

оборудование / Проспект фирмы "Эмбеко". - Париж. - 1978. - 38 с.

3. Устройство полов и подливки под оборудование // "Тэо Хим Нева". Режим доступа: <http://www.teohimneva.ru/technologies3.php>.

4. Мирошниченко К. К. Шляхи приготування високоякісних будівельних сумішей / Мирошниченко К. К., Приходько А. П. // Вісник Придніпр. держ. акад. буд. та архітектури. - Д. - №1. - 2004. - С. 56 - 59.

5. Королев К. М. Эффективность приготовления бетонных смесей / К. М. Королев // Механизация строительства. - 2003. - № 6. - С. 7 - 8.

6. Matias D., Britode J., Rosa A., Pedro D. Mechanical properties of concrete produced with recycled arseaggregates - influence of the use of superplasticizers / D. Matias, J. de Brito, A. Rosa, D. Pedro // Construction and building materials. - 2013. - Vol. 44. - P. 101 - 109.

7. Nagrockiene D., Pundiene I., Kicaite A. The effect of cement type and plasticizer addition on concrete properties / Drigita Nagrockiene, Ina Pundiene, Asta Kicaite // Construction and building materials. - 2013. - Vol. 45. - P. 324 - 331.

АНОТАЦІЯ

Удосконалення технології улаштування підливки під обладнання з фібробетонних сумішей. В статті наведені технологічні схеми улаштування підливки під конструкції і технологічне устаткування з фібробетону, який не дає усадки.

Розроблена технологія приготування дозволяє підвищити продуктивність процесу та якість улаштування суміші для підливки.

Ключові слова: підливка, обладнання, змішувач, технологія приготування, фібробетон.

ANNOTATION

Improvement of technology of device of sauce under equipment from concretes by fibrous mixtures.

In the article the technological charts of device of inundate a concrete under constructions and technological equipment from concretes by fibrous are resulted.

The developed technology allows to increase productivity of process and quality of arrangement of mixture for a sauce.

Keywords: sauce, equipment, mixer, technology of preparation, concretes by fibrous.

УДК 624.012

Д.В Михайловський, к.т.н., доцент;
Д.Н. Матюченко, аспірант;
А.О. Смоленський, студент, КНУБіА, Київ

МОДЕЛЮВАННЯ ПАЛЬОВОГО ФУНДАМЕНТУ З ВИКОРИСТАННЯМ ОБ'ЄМНИХ ФІЗИЧНО-НЕЛІНІЙНИХ СКІНЧЕННИХ ЕЛЕМЕНТІВ ҐРУНТУ

АНОТАЦІЯ

Представлені результати чисельного аналізу пальового фундаменту каркасно-монолітного 24-поверхового житлового будинку в програмному комплексі ЛІРА-САПР з різними варіантами моделювання ґрунту основ.

Ключові слова: ґрунт, каркасно-монолітна будівля, палі, програмний комплекс.

Постановка проблеми. Зменшення витрат на будівництво без втрати надійності та якості, удосконалення чисельних методів проектування і поступовий перехід на європейські норми є досить актуальними питаннями в умовах сучасного українського будівництва. Для їх вирішення проектувальники все частіше починають використовувати сучасні програмні комплекси, що дають змогу визначити дійсний напружено-деформований стан системи "основа — фундаменти — надземні конструкції", врахувати різні типи нелінійності та спрогнозувати поведінку окремих конструкцій чи всієї будівлі на стадіях будівництва та експлуатації.

В практиці проектування на стадії створення розрахункової моделі досить поширене використання ґрунтової основи в якості абсолютно пружного матеріалу, тобто з роботи виключаються пластичні деформації. Це припущення значною мірою впливає на отримання достовірних результатів за рахунок відсутності необхідного врахування нелінійності та неоднорідності ґрунту і дає помітну похибку на кінцевий результат.

В загальному випадку ґрунт є нелінійно-деформованим тілом, в якому залежність між прикладеним навантаженням та деформаціями є кривольніною, тому стан такого матеріалу повинен визначатись в складних пружно-пластичних моделях, які враховують поетапність прикладання навантажень і появи напружень у матеріалі та посту-

пове його розвантаження. Врахування такої природи ґрунтової основи можливе лише при нелінійних розрахунках, а стрімкий розвиток програмних комплексів сприяє їх прискоренню та спрощенню.

Типи нелінійності:

— фізична нелінійність — залежність між напруженнями і деформаціями не є лінійною, тобто не відповідає закону Гука;

— геометрична нелінійність — залежність між переміщеннями і деформаціями є нелінійною, що дозволяє оцінити вплив зміни форми конструкції на її напружений стан;

— конструктивна нелінійність — враховується зміна розрахункової схеми конструкції в умовах її деформування;

— генетична нелінійність — пов'язана з накопиченням напружень та деформацій в конструкції в процесі її створення. Також може розглядатись в складі конструктивної нелінійності.

При моделюванні системи "основа — фундаменти — надземні конструкції" простежуються всі типи нелінійності. Це може бути нелінійність по-

ведінки залізобетонних несучих конструкцій або ґрунту основи під великими навантаженнями, вплив послідовності зведення або суміжних секцій на напружено — деформований стан будівлі. Для виконання нелінійного розрахунку в програмному комплексі ЛІРА-САПР 2013 передбачено використання об'ємних фізично нелінійних скінчених елементів, які здатні відтворити роботу ґрунтового масиву під навантаженнями.

Формулювання мети статті. Розробка алгоритму розрахунку будівель на пальових фундаментах з використанням об'ємних скінчених елементів ґрунту.

Основна частина. В якості об'єкту дослідження було обрано 24-поверховий каркасно-монолітний будинок з наступною конструктивною схемою — повний залізобетонний несучий каркас з пальовими фундаментами з буріон'єкційних паль діаметром 82 см, об'єднаних суцільним фундаментним ростверком товщиною 1,4 м, вертикальними несучими елементами (пілони та стіни, ядро жорсткості в межах сходово-ліфтового блоку). Горизонтальну жорсткість забезпечують плити перекриття товщиною 0,2 м. Розміри будівлі в осях 16,8х27,05 м. Довжина паль — 30 м, визначена за інженерно-геологічними вишукуваннями та результатами статичних випробувань.

З метою дослідження напружено-деформованого стану "основа — фундамент" було виконано чисельний розрахунок методом скінчених елементів (МСЕ) з використанням лінійно пружних в'язей (тип 1), об'ємних лінійних елементів ґрунту (тип 2) та об'ємних фізично нелінійних елементів ґрунту (тип 3) в програмному комплексі ЛІРА-САПР.

Для розрахунку з використанням пружних в'язей (тип 1) палі були виконані двовузловими скінченими елементами (далі — СЕ) №10 довжиною, що відповідає потужності кожного шару ґрунту. Жорсткість стержнів призначена як для кільця з зовнішнім діаметром $D = 82\text{ см}$, внутрішнім $d = 0\text{ см}$, питомою вагою $R_0 = 25\text{ кН/м}^3$, модулем пружності $E = 3 \cdot 10^7\text{ кН/м}^2$. Для моделювання тертя ґрунту при роботі палі по бічній поверхні, в місцях перетину ґрунтового масиву зі скінченими елементами паль встановлено одновузловий СЕ пружної в'язі — №56 [1]. Зусилля R_x та $R_{y\text{виз}}$ наведені за формулою (1) згідно п.Н.8 нормативного документу [2]:

$$C_i = K \cdot z / \gamma_c \quad (1)$$

де, K — коефіцієнт пропорційності, кН/м^4 , що приймають в залежності від виду ґрунту, що ото-

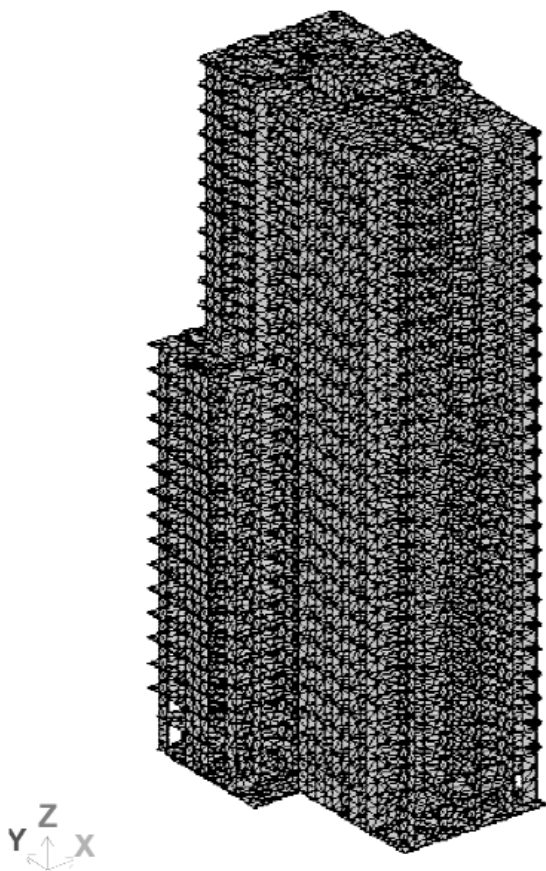


Рис.1. Скінченно-елементна модель будівлі

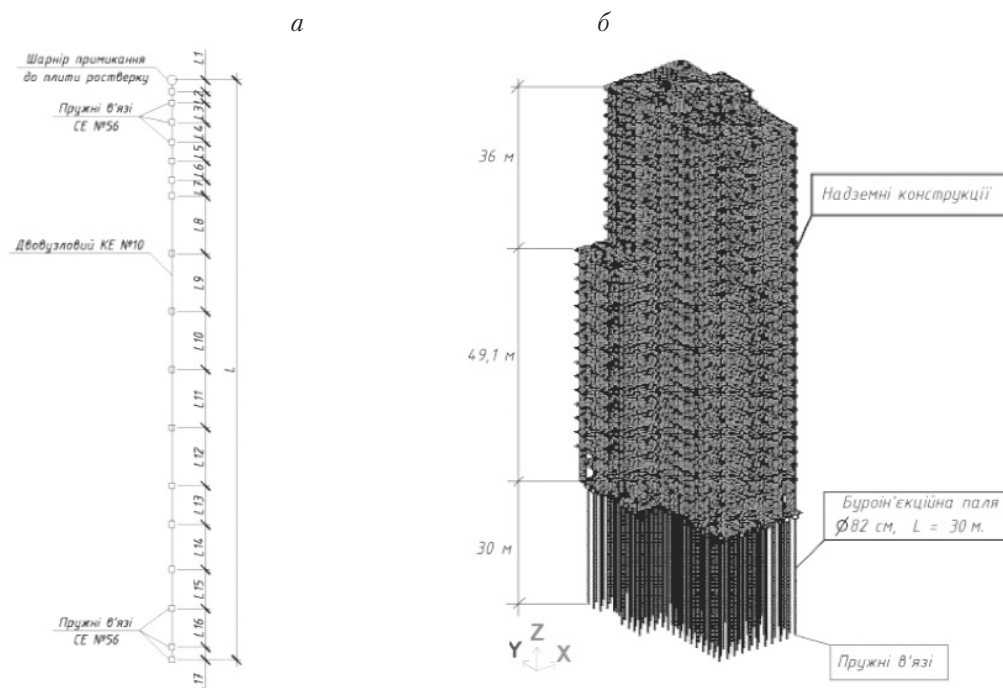


Рис. 2. Скінченно-елементна модель для лінійного розрахунку з використанням пружних в'язей (тип 1)
а — модель палі; б — модель всієї будівлі

чує палю; z — глибина розташування перерізу палі в ґрунті, м, для якої визначається коефіцієнт жорсткості; γ_c — коефіцієнт умов роботи, прийнято $\gamma_c = 3$ — при роботі навколо пального ґрунту як пружного лінійно-деформованого середовища, що характеризується коефіцієнтом жорсткості C_z .

Зусилля R_z були задані за допомогою програмного комплексу "Еспри 2.1" як погонна жорсткість палі з врахуванням фактичних інженерно-геологічних умов.

Верхній кінець палі має шарнірне сполучення з плитою. Нижній заходить в несучий шар на 1 м.

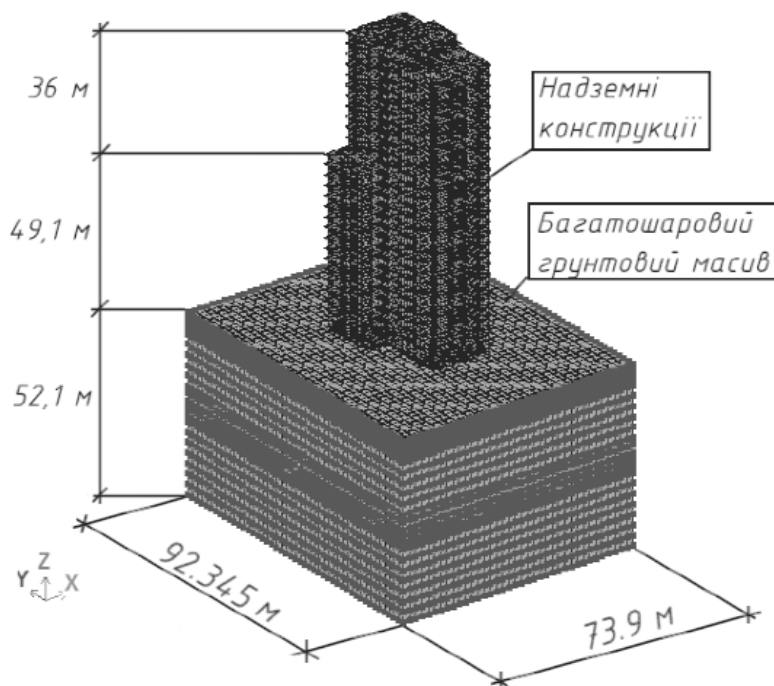


Рис. 3. Скінченно-елементна модель для лінійного (тип 2) і нелінійного розрахунку з використанням об'ємних СЕ ґрунту (тип 3)

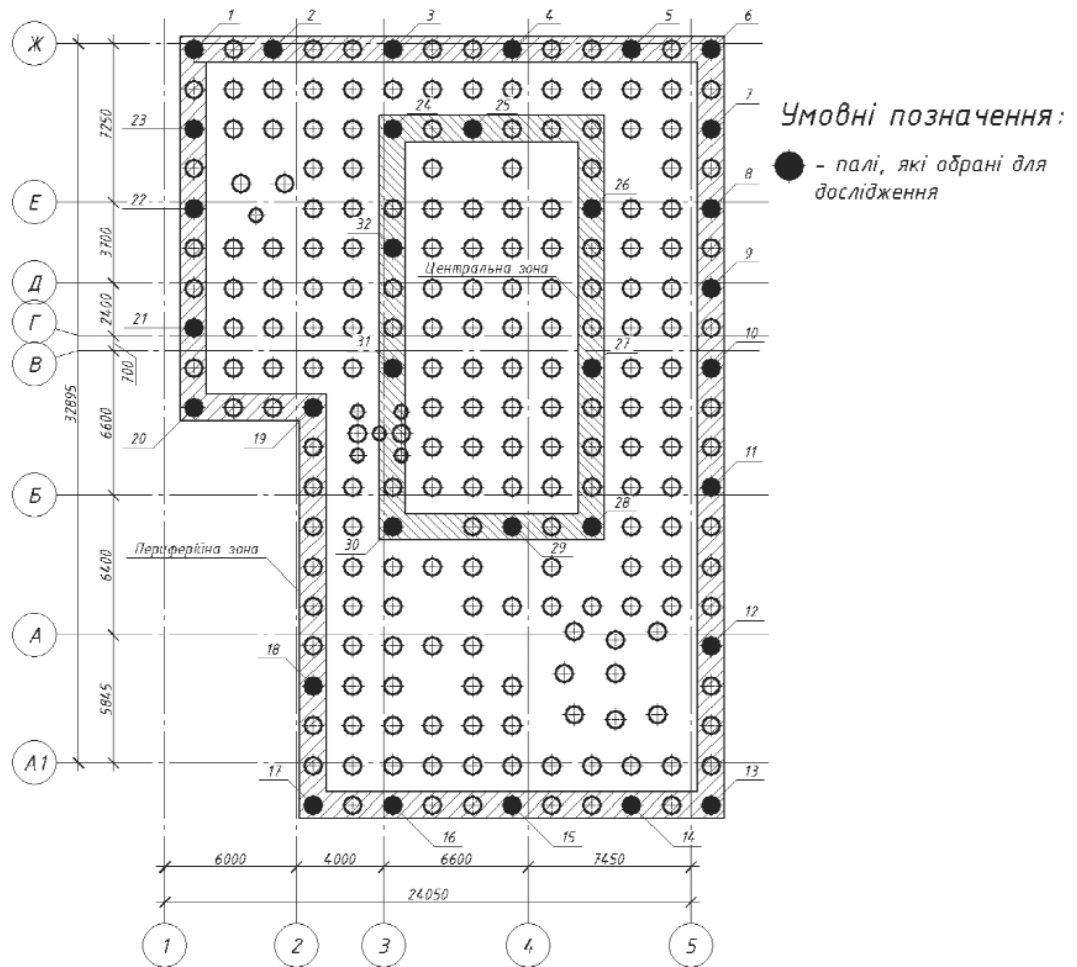


Рис. 4. Схема розміщення палей з зонами дослідження

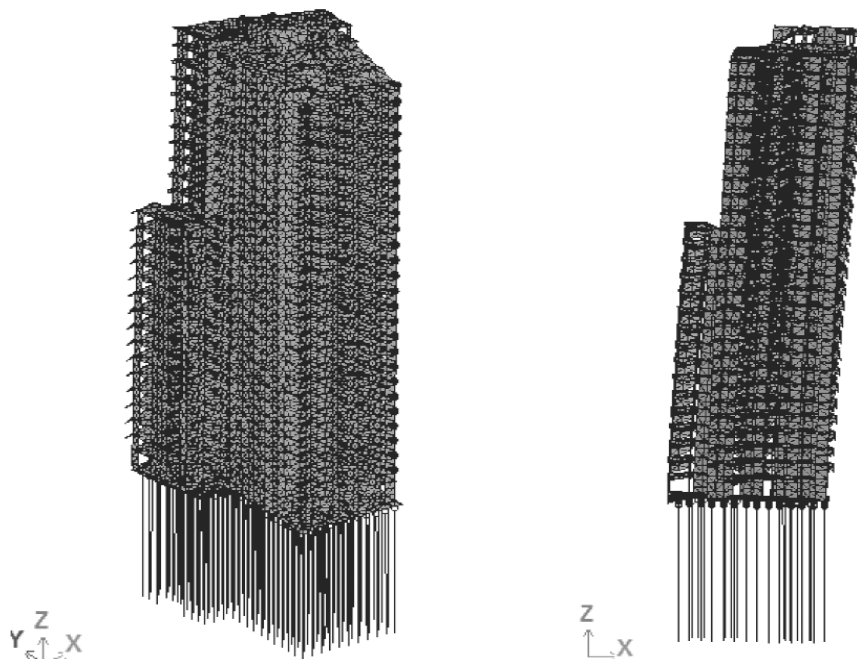


Рис. 5. Деформована схема будівлі при лінійному розрахунку (тип 1)

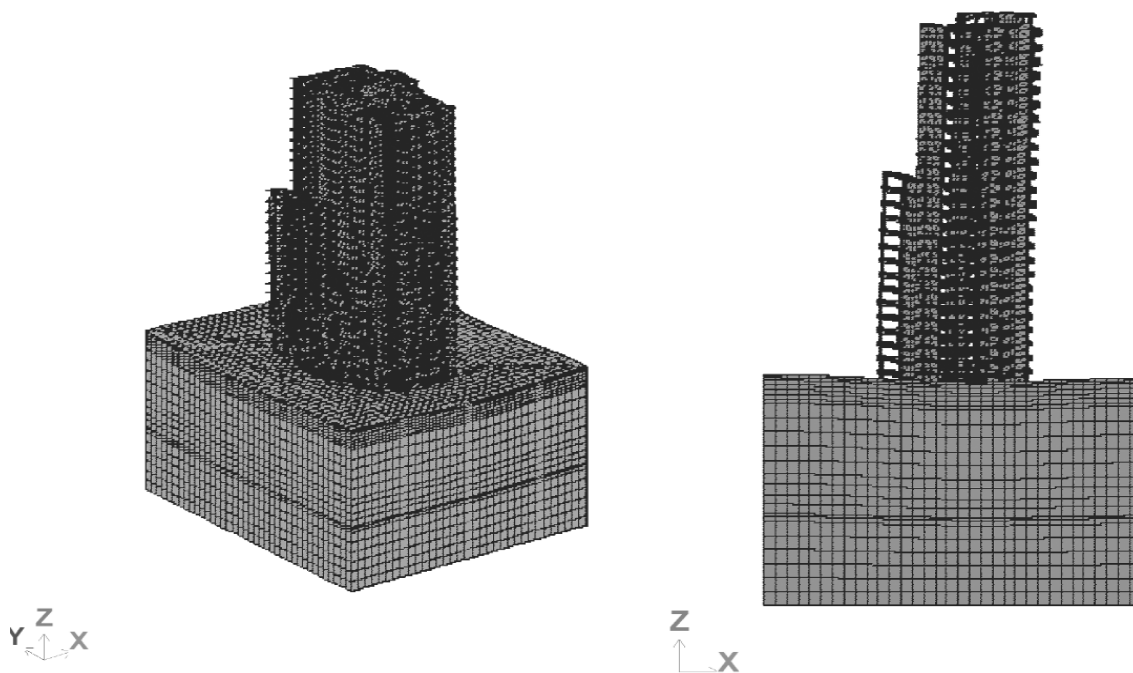


Рис. 6. Деформована схема будівлі при лінійному розрахунку (тип 2)

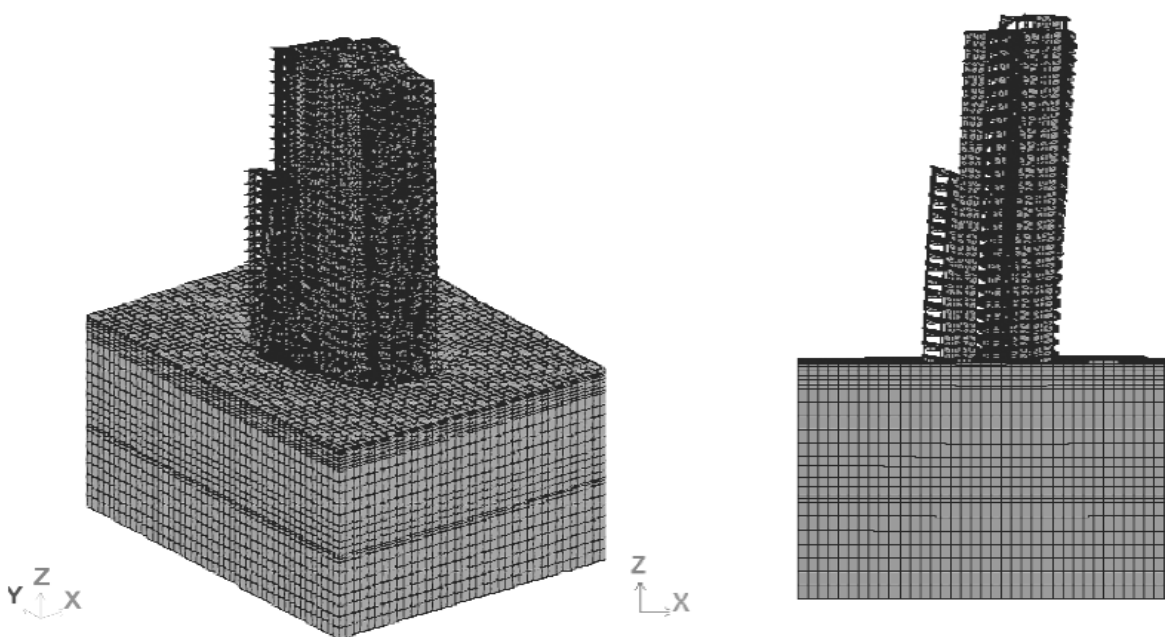


Рис. 7. Деформована схема будівлі при нелінійному розрахунку (тип 3)

Скінченно-елементна модель для лінійного розрахунку (тип 2) виконана з використанням лінійних об'ємних скінченних елементів з трикутною (під будівлею) та прямокутною (за межами будівлі) формою в плані, крок сітки вузлів трикутників не більше 1 м, прямокутників — 2 м. Жорсткості об'ємних елементів призначені відповідно до даних інженерно-геологічних вишукувань.

В скінченно-елементній моделі палі змодельовані за допомогою двовузлових СЕ №10, з довжиною, що відповідає шару ґрунту. Нижній кінець палі заглиблено на 1 м в несучий шар ґрунту, а верхній має шарнірне сполучення з плитним ростверком.

Ґрунтовий масив триангульовано за допомогою методів програмного комплексу. Межею масиву прийнято точки на відстані 24 м (в поперечному

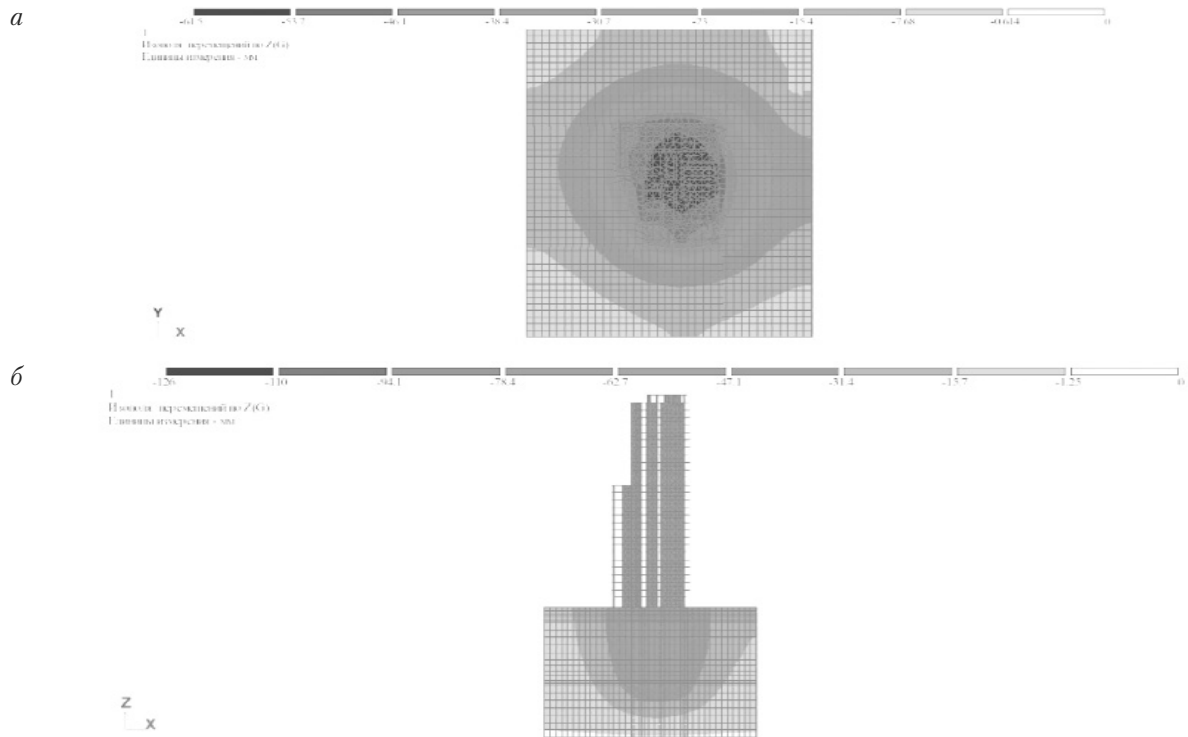


Рис. 8. Изополя перемещений грунта в направлении Z при линейном расчете (тип 2):
а — в уровне подошвы плитного ростверка; б — поперечный разрез

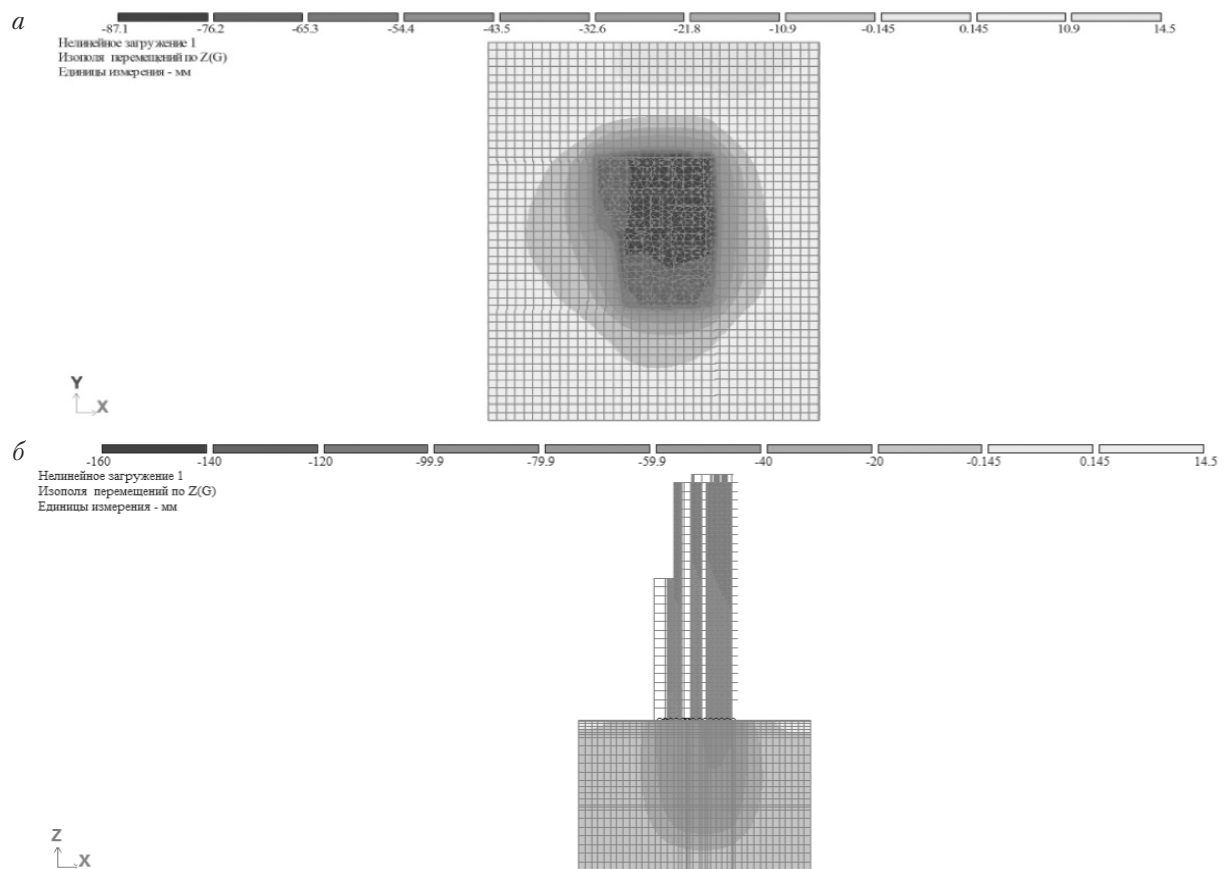


Рис. 9. Изополя перемещений грунта в направлении Z при нелинейном расчете (тип 3):
а — в уровне подошвы плитного ростверка; б — поперечный разрез

напрямку) та 26 м (в поздовжньому напрямку) від крайніх вузлів плити ростверку. Триангуляція прямокутними пластинчастими СЕ проводилась з врахуванням вузлів ростверку. Після цього пластинчасті СЕ видавлювались переміщенням твірної на величину фактичної потужності шару і пізніше були видалені. В межах кожного шару ґрунту (відповідно до інженерно-геологічних умов),

об'ємні скінченні елементи поділені на шари від 0,6 до 3 м в залежності від потужності шару ґрунту. Нижня грань масиву обмежена від переміщень по осям Х, У та Z, а бічні — від переміщень по Х та У.

Для виконання нелінійного розрахунку з використанням об'ємних фізично нелінійних СЕ ґрунту (тип 3) були використані СЕ № 271 і 273 прямокутної і трикутної форми в плані відповідно, палі

Табл. 1. Порівняльний аналіз чисельних досліджень максимальних внутрішніх зусиль в палях в периферійній та середній зонах пальового фундаменту

Зона	№ палі	Тип 1, N, кН	Тип 2, N, кН	Тип 3, N, кН	Похибка між С3 та С5, %	Похибка між С4 та С5, %
1	2	3	4	5	6	7
Периферійна зона	1	-1961.50	-4645.08	-3844.55	96.00	20.82
	2	-1745.10	-2987.16	-2819.04	61.54	5.96
	3	-1946.70	-3289.11	-2854.19	46.62	15.24
	4	-2116.30	-3449.91	-2942.92	39.06	17.23
	5	-2135.70	-3316.82	-2855.75	33.71	16.15
	6	-2022.20	-5148.54	-4911.35	142.87	4.83
	7	-1804.50	-2556.43	-2600.87	44.13	1.74
	8	-1613.60	-2209.00	-2384.06	47.75	7.92
	9	-1725.60	-2722.76	-2603.00	50.85	4.60
	10	-2008.30	-3646.17	-2956.52	47.22	23.33
	11	-1817.70	-3317.07	-2611.27	43.66	27.03
	12	-1643.60	-2770.17	-2885.60	75.57	4.17
	13	-2035.10	-4125.16	-3950.00	94.09	4.43
	14	-2021.19	-2882.45	-2444.53	20.95	17.91
	15	-1930.40	-3081.14	-2546.91	31.94	20.98
	16	-1793.60	-2559.10	-2238.39	24.80	14.33
	17	-2019.00	-4436.80	-3782.21	87.33	17.31
	18	-1794.80	-2832.01	-2351.73	31.03	20.42
	19	-1362.90	-1383.42	-1213.77	12.29	13.98
	20	-981.50	-2284.05	-2652.01	170.20	16.11
	21	-1279.10	-2190.87	-1880.14	46.99	16.53
	22	-1468.40	-2368.41	-2193.76	49.40	7.96
	23	-1657.80	-2359.45	-2134.02	28.73	10.56
Середня зона	24	-1652.20	-854.82	-1264.28	30.68	47.90
	25	-1773.50	-849.09	-1271.37	39.50	49.73
	26	-1738.70	-844.92	-1169.96	48.61	38.47
	27	-1984.00	-1069.92	-1368.97	44.93	27.95
	28	-1639.90	-1048.51	-1258.09	30.35	19.99
	29	-1592.00	-1109.37	-1364.53	16.67	23.00
	30	-1475.50	-720.87	-1009.13	46.22	39.99
	31	-1447.50	-939.74	-1185.03	22.15	26.10
	32	-1540.90	-1142.97	-1366.09	12.80	19.52

Табл. 2. Порівняльний аналіз чисельних досліджень переміщень вздовж осі Z в периферійній та середній зоні пального фундаменту

Зона	№ палі	Тип 1, Δ, мм	Тип 2, Δ, мм	Тип 3, Δ, мм	Похибка між С3 та С5, %	Похибка між С4 та С5, %
1	2	3	4	5	6	7
Периферійна зона	1	-11.85	-54.07	-96.93	718.01	79.25
	2	-10.54	-60.66	-103.49	881.72	70.61
	3	-11.76	-67.35	-111.83	850.99	66.05
	4	-12.78	-68.59	-114.41	795.24	66.80
	5	-12.90	-65.57	-112.90	775.20	72.18
	6	-12.22	-59.43	-107.14	777.07	80.27
	7	-10.90	-64.75	-110.88	917.17	71.25
	8	-9.75	-68.09	-112.70	1056.18	65.53
	9	-10.42	-71.96	-116.30	1015.60	61.61
	10	-12.13	-74.57	-119.16	882.20	59.80
	11	-10.98	-73.55	-117.13	966.72	59.24
	12	-9.93	-64.59	-105.45	962.08	63.26
	13	-12.29	-52.59	-93.17	657.88	77.17
	14	-12.21	-57.70	-98.16	703.64	70.11
	15	-11.66	-60.40	-100.63	762.92	66.62
	16	-10.84	-57.25	-97.28	797.80	69.92
	17	-12.20	-52.77	-92.63	659.43	75.53
	18	-10.84	-62.44	-101.61	837.14	62.74
	19	-8.23	-73.25	-111.65	1256.16	52.42
	20	-5.93	-59.58	-92.31	1456.99	54.95
	21	-7.73	-61.98	-98.15	1170.20	58.35
	22	-887.00	-61.09	-99.91	787.81	63.55
	23	-10.02	-58.52	-98.88	887.31	68.97
Середня зона	24	-9.82	-71.70	-113.25	1053.57	57.94
	25	-10.71	-73.43	-115.95	982.28	57.92
	26	-10.50	-75.32	-117.96	1023.05	56.61
	27	-11.99	-80.14	-121.42	913.07	51.51
	28	-9.91	-76.61	-116.45	1075.40	52.01
	29	-9.62	-76.57	-115.27	1098.55	50.53
	30	-8.91	-74.21	-112.09	1158.06	51.06
	31	-8.74	-77.20	-115.52	1221.16	49.63
	32	-9.31	-76.30	-115.80	1144.11	51.78

змодельовані за допомогою двовузлових СЕ з довжиною залежно від потужності шарів ґрунту з зануреним нижнім кінцем в несучий шар на 1 м. Для розрахунку обрано кроково-ітераційний метод для сполучень навантажень (довготривале, короткочасне) з кількістю ітерацій сполучених навантажень 50, крок для прикладання нелінійного навантаження 25% від розрахункового навантаження.

Для чисельного дослідження та отримання максимально об'єктивного результату були обрані палі, що розміщені у різних зонах пальної основи, які умовно розділені на периферійну (по контуру ростверку) та центральну (в середині ростверку) зони, робота ростверку не враховується. Схему розміщення пального поля та межі зон зображено на рис.4.

Порівняльний аналіз виконаний в табличному вигляді для значень зусиль в палях поздовжньої сили N (таблиця 1) та переміщень вздовж осі Z (таблиця 2).

Висновок. Проаналізувавши отримані чисельні дослідження в програмному комплексі ЛІРА-САПР 2013 можна зробити наступні висновки:

1) дослідження напружено-деформованого стану елементів системи "основа — фундаменти — надземні конструкції" рекомендується проводити із застосуванням програмних комплексів, які враховують об'ємну фізичну не лінійність;

2) розрахунки по типу 1 недопустимі, тому що отримані значення зусиль в палях мають похибку до 140% і не враховують сумісну роботу паль;

3) застосування об'ємних фізично-нелінійних скінчених елементів дає можливість врахувати вплив суміжних секцій та послідовність зведення споруди на розподіл зусиль в пал'овому фундаменті. Це дає змогу коректно дослідити характер деформування основи, що впливає на осідання фундаментів та перерозподіл внутрішніх зусиль у плитних ростверках та палях;

4) моделювання ґрунтового масиву в ЛІРА-САПР 2013 не враховує водонасичення ґрунтової основи, а також об'ємні СЕ не враховують пористість і вологість ґрунту;

5) для точнішого моделювання нелінійної роботи ґрунту необхідно враховувати етапність зведення об'єкту в системі "Монтаж", для цього процес будівництва необхідно розділити на етапи (стадії): 1 — ґрунтовий масив, з врахуванням його власної ваги та з "зануленням" переміщень; 2 — конструкції фундаментів (палі та плитний ростверк), які ущільнюють ґрунт від власної ваги; 3 —

надземні конструкції, вище плити ростверку, що від власної ваги передають навантаження на фундаменти; 4 — інші навантаження, що використовуються для статичного розрахунку конструкцій.

ЛІТЕРАТУРА

1. ДБН В.2.1-10-2009 *Основи та фундаменти споруд. Основні положення проектування.*

2. Попов А.Н., Волков В.В., Хатуцев А.А. "Численное моделирование напряженно-деформированного состояния аэродромных покрытий в условиях физической нелинейности грунтового основания" — Интернет журнал "Науковедение" №5. 2013.

3. Городецкий Д.А., Барабаш М.С. и др. "Программный комплекс ЛІРА-САПР 2013. Учебное пособие" — К. — М.: Электронное издание, 2013г., — 376 с.

4. Далматов Б.И. "Механика грунтов, основания и фундаменты. — Л.: Стройиздат, 1988., — 415 с.

АННОТАЦИЯ

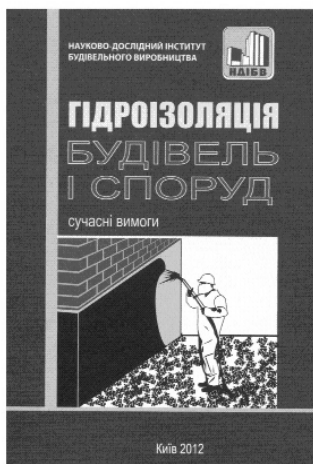
Представлены результаты численного анализа свайных фундаментов 24 -этажного каркасно-монолитного жилого здания в программном комплексе ЛІРА-САПР с разными вариантами моделирования ґрунта основи.

Ключевые слова: ґрунт, каркасно-монолитное здание, сваи, программный комплекс.

ANNOTATION

Numerical analysis of pile foundations of the 24-storey building with different soil models in software LIRA-SAPR is shown.

Keywords: Soil, cast-frame building, piles, computer modelling.



Пропонуємо наші нові видання "Гідроізоляція будівель і споруд"

У книзі наведені сучасні вимоги до проектування та улаштування гідроізоляції будівель і споруд з застосуванням нових матеріалів і технологій. Наведена сучасна класифікація гідроізоляцій та сучасні вимоги до гідроізоляційних матеріалів, технологій улаштування і експлуатації виконаних гідроізоляцій. Книга призначена для інженерно-технічних працівників проектних та будівельних організацій.

З питань придбання звертатись:
т/ф.: (044) 248-48-68, E-mail: vistavca@ukr.net