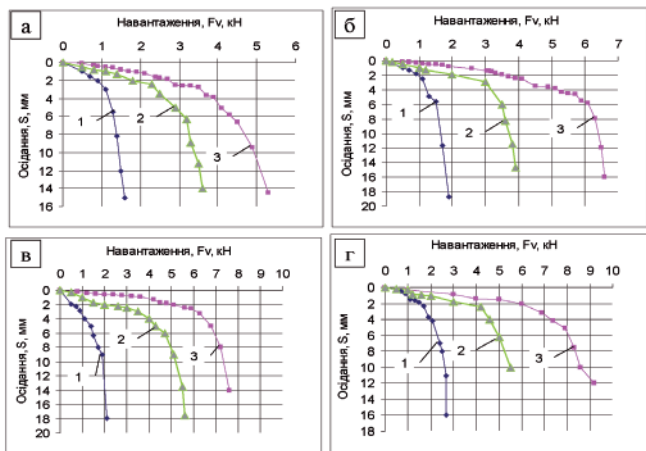


Рис 4. Графіки залежності «навантаження – осідання» за лотковими випробуваннями при l_w : а) 60 мм; б) 90 мм; в) 120 мм; г) 150 мм; для ρ_d : 1 – 1,45 г/см³; 2 – 1,50 г/см³; 3 – 1,55 г/см³.

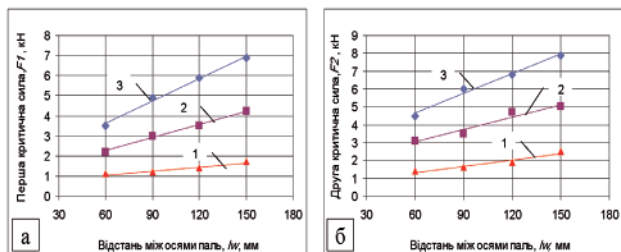


Рис. 5. Графіки залежності першої F_1 (а) та другої F_2 (б) критичних сил на систему «СР – НППС – О» від відстані сусідніх моделей НППС l_w при ρ_d : 1 – 1,45 г/см³; 2 – 1,50 г/см³; 3 – 1,55 г/см³.

лесових ґрунтів показано на рис. 8 (об’єкт №2), а епюри осідань марок на цьому об’єкті за період його зведення та експлуатації – на рис. 9.

Аналізуючи результати геодезичних спостережень за осіданнями будівель на НППС у складі стрічкових ростверків за умов замоклих лесових ґрунтів, можна виділити наступні узагальнення: частка середньої величини осідання замоклих лесових основ НППС у складі стрічкових ростверків житлових будівель за період (1 – 1,5 року) їх введення в експлуатацію складає від 0,64 до 0,73 від значення стабілізованого осідання основ цих будівель; час стабілізації осідань основ дев’яти-десятиповерхових будинків після заселення складає звичайно до 12 років, а п’ятиповерхових – до 8 років; осідання основ НППС у складі стрічкових ростверків під внутрішні стіни будівель перевищують їх осідання під зовнішні на 16 – 30% при близьких навантаженнях на окремі палі; абсолютні й відносні осідання будинків на НППС у складі стрічкових ростверків не перевищили граничних за нормами величин, технічний стан будинків відповідає «нормальному».

Проведено моделювання НДС системи «СР – НППС – О» з використанням МСЕ в плоскій (2D) і просторовій (3D) версіїх й пружно-пластичної моделі ґрунту та їх порівняння з даними геодезичних спостережень. Для моделювання НДС ґрунтів, розширення, ущільненої зони використана нелінійна модель з критерієм міцності Мора-Кулона (МК). Обрані 2D і 3D версії комплексу Plaxis Foundation [16-18]. Для перевірки коректності їх застосування в розрахунках взаємодії НППС у складі стрічкових ростверків із замоклим лесовим ґрунтом розв’язано тестові задачі моделювання лоткових дослідів. Геометрія розрахун-

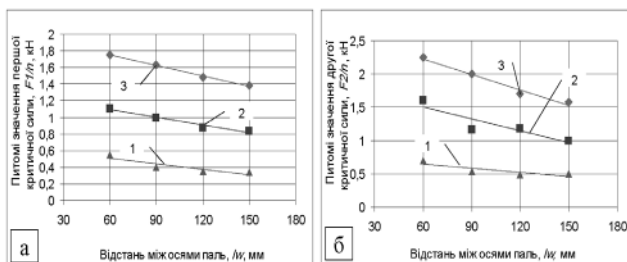


Рис. 6. Графіки залежності питомих значень першої F_1/n (а) та другої F_2/n (б) критичних сил ($n = 2; 3; 4; 5$) на систему «СР – НППС – О» від відстані l_w при ρ_d : 1 – 1,45 г/см³; 2 – 1,50 г/см³; 3 – 1,55 г/см³.

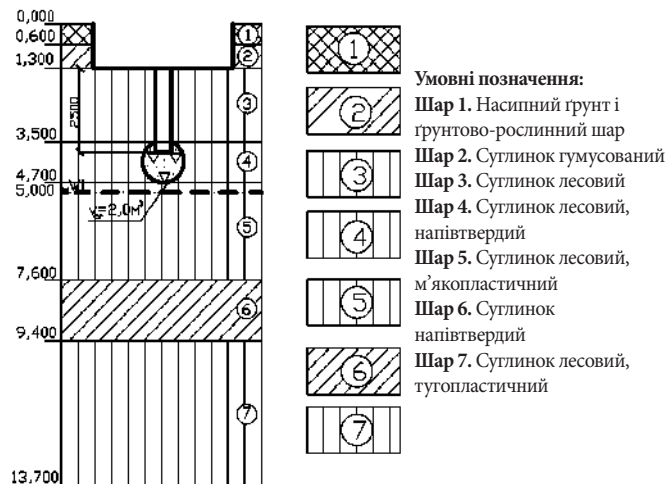


Рис. 7. Інженерно-геологічна колонка ділянки 9-ти поверхового гуртожитку по вул. Степового Фронту, 29 в м. Полтава.

кової області відповідає розмірам лотка. Моделі паль теж відповідають їх розмірам. Приклад розрахункової схеми просторової задачі лоткових досліджень подано на рис. 10, а, б. Ґрунт у лотку, пробиті свердловини, стовбури паль, розширення та ущільнена зона задавалися просторовими класстерами в 3D моделюванні. Аналогічну задачу для системи «СР – НППС – О» в плоскій версії МСЕ моделювали у вигляді поперечного перерізу стрічки ростверку і НППС з розширенням і зоною достатнього ущільнення ґрунту (рис. 10, в). Розрахунок виконували на одиницю довжини ростверку [19]. Обидві версії адекватно оцінюють НДС системи при відстані між осями паль до п’яти їх діаметрів (рис 11).

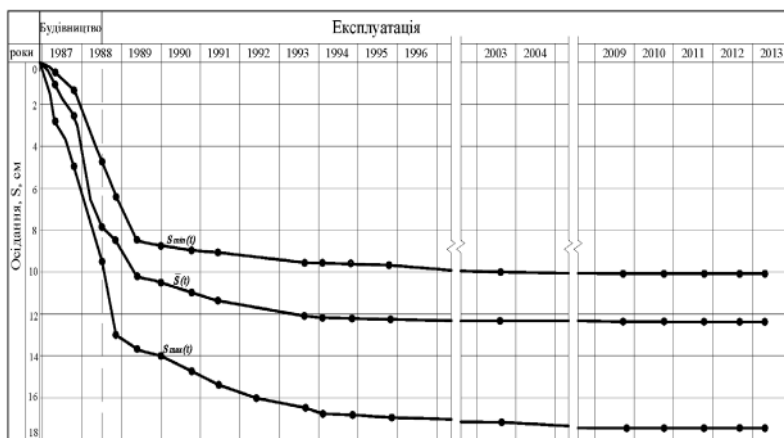


Рис. 8. Графіки розвитку мінімальних, середніх і максимальних осідань стінових марок 9-ти поверхового гуртожитку, вул. Степового Фронту, 29 в м. Полтава.

Є сенс порівняти результати моделювання МСЕ за схемами НППС у складі стрічкових ростверків як для паль із розширенням та як для стрічкових фундаментів шириною b_y , що дорівнює діаметру розширення b_{fs} при однарядному розташуванні НППС, і глибиною h_y , що відповідає низу розширення. Вихідну схему в Plaxis 2D зведено до схеми стрічкових фундаментів. За ширину умовного фундаменту брали діаметр розширення $b_{fs} = 50$ мм, а його глибину закладення приймали до низу розширення $d = 140$ мм. Ущільнену зону ґрунту під подошвою фундамен-

Таблиця 2. Результати тривалих геодезичних спостережень за осіданнями будівель на НППС у складі стрічкових ростверків за умов замкнених лесових ґрунтів

№	Назва об'єкту, поверховість	E , МПа		h_k , м	V_{cr} , м ³	Значення осідань за період введення в експлуатацію, мм			Значення стабілізованих осідань, мм			S_w , мм	i	i_u	Час стабілізації осідань, років	Частка осідання за період будівництва та заселення від стабілізованого осідання
		несучого шару	підстильного шару			$S_{max}(t)$	$S_{min}(t)$	$\bar{S}(t)$	$S_{max}(t)$	$S_{min}(t)$	$\bar{S}(t)$					
1	Полтава, вул. Курчатова, 17; 9 пов.	7	16	5,0	1,5	115,5	60	81	166	80	111,5	180	0,0005	0,005	15	0,725
2	Полтава, вул. Степового Фронту, 29; 9 пов.	6	14	2,5	2,0	93	48	79,5	175	101	124,3	180	0,0004	0,005	12	0,64
3*	Полтава, вул. Петровського, 31; 10 пов.	6	9	2,5	1,5	81	59,5	62,1	122	72,5	90,0	120	0,0004	0,005	11	0,69
4*	Полтава, вул. Гожулівська, 22а; 9 пов.	6	7	2,0	2,0	$\frac{49}{55}$	$\frac{31}{36,5}$	$\frac{39,7}{45,9}$	$\frac{67,5}{78}$	$\frac{45}{52}$	$\frac{54,4}{64,6}$	120	0,0002	0,005	10	$\frac{0,73}{0,71}$
5	Полтава, б-р. Боровиковського, 7; 10 пов.	6	5,5	2,0	2,0	$\frac{58}{70}$	$\frac{38}{58}$	$\frac{45,6}{64,5}$	$\frac{77}{96}$	$\frac{52}{78}$	$\frac{61,4}{87,9}$	120	0,0002	0,005	11	$\frac{0,74}{0,73}$
6	с. Розсошенці, вул. Горбанівська, 4; 5 пов.	4	6	1,6	0,75	73	28,5	46,5	105	49,5	66,6	120	0,0003	0,005	8	0,70
7	Зіньків, вул. Погребняка, 18; 5 пов.	4,5	19	2,5	1,5	34	14,5	24	58	20	32,7	120	0,0004	0,005	7	0,73

* – у чисельнику для зовнішніх стін, у знаменнику для внутрішніх;
 E - модуль деформації; h_k - глибина свердловини; V_{cr} - об'єм щелепо в розширенні;
 S_u - граничне осідання за ДБН В.2.1-10-2009; i - вимірне значення крену; i_u - граничний за ДБН В.2.1-10-2009 крен.

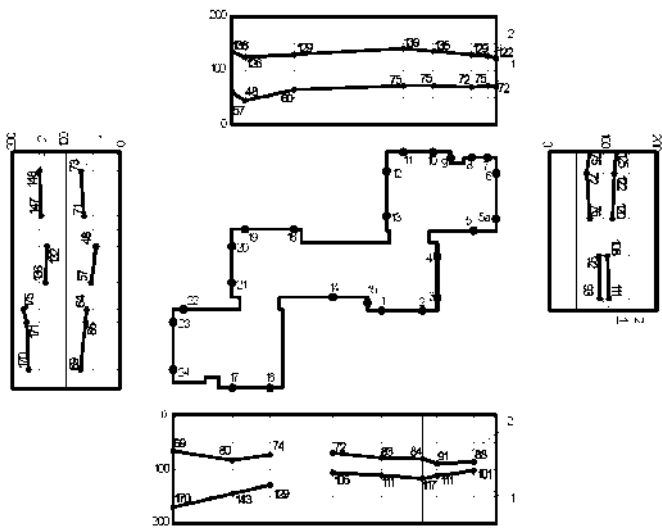


Рис 9. Епюри осідань поверхневих марок за період зведення, монтажу обладнання та заселення (1) 9-ти поверхового гуртожитку по вул. Степового Фронту, 29 в м. Полтава та їх стабілізовані значення (2).

ту задано шириною 50 мм і товщиною 20 мм (рис. 12, а). З графіків «навантаження – осідання» видно, що результати 2D моделювання МСЕ за схемами НППС у складі ростверку й умовного стрічкового фундаменту майже збігаються між собою при всіх трьох відстанях між осями паль l_w (рис. 12, б-г).

Тестовим числовим аналізом взаємодії водонасиченої глинистої пасти з моделями НППС у складі стрічкових ростверків також встановлено коректність використання плоскої версії комплексу PLAXIS при застосуванні до ґрунту пружно-пластичної моделі МК щодо розрахунків спільної роботи НППС у складі стрічкових ростверків з

осною. Однак, оскільки задача в плоскій версії МСЕ розраховується на метр погонний довжини, а в просторовій – ростверки при кожному значенні l_w мають різну довжину, доцільно порівняти результати моделювання, умовно збільшивши довжину ростверків (з пальями) до 1 м (змодельовані графіки «навантаження – осідання» подано на рис. 13). При відстані між осями паль $2d$ маємо дещо більшу несучу здатність, ніж за 2D версією як для умовного стрічкового фундаменту. Це можна пояснити тим, що складові «зони впливу» НППС накладаються одна на одну, утворюють переущільнений ґрунт з властивостями, що суттєво відрізняється від заданих у розрахунковій схемі МСЕ. З графіків видно, що найбільш наближеними до розрахунків НППС у складі стрічкових ростверків як умовного стрічкового фундаменту є варіанти з відстанню між осями паль $3d$ і $4d$.

Оскільки в аналітичних розрахунках НППС роботою ростверку звичайно нехтують, є сенс провести моделювання НДС основи жорсткого стрічкового штампу в лотку для визначення частки навантаження, що сприймає саме він [20]. Розрахункову схему задачі у плоскій версії МСЕ подана

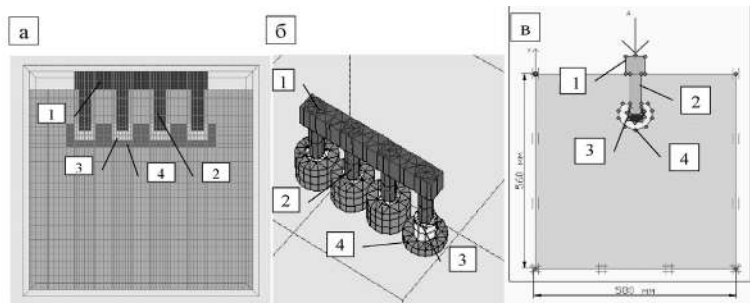


Рис 10. Розрахункові схеми просторової задачі лоткових досліджень у комплексі Plaxis 3D при відстані між осями паль $l_w = 3d = 90$ мм: а – розріз 3D моделі; б – модель системи «стрічковий ростверк – НППС»; в – плоскій задачі; 1 – ростверк; 2 – палія; 3 – розширення (щелеби); 4 – зона достатнього ущільнення ґрунту.

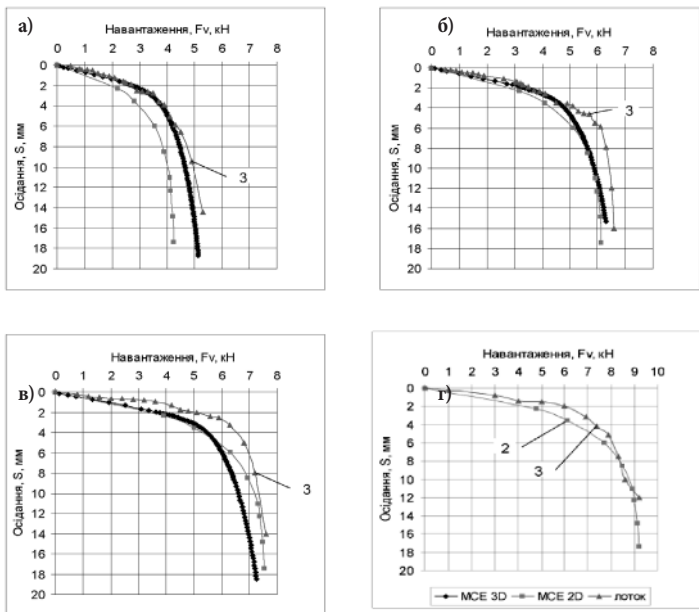


Рис 11. Графіки залежності «навантаження – осідання» при $\rho_d = 1,55 \text{ г/см}^3$ за даними лоткового експерименту та його 2D і 3D моделювання при l_w : а – $2d = 60 \text{ мм}$; б – $3d = 90 \text{ мм}$; в – $4d = 120 \text{ мм}$; г – $5d = 150 \text{ мм}$; 1 – 3D моделювання; 2 – 2D моделювання; 3 – експеримент.

на рис. 14. За результатами моделювання МСЕ, побудовано графік залежності «навантаження на жорсткий стрічковий штамп – осідання його основи» (рис. 15). Проведено його порівняння з аналогічним (за однакових параметрів основи та ростверку (стрічкового штамп)) змодельованим графіком роботи НППС у складі стрічкового ростверку на рис 10, в.

З аналізу цих графіків можна зробити висновки: при наявності паль лінійна стадія деформування основи в кілька разів довша; максимальна частка навантаження, що сприймає стрічковий ростверк без паль зростає зі збільшенням величин фізико-механічних характеристик ґрунту масиву, наприклад, від 19% при щільності скелету ґрунту $\rho_d = 1,45 \text{ г/см}^3$ до 38% – при $\rho_d = 1,55 \text{ г/см}^3$.

Проведено моделювання за плоскою та просторовою версією МСЕ системи «СР – НППС – О» об'єкту №2. (рис. 16). Розрахункова схема 2D-моделювання подана на рис. 17, а схема моделювання за просторовою версією МСЕ – на рис. 18 [21, 22].

За результатами моделювання побудовано графіки залежності «навантаження – осідання» 2D, 3D-моделювання та за геодезичними спостереженнями (рис. 19).

В результаті оцінювання 2D і 3D моделювання МСЕ з використанням пружно-пластичної моделі ґрунту та кроково-ітераційних процедур взаємодії замкнених лесових ґрунтів з НППС у складі стрічкових ростверків відносна похибка не перевищила 15% порівняно з даними спостережень за натурними об'єктами. Для обох задач доведено коректну можливість урахування неоднорідності ґрунту «зони впливу» паль. Як змодельовані, так і дослідні графіки «навантаження – осідання» мають криволінійний характер,

тобто з досягненням другої критичної сили на систему ґрунт навколо паль, їх розширень і під ростверком працює в пластичній стадії. При моделюванні слід приймати величини модуля деформації за компресійними випробуваннями замкнених лесових ґрунтів без підвищуючих коефіцієнтів.

На основі попередніх результатів було удосконалено методику розрахунку визначення осідань основ НППС у складі стрічкових ростверків. Для порівняння розрахунків осідань для будівель виконано за методами: а) як для одиночної пальі з розширенням; б) за експрес-методом методом І.О. Розенфельда (формула Д.9, [11]) як для умовних стрічкових фундаментів шириною b_y , що дорівнює діаметру розширення d_{br} при однорядному розташуванні НППС, і глибиною, яка відповідає його низу; в) за методом поширеного підсумовування (формула Д.4, [11]) як для умовних стрічкових із тими ж розмірами, що й у попередній методиці. Модуль деформації ґрунту в межах зони достатнього ущільнення приймався як $3E$ (де E – модуль деформації природного ґрунту). Результати порівняння занесено в таблицю 3.

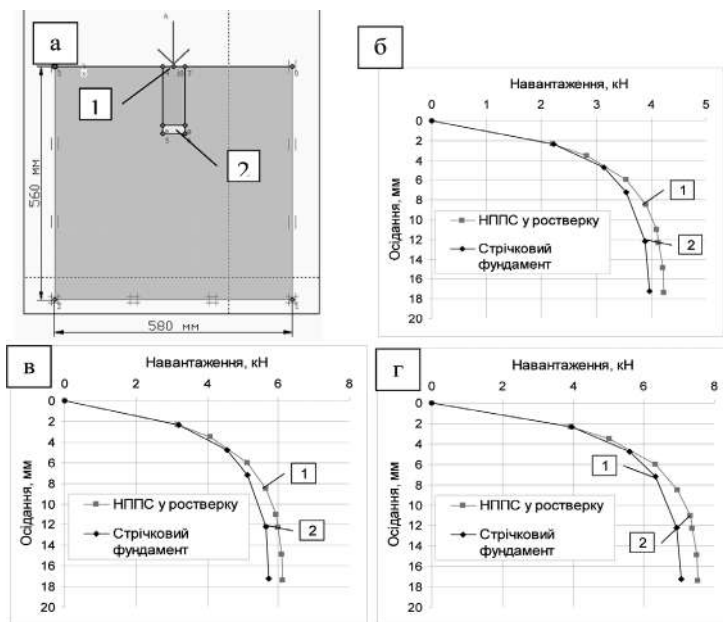


Рис 12. Розрахункова схема 2D моделювання МСЕ НДС системи «СР – НППС – О» як умовного стрічкового фундаменту (а): 1 – умовний стрічковий фундамент; 2 – зона ущільнення ґрунту; результати моделювання при l_w : б – $2d = 60 \text{ мм}$; в – $3d = 90 \text{ мм}$; г – $4d = 120 \text{ мм}$.

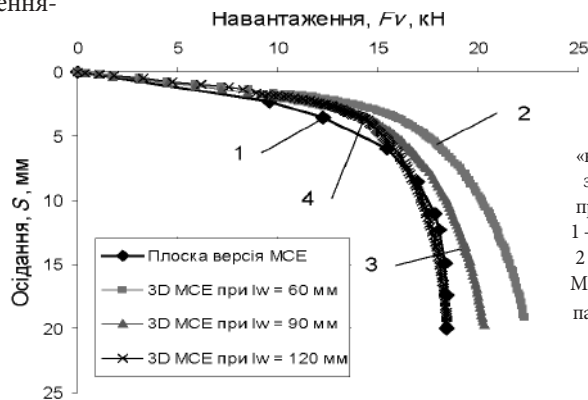


Рис 13. Залежність «навантаження – осідання» задачі моделювання МСЕ при довжині ростверку 1 м: 1 – за плоскою версією МСЕ, 2 – за просторовою версією МСЕ при відстані між осями паль $l_w = 2d = 60 \text{ мм}$; 3 – при $l_w = 3d = 90 \text{ мм}$; 4 – при $l_w = 4d = 120 \text{ мм}$.

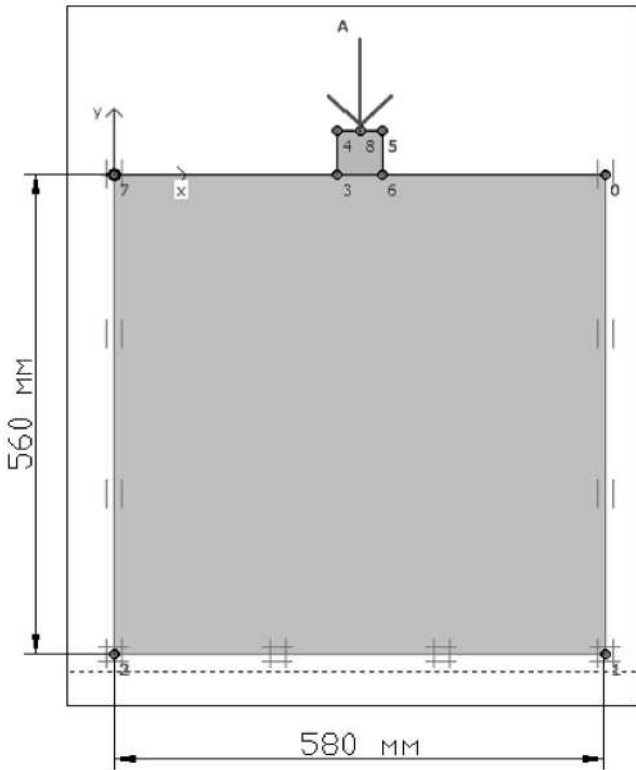


Рис 14. Розрахункова схема 2D-моделювання НДС основи МСЕ жорсткого стрічкового штамп у лотку.

Порівняння значень розрахованих і вимірених стабілізованих осідань будівель на НППС, об'єднаних стрічковими ростверками, за умов замкнених лесових ґрунтів показало, що найбільш достовірною методикою визначення їх осідань є метод пошарового підсумовування як для стрічкового фундаменту, за ширину якого слід приймати діаметр жорсткого розширення при однорядному розташуванні паль (глибина відповідає його низу), а при дворядному й шаховому порядку розташуванні НППС ширину умовного фундаменту слід приймати як суму відстані між осями рядів паль і діаметра розширення. Допустимо приймати модуль деформації в зоні достатнього ущільнення НППС як три його величини для природного ґрунту. За умов водонасичених лесових ґрунтів їх модуль деформації слід визначати за даними компресійних випробувань без підвищуючих коефіцієнтів.



Рис 15. Графіки 2D-моделювання МСЕ: 1.1 – жорсткого стрічкового штамп при щільності скелету ґрунту $\rho_d = 1,45 \text{ г/см}^3$; 1.2 – жорсткого стрічкового штамп при $\rho_d = 1,55 \text{ г/см}^3$; 2.1 – НППС у складі стрічкового ростверку при $\rho_d = 1,45 \text{ г/см}^3$; 2.2 – НППС у складі стрічкового ростверку при $\rho_d = 1,55 \text{ г/см}^3$.



Рис 16. Фрагмент схеми розміщення НППС, для якого виконано чисельний аналіз МСЕ.

Порівняно й величини осідань основ НППС у складі стрічкових ростверків для об'єкту №2, та отримано такі відносні похибки від значень тривалих геодезичних спостережень. За моделюванням в 2D версії МСЕ відносна похибка дорівнює 8,6%, в 3D версії МСЕ – 12,6%, при аналітичних розрахунках: як одиничних паль з розширенням – 63,8%; як умовного стрічкового фундаменту за експрес-методом – 39,9% і за методом пошарового підсумовування – 15,5%. Отже, найбільш достовірний метод розрахунку осідань основ НППС у складі стрічкового ростверку – моделювання за плоскою версією МСЕ, а з аналітичних – метод пошарового підсумовування за розрахунковою схемою умовного стрічкового фундаменту.

Тому на базі способу пошарового підсумовування удосконалено інженерну методику визначення осідань основ будівель на НППС у складі стрічкових ростверків ураху-

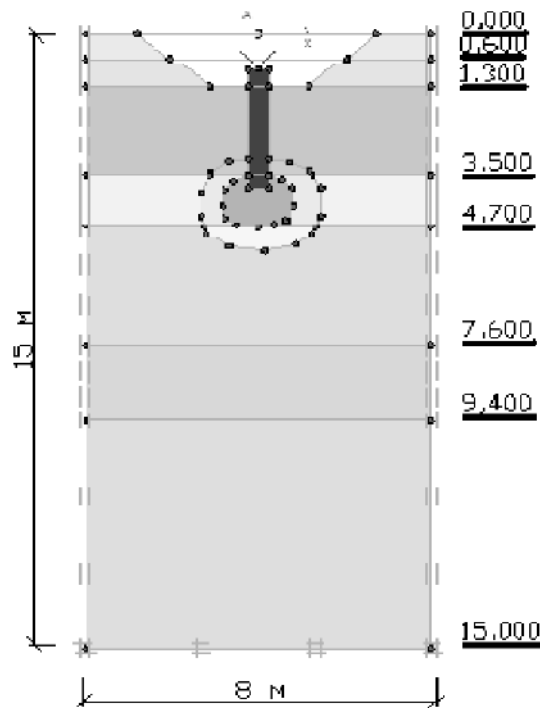


Рис 17. Розрахункова схема 3-го етапу моделювання (прикладання погонного навантаження до стрічкового ростверку, що об'єднує палі).

Дивись рисунок 18 на стор. 4 обкл.

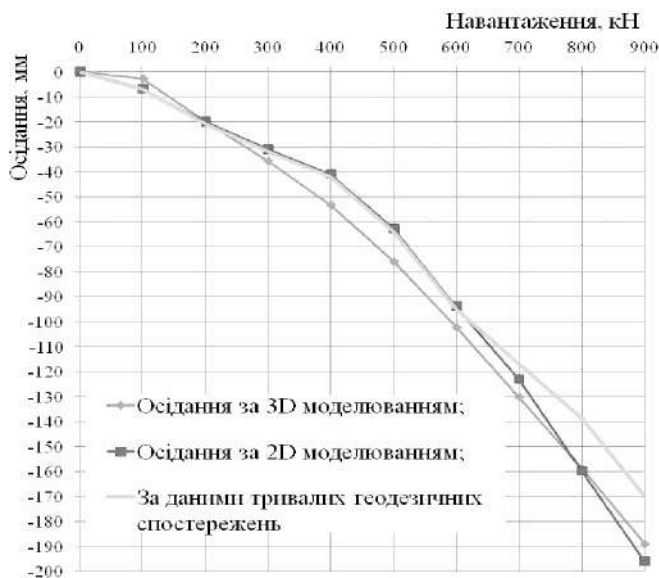


Рис 19. Порівняння графіків «навантаження F – осідання S» за результатами 2D і 3D моделювання та тривалих геодезичних спостережень за будинками на НППС у складі стрічкових ростверків.

ванням неоднорідності ущільнення міжпальового простору, згідно якої за ширину умовного стрічкового фундаменту приймають діаметр жорсткого розширення палі, а глибина його закладення відповідає низу цього розширення. Відносна похибка методики не перевищує 20% порівняно з вимірними за геодезичними спостереженнями величинами стабілізованих осідань натурних об'єктів.

ВИСНОВКИ

При відстані між осями НППС у складі стрічкового ростверку $l_w = 2d$ (d – діаметр поперечного перерізу палі), в замкнених лесах між палями виникає «ґрунтова сорочка» і зона достатнього ущільнення ґрунту, а між розширеннями палі – лише «ґрунтова сорочка» з переущільненого ґрунту; при $l_w = 3d$ і між палями, і між розширеннями формується «ґрунтова сорочка» і зона достатнього ущільнення; при $l_w = 4d$ між палями мають місце «ґрунтова сорочка», зона достатнього ущільнення та перехідна область, а між розширеннями – «ґрунтова сорочка» та зона достатнього ущільнення; при $l_w = 5d$ як між палями, так і між їх розширеннями формуються всі три складові «зони впливу» НППС. Значення критичних сил на систему «стрічковий ростверк – НППС – основа» зростають при збільшенні відстані між осями палі і щільності скелету ґрунту в лотку за лінійними функціями,

питомі значення цих сил зменшуються зі збільшенням відстані між осями палі і зменшенням щільності скелету ґрунту також за лінійними залежностями.

Отримано нові дані розвитку в часі осідань будівель на НППС діаметром 0,5 м, глибиною свердловин 1,6 – 2,5 м, об'ємом щебеню в розширенні 1,5 – 2,0 м³ при відстані між осями палі $3d - 5d$ у замкнених лесових суглинках з модулем деформації несучого шару $E = 4-7$ МПа. Частка середньої величини осідання основ НППС за період зведення і заселення будівель склала 0,64 – 0,73 від значення стабілізованого осідання основ будівель. Час стабілізації осідань основ дев'яти-десятиповерхових будинків після їх заселення складає звичайно до 12 років, іноді – 15 років, а п'ятиповерхових – до 8 років.

Порівнянням результатів 2D і 3D моделювання МСЕ при використанні пружно-пластичної моделі ґрунту Мора – Кулона та лоткового експерименту доведено, що при відстані між осями НППС до п'яти діаметрів їх поперечного перерізу в складі стрічкового ростверку замкнений лесовий ґрунт між палями і навколо них працює як єдиний масив. Тому для спрощення визначення осідань його основи коректно є розрахункова схема у вигляді умовного стрічкового фундаменту шириною, що дорівнює діаметру розширення палі й глибиною, що відповідає низу цього розширення, та з ущільненою зоною ґрунту під ним.

В результаті оцінювання 2D і 3D моделювання МСЕ з використанням пружно-пластичної моделі ґрунту і кроково-ітераційних процедур взаємодії замкнених лесових ґрунтів з НППС у складі стрічкових ростверків відносна похибка не перевищила 15% порівняно з даними спостережень за натурними об'єктами. Доведено коректну можливість урахування неоднорідності ґрунту «зони впливу» палі. Як змодельовані, так і дослідні графіки «навантаження – осідання» мають чітко виражений криволінійний характер, тобто з досягненням другої критичної сили на систему ґрунт навколо палі, розширень і ростверку працює в пластичній стадії. При моделюванні слід приймати модуль деформації за компресійними випробуваннями ґрунтів без підвищуючих коефіцієнтів.

Удосконалено інженерну методику, відносна похибка якої до 20%, визначення осідань основ будівель на НППС, згідно якої за ширину умовного стрічкового фундаменту прийнято діаметр розширення палі, а глибина закладення відповідає його низу. Несучий шар основи під цим фундаментом складено з верхньої зони, достатнього ущільнення, і нижньої, природного ґрунту. Модуль деформації в зоні ущільнення коректно приймати як три його величини природного ґрунту. Модуль деформації замкнених лесових ґрунтів визначають за компресійними випробуваннями без підвищуючих коефіцієнтів.

Таблиця 3. Результати зіставлення розрахованих аналітично та вимірних осідань будинків на НППС у складі стрічкових ростверків за умов замкнених лесових ґрунтів

№ об'єкту		1	2	3	4	5	6	7				
Метод визначення осідань	як одиночної палі з розширенням	S , мм	108,3	45,0	44,2	24,9	27,0	37,7	40,9	63,9	17,5	
		S/\bar{S}	0,97	0,36	0,49	0,46	0,42	0,61	0,47	0,96	0,535	
	як стрічкового фундаменту	експрес-метод	S , мм	109,5	74,7	44,9	49,7	63,6	42,1	52,8	58,0	19,1
			S/\bar{S}	0,98	0,60	0,50	0,91	0,98	0,69	0,60	0,87	0,58
		пошарового підсумовування	S , мм	122,5	105,0	76,8	45,7	55,4	54,2	85,4	66,6	28,3
			S/\bar{S}	1,10	0,845	0,85	0,84	0,86	0,88	0,97	1,00	0,87
	середні виміряні	\bar{S} , мм	111,5	124,3	90,0	54,4*	64,6**	61,4*	87,9**	66,6	32,7	
		\bar{S}/\bar{S}	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	

* – під зовнішні стіни; ** – під внутрішні стіни

Примітки:

дата надходження авторського оригіналу в редакцію 16.11.16

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бартоломей А.А. Прогноз осадок свайних фундаментов / А.А. Бартоломей, И.М. Омельчак, Б.С. Юшков. – М.: Стройиздат, 1994. – 384 с.
2. Механіка ґрунтів. Основи та фундаменти. Підручник / В.Б. Швець, І.П. Бойко, Ю.Л. Винников, М.Л. Зоценко, О.О. Петраков, В.Г. Шаповал, С.В. Біда. – Дніпропетровськ: «Пороги». – 2012. – 196 с.
3. Бойко І.П. Процеси деформування основи пальових фундаментів в специфічних ґрунтових умовах/ І.П. Бойко, В.О. Сахаров, О.О. Арешкович// Світ геотехніки. – 2010. – №3(27). – С. 30 – 33.
4. Katzenbach R. Soil-structure interaction of deep foundations and the ULS design philosophy / R. Katzenbach, G. Bachmann, C. Gutberlet // Geotechnical Engineering in Urban Environments: proc of the 14th European Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (Madrid). – Millpress Science Publish. Rotterdam, 2007. – P. 55 – 60.
5. Mets M. The effect of natural factors on bearing capacity of sands / M. Mets, T. Ruben // Proc. of the 17th Intern. Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. – Olexandria, Egypt, 2009. – Amsterdam, Berlin, Tokyo, Washington: JOS Press, 2009. – P. 1049 – 1051.
6. Pile spacing effects on lateral pile group behaviour: Analysis / K.M. Rollins, K.G. Olsen, D.H. Jensen, B.H. Garrett, R.J. Olsen and J.J. Egbert // J. of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering. – 2006. – 132 (10). – P. 1272 – 1283.
7. Винников Ю.Л. Математичне моделювання взаємодії фундаментів з ущільненими основами при їх зведенні та наступній роботі: Монографія / Ю.Л. Винников. – Полтава: ПолтНТУ ім. Юрія Кондратюка, 2004. – 237 с.
8. Зоценко М.Л. Напружено-деформований стан основ фундаментів, які споруджують без виїмання ґрунту: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.23.02./ М.Л. Зоценко. – К.: НДІБК, 1994. – 44 с.
9. Тер-Мартirosян З.Г. Взаимодействие свайного фундамента с грунтом / З.Г. Тер-Мартirosян, Динь Хоанг Нам, Нгуен Занг Нам // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2007. – №2. – С. 2 – 7.
10. Тугаенко Ю.Ф. Трансформація напружено-деформованого стану ґрунтов основання і її урахування при проектуванні фундаментів: монографія / Ю.Ф. Тугаенко. – Одеса: Астропринт, 2011. – 120 с.
11. ДБН В.2.1-10-2009. Зміна №1. Основи та фундаменти споруд. – К.: Мінрегіонбуд України. – 2011. – 55 с.
12. Посібник з проектування та влаштування набивних паль у пробитих свердловинах / М.Л. Зоценко, Ю.Л. Винников, А.М. Павліков // ПолтНТУ, ДП НДІБК. – К., 2014. – 70 с.
13. ДСТУ Б В.2.1-4-96. Ґрунти. Методи лабораторного визначення характеристик міцності і деформованості / Державний комітет України у справах містобудування та архітектури. – К.: МНТКС, 1997. – 101 с.
14. Мірошніченко І.В. Лоткові дослідження деформованого стану водонасиченої глинистої основи набивних паль у пробитих свердловинах / І.В. Мірошніченко // Будівельні конструкції: Міжвід. наук.-техн. зб. наук. праць (будівництво) – Вип. 75. – Кн. 1. – К.: ДП НДІБК, 2011. – С. 598 – 604.
15. Винников Ю.Л. Результати тривалих геодезичних спостережень за осіданнями будівель на набивних палях у пробитих свердловинах за умов замкнених лесових ґрунтів / Ю.Л. Винников, І.В. Мірошніченко // Строительство, материаловедение, машиностроение: Сб. науч. тр. Вип. 61. – Дн-вск.: ПГАСА, 2011. – С. 88 – 93.
16. Фадеев А.Б. Параметры модели упрочняющегося грунта программы «PLAXIS» / А.Б. Фадеев // Численные методы расчетов в практической геотехнике: сб. статей научн.-техн. конф. – СПб.: СПбГАСУ, 2012. – С. 13 – 20.
17. Numerical methods in geomechanics // Proc. of 5th Intern. symposium, NUMOG V, Davos, 1995 / Ed. by G.N. Pande. – Rotterdam: Balkema, 1995. – 720 p.
18. Numerical modelling of creep in soft soils / Martino Leoni, Pieter A. Vermeer // Proc. of the 17th Intern. Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (Alexandria, 2009). – Amsterdam: IOS Press, 2009. – P. 578 – 581.
19. Винников Ю.Л. Чисельне моделювання лоткових випробувань системи «стрічковий ростверк – набивні палі у пробитих свердловинах – основа» / Ю.Л. Винников, В.І. Марченко, І.В. Мірошніченко // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Зб. наук. пр. Вип. 25. – Рівне: НУВГП, 2013. – С. 635 – 642.
20. Винников Ю.Л. Порівняння напружено-деформованого стану основ набивних паль у пробитих свердловинах у складі стрічкового ростверку та жорсткого стрічкового штамп / Ю.Л. Винников, І.В. Мірошніченко // Строительство, материаловедение, машиностроение: Сб. науч. трудов. Вип. №69. – Дн-вск., ГВУЗ «ПГАСА», 2013. – С. 112 – 116.
21. Мірошніченко І.В. Моделювання взаємодії набивних паль у пробитих свердловинах у складі стрічкових фундаментів із водонасиченими лесоподібними ґрунтами / І.В. Мірошніченко, Ю.Л. Винников, М.І. Лапін // Строительство, материаловедение, машиностроение: Сб. науч. трудов. Вип. 56. – Дн-вск., ПГАСА, 2010. – С. 291 – 298.
22. Харченко М.О. Просторова задача моделювання напружено-деформованого стану системи «стрічковий ростверк – набивні палі у пробитих свердловинах – основа» / М.О. Харченко, Ю.Л. Винников, І.В. Мірошніченко // Зб. наук. праць (галузеве машинобудування, будівництво). Вип. 4 (34). – Т. 2 – Полтава: ПолтНТУ, 2012. – С. 245 – 260.

REFERENCES

1. Bartolomej A.A. Prognoz osadok svajnyh fundamentov / A.A. Bartolomej, I.M. Omel'čak, B.S. Ūškov. – М.: Strojizdat, 1994. – 384 s.
2. Mehanika ґruntiv. Osnovi ta fundamenti. Pidručnik / V.B. Švec`, Ī.P. Bojko, Ū.L. Vinnnikov, M.L. Zocenko, O.O. Petrakov, V.G. Šapoval, S.V. Bida. – Dnipropetrovs`k: «Porogi». – 2012. – 196 s.

3. Bojko Ĭ.P. Procesi deformuvannâ osnovi pal`ovih fundamentiv v specifichnih g`runtovih umovah/ Ĭ.P. Bojko, V.O. Saharov, O.O. Areškovič// Svit geotehniki. – 2010. – #3(27). – S. 30 – 33.
4. Katzenbach R. Soil-structure interaction of deep foundations and the ULS design philosophy / R. Katzenbach, G. Bachmann, C. Gutberlet // Geotechnical Engineering in Urban Environments: proc of the 14th European Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (Madrid). – Millpress Science Publish. Rotterdam, 2007. – P. 55 – 60.
5. Mets M. The effect of natural factors on bearing capacity of sands / M. Mets, T. Ruben // Proc. of the 17th Intern. Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. – Olexandria, Egypt, 2009. – Amsterdam, Berlin, Tokyo, Washington: JOS Press, 2009. – R. 1049 – 1051.
6. Pile spacing effects on lateral pile group behaviour: Analysis / K.M. Rollins, K.G. Olsen, D.H. Jensen, B.H. Garrett, R.J. Olsen and J.J. Egbert // J. of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering. – 2006. – 132 (10). – R. 1272 – 1283.
7. Vinnikov Ŭ.L. Matematichne modeluvannâ vzaemodii fundamentiv z usil`nenimi osnovami pri ih zvedenni ta nastupnij roboti: Monografiâ / Ŭ.L. Vinnikov. – Poltava: PolNTU im. Ŭriâ Kondratûka, 2004. – 237 s.
8. Zocenko M.L. Napruženno-deformovanij stan osnov fundamentiv, âki sporuđuût` bez vijmannâ g`runtu: Avtoref. dis. ... d-ra tehn. nauk: 05.23.02./ M.L. Zocenko. – K.: NDIBK, 1994. – 44 s.
9. Ter-Martirosân Z.G. Vzaimodejstvie svajnoho fundamenta s gruntom / Z.G. Ter-Martirosân, Din` Hoang Nam, Nguen Zang Nam // Osnovaniâ, fundamenti i mehanika gruntov. – 2007. – #2. – S. 2 – 7.
10. Tugaenko Ŭ.F. Transformaciâ naprâženno-deformiruemogo sostoâniâ gruntov osnovaniâ i ee učet pri proektirovanii fundamentov: monografiâ / Ŭ.F. Tugaenko. – Odessa: Astroprint, 2011. – 120 s.
11. DBN V.2.1-10-2009. Zmina #1. Osnovi ta fundamenti sporud. – K.: Minregionbud Ukraïni. – 2011. – 55 s.
12. Posibnik z proektuvannâ ta vlaštuvannâ nabivnih pal`u probitih sverdlovinah / M.L. Zocenko, Ŭ.L. Vinnikov, A.M. Pavlikov // PolNTU, DP NDĬBK. – K., 2014. – 70 s.
13. DSTU B V.2.1-4-96. G`runti. Metodi laboratornogo viznačennâ karakteristik micnosti i deformovanosti / Deržavnij komitet Ukraïni u spravah mistobuduvannâ ta arhitekturi. – K.: MNTKS, 1997. – 101 s.
14. Mirošničenko Ĭ.V. Lotkovi doslidžennâ deformovanogo stanu vodonasičenoï glinistoï osnovi nabivnih pal`u probitih sverdlovinah / Ĭ.V. Mirošničenko // Budivel`ni konstrukcii: Mižvid. nauk.-tehn. zb. nauk. prac` (budivnictvo) – Vip. 75. – Kn. 1. – K.: DP NDĬBK, 2011. – S. 598 – 604.
15. Vinnikov Ŭ.L. Rezul`tati trivalih geodezičnih sposterežen` za osidannâmi budivel` na nabivnih palâh u probitih sverdlovinah za umov zamoklih lesovih g`runtiv / Ŭ.L. Vinnikov, Ĭ.V. Mirošničenko // Stroitel`stvo, materialovedenie, mašinstroenie: Sb. nauč. tr. Vyp. 61. – Dn-vsk.: PGASA, 2011. – S. 88 – 93.
16. Fadeev A.B. Parametry modeli upročnâušegosâ grunta programmy «PLAXIS» / A.B. Fadeev // Čislennye metody rasčetov v praktičeskoj geotehnike: sb. statej nauč.-tehn. konf. – SPb.: SPbGASU, 2012. – S. 13 – 20.
17. Numerical methods in geomechanics // Proc. of 5th Intern. symposium, NUMOG V, Davos, 1995 / Ed. by G.N. Pande. – Rotterdam: Balkema, 1995. – 720 p.
18. Numerical modelling of creep in soft soils / Martino Leoni, Pieter A. Vermeer // Proc. of the 17th Intern. Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (Alexandria, 2009). – Amsterdam: IOS Press, 2009. – P. 578 – 581.
19. Vinnikov Ŭ.L. Čisel`ne modeluvannâ lotkovih viprobuvan` sistemi «stričkovij rostverk – nabivni pali u probitih sverdlovinah – osnova» / Ŭ.L. Vinnikov, V.Ĭ. Marčenko, Ĭ.V. Mirošničenko // Resursoekonomni materiali, konstrukcii, budivli ta sporudi: Zb. nauk. pr. Vip. 25. – Rivne: NUVGP, 2013. – S. 635 – 642.
20. Vinnikov Ŭ.L. Porivnânnâ napruženno-deformovanogo stanu osnov nabivnih pal`u probitih sverdlovinah u skladi stričkovogo rostverku ta žorstkogo stričkovogo štampu / Ŭ.L. Vinnikov, Ĭ.V. Mirošničenko // Stroitel`stvo, materialovedenie, mašinstroenie: Sb. nauč. trudov. Vyp. #69. – Dn-vsk., GVUZ «PGASA», 2013. – S. 112 – 116.
21. Mirošničenko Ĭ.V. Modeluvannâ vzaemodii nabivnih pal`u probitih sverdlovinah u skladi stričkovih fundamentiv iz vodonasičenimi lesopodibnymi g`runtami / Ĭ.V. Mirošničenko, Ŭ.L. Vinnikov, M.Ĭ. Lapin // Stroitel`stvo, materialovedenie, mašinstroenie: Sb. nauč. trudov. Vyp. 56. – Dn-vsk., PGASA, 2010. – C. 291 – 298.
22. Harčenko M.O. Prostorova zadača modeluvannâ napruženno-deformovanogo stanu sistemi «stričkovij rostverk – nabivni pali u probitih sverdlovinah – osnova» / M.O. Harčenko, Ŭ.L. Vinnikov, Ĭ.V. Mirošničenko // Zb. nauk. prac` (galuzeve mašinobuduvannâ, budivnictvo). Vip. 4 (34). – T. 2 – Poltava: PolNTU, 2012. – S. 245 – 260.

МИРОШНИЧЕНКО И.В.

Кандидат технических наук, доцент кафедры добычи нефти и газа и геотехники Полтавского национального технического университета имени Юрия Кондратюка.

E-mail: ipamyxa@mail.ru

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ НАБИВНЫХ СВАЙ В ПРОБИТЫХ СКВАЖИНАХ В СОСТАВЕ ЛЕНТОЧНЫХ РОСТВЕРКОВ С ЗАМОЧЕННЫМИ ЛЕССОВЫМИ ГРУНТАМИ

MIROSHNICHENKO I.V.

Ph.D., assistant professor of oil and gas and geotechnics Poltava National Technical University.

E-mail: ipamyxa@mail.ru

INTERACTION OF CAST-IN-SITU PILES IN PUNCHED HOLES IN STRIP RAFT WITH SATURATED LOESS SOILS

Резюме

Предмет исследования – осадки замоченных лессовых оснований набивных свай в пробитых скважинах (НСПС) в составе ленточных ростверков. Тема работы – взаимодействие НСПС в составе ленточных ростверков с замоченными лессовыми грунтами. Цель работы – совершенствование методики определения осадок зданий на НСПС в составе ленточных ростверков в условиях замоченных лессовых грунтов.

Методы исследования: лотковые статические испытания моделей свай в составе ленточных ростверков по программе однофакторного эксперимента; стандартные лабораторные методы определения физико-механических свойств грунтов; длительные геодезические наблюдения за осадками зданий на НСПС в составе ленточных ростверков в условиях замоченных лессовых грунтов; математическое моделирование напряженно-деформированного состояния (НДС) системы «ленточный ростверк – НСПС – замоченные лессовые почвы» с использованием метода конечных элементов (МКЭ) в плоской и пространственной версиях и упруго-пластической модели грунта; методы математической статистики для обработки результатов экспериментов.

Результатом работы является совершенствование методики определения осадок зданий на НСПС в составе ленточных ростверков в условиях замоченных лессовых грунтов. Проанализировано взаимодействие «зон влияния» между соседними сваями в составе ростверка, определены зависимости критических сил от расстояния между осями свай и плотности скелета грунта. Оценено влияние этих факторов на несущую способность и деформативность оснований свай. Длительными геодезическими наблюдениями за осадками зданий на НСПС в составе ленточных ростверков в условиях замоченных лессовых грунтов зафиксирована доля средней величины осадок оснований за период возведения и заселения зданий от значений стабилизированных осадок, время их стабилизации.

Область применения результатов – расширение строительной нормативной базы проектирования НСПС и повышение ее достоверности.

Выводы. Обосновано использование упруго-пластической модели с критерием прочности Мора-Кулона для моделирования системы «ленточный ростверк – НСПС – замоченные лессовые грунты». Доказано, что при расстоянии между осями соседних свай до пяти их диаметров корректны выбор плоской версии МКЭ и упрощение расчетной схемы до условного ленточного фундамента. Усовершенствована методика расчета этих свай в составе ленточных ростверков.

Resume

Subject of research – the settlements of saturated loess bases cast-in-situ piles in punched holes in strip raft (CSPPH). Topic – interaction of cast-in-situ piles in punched holes in strip raft with saturated loess soils. Purpose – improving the methodology for determining the settlements of buildings on CSPPH in strip raft in conditions saturated loess soils.

Research methods: static test models of CSPPH in strip raft in the tray, standard laboratory methods for determining the characteristics of soils, geodetic observations for the buildings settlements, mathematical simulation of stress-strain state of the system «strip raft – (CSPPH) – saturated loess soils» using finite element method for planar and spatial tasks and elastic-plastic models of soil; methods of mathematical statistics for processing the results of experiments.

The result is improved the methodology for determining the settlements of buildings on CSPPH in strip raft in conditions saturated loess soils. Analyzed the interaction of «zones of influence» between adjacent piles consisting strip raft, identified critical forces depending on the distance between the axes and driving skeletal density of the soil. The effect of these factors on bearing capacity and deformability pile foundations. Prolonged geodetic monitoring of sediments buildings on CSPPH in punched holes in strip raft with saturated loess soils found the average share for the period of settling foundations construction of buildings and settling on the value of stabilized settling time of stabilization.

Scope result – the expansion of the construction design of the regulatory framework CSPPH and increase its reliability.

Conclusions. The application of elastic-plastic model of strength criterion for Mohr Coulomb modeling system «strip raft – (CSPPH) – saturated loess soils». It is proved that when the distance between the axes of adjacent piles up to five of their diameters are the correct choice of flat version MFE and simplify the design scheme to conventional strip foundation. The technique of calculating these piles consisting strip raft.

ABSTRACT

Frank, R. General presentation of Eurocode 7 on 'Geotechnical Design' //The world of geotechnik.- 2017.- №1.- P.4-15.

After describing shortly the history of the development of Eurocode 7, the contents of the two present documents are given and the main concepts are described (verification procedures and geotechnical categories, characteristic values, derived values, ULS verifications, SLS verifications and allowable movements of foundations).

Zhussupbekov A.Zh., Orazova D. Researches of vibrating influence of wind power tower to the foundation //The world of geotechnik.- 2017.- №1.- P.16-19.

The article presents the results of vibration monitoring of wind turbine (wind turbines). According to the results of field observations is an analysis of the impact of vibration on the pulsating tower loads on wind turbine foundations. The results of the study shows the graphical dependence of vibration characteristics (frequency, amplitude, acceleration) from the intensity of the wind pressure. Given the extrapolation potential of emerging efforts in the foundation under maximum wind load area. Recommendations for selection of optimal foundation engineering-geological and climatic conditions of wind turbines.

Krivosheev P.I., Kornienko M.V., Kozeletskiy P.M., Senatorov V.M. Features of interaction of anchor piles such as "Titan" and "Geoizol" with primers //The world of geotechnik.- 2017.- №4.- P.20-23.

Information about activity of All-Ukrainian public organization “Ukrainian society for soil mechanics, geotechnics and foundation engineering” for period 2012-2016 is presented in paper.

M.I. Miroshnychenko Interaction of cast-in-situ piles in punched holes in strip raft with saturated loess soils //The world of geotechnik.- 2017.- №1.- P.24-33.

The thesis is devoted to improving the methodology for determining the settlements of buildings on cast-in-situ piles in punched holes in strip raft in conditions saturated loess soils. "Zones of influence" interactions between adjacent piles in the raft have been analyzed in tray tests. Long-term buildings settlements geodetic observations on cast-in-situ piles in punched holes in strip raft in conditions of saturated loess soils have been conducted. Numerical simulation for planar and spatial tasks finite element method proved that if distance between axes of adjacent piles is up to five pile's diameters, choosing a flat version and simplified to conventional strip foundation design scheme is correct.

**Рисунки до статті І.В. Мірошніченко
«ВЗАЄМОДІЯ НАБИВНИХ ПАЛЬ У ПРОБИТИХ СВЕРДЛОВИНАХ У СКЛАДІ
СТРІЧКОВИХ РОСТВЕРКІВ ІЗ ЗАМОКЛИМИ ЛЕСОВИМИ ҐРУНТАМИ»**

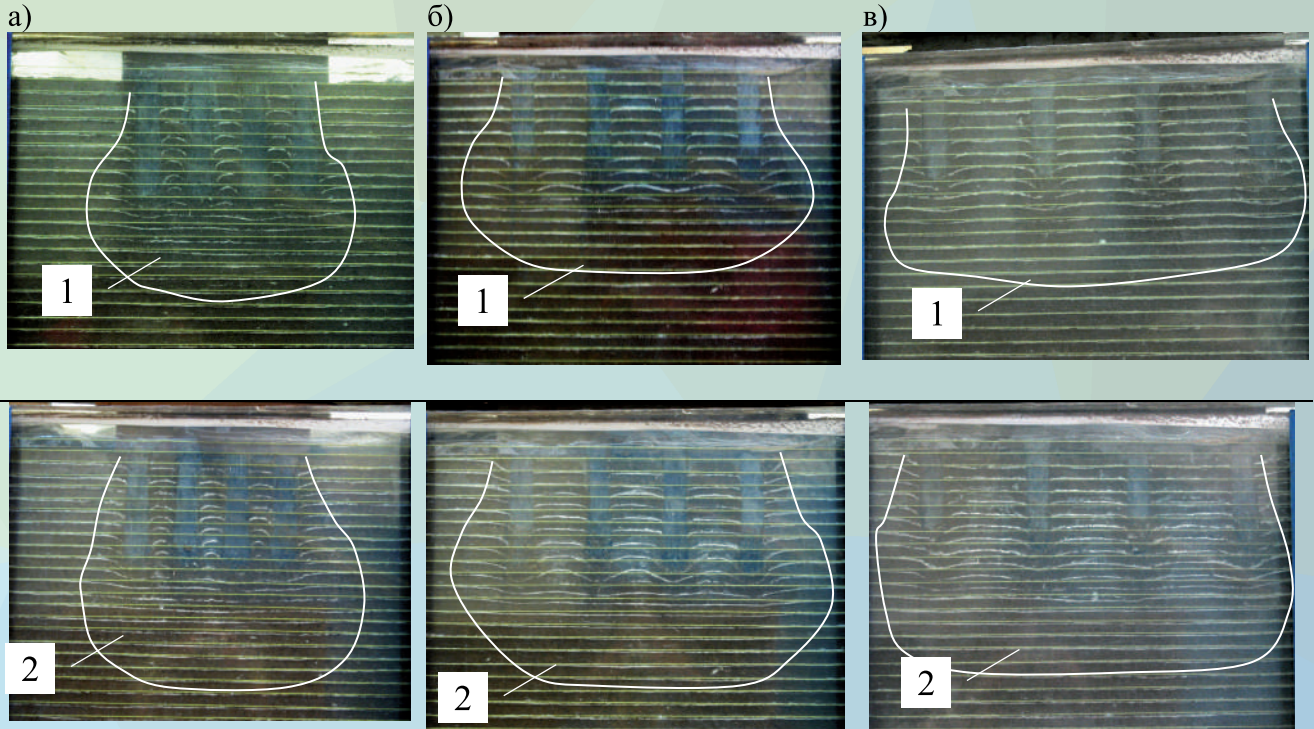


Рисунок 3. – Зовнішні межі „зони впливу” навколо моделей НППС у складі стрічкового ростверку при щільності скелету ґрунту $\rho_d = 1,55 \text{ г/см}^3$ і відстані між осями сусідніх моделей палі l_w : а) $2 \cdot d_M = 60 \text{ мм}$; б) $3 \cdot d_M = 90 \text{ мм}$; в) $4 \cdot d_M = 120 \text{ мм}$; 1 – до навантаження; 2 – після випробування.

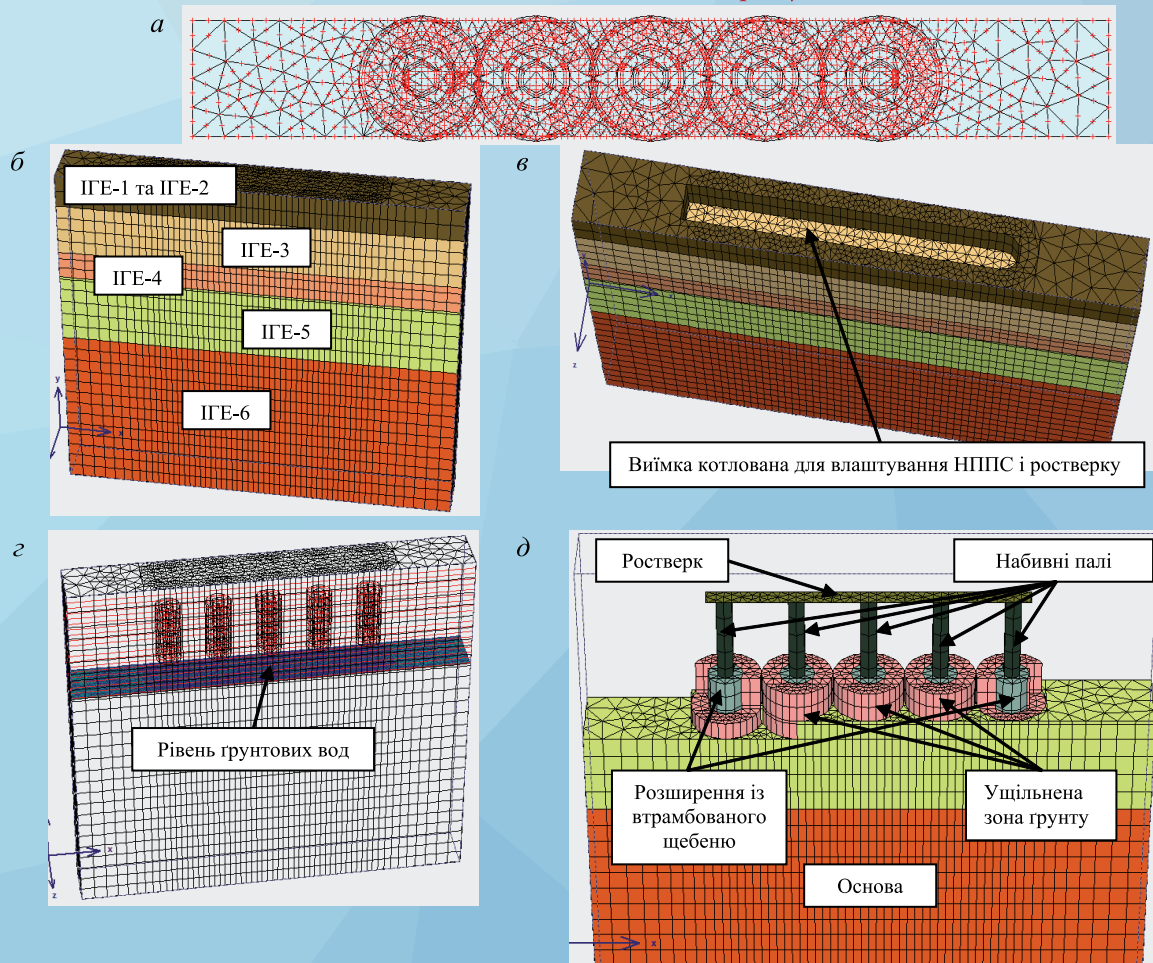


Рисунок 18. – SE модель системи «СР – НППС – О»: а – 2D SE сітка; б – 3D SE сітка; в – на стадії виймання ґрунту; г – рівень ґрунтових вод; д – улаштування НППС і ростверку; ІГЕ-1...ІГЕ-6 – інженерно-геологічні елементи, на які розбито основу