

ОПТИМІЗАЦІЯ ПАЛЬОВОГО ПОЛЯ ВИСОТНИХ БУДІВЕЛЬ ЗА МГЕ

А. С. Моргун, А. В. Ніцевич

Використовуючи метод граничних елементів, в статті проведено роботу із визначення несучої спроможності одиначної палі та усього пальового поля висотної будівлі. За даними теоретичних досліджень проведено оптимізацію пальового поля. Також здійснено порівняння отриманих результатів розрахунку з експериментальними даними.

Используя метод граничных элементов, в статье проведена работа по определению несущей способности единичной сваи и всего свайного поля высотного здания. По данным теоретических исследований проведена оптимизация свайного поля. А также сделано сравнение полученных результатов с экспериментальными данными.

Using the method of boundary elements, in the article the work by definition of bearing ability of an individual pile and all pile field of a high-rise building is spent. According to theoretical researches optimisation of a pile field is made. And also comparison of the received results with experimental data is made.

Вступ

Висотні будівлі стають особливістю силуету сучасних міст. Вони є вельми індивідуалізованими продуктами, потребують індивідуальної прив'язки до ґрунтів конкретного будівельного майданчика, умови прив'язки практично не повторюються. Виникає нагальна потреба контролю технічного стану (моніторингу) таких конструкцій як наземної, так і підземної частин цих складних інженерних споруд та їх ґрунтової основи.

Постановка задачі, визначальні співвідношення

Як відомо інструментальний моніторинг конструкцій і ґрунтових основ базується на 4-ох основних типах.

1. Геодезичні виміри: нівелювання, сучасні цифрові датчики, супутникові GPS-технології, лазерне сканування об'єкта. Використовуючи їх можна знайти переміщення об'єкта в просторі, заміряти осідання і крен, що відповідають стану на момент заміру, але геодезичні виміри не дають конкретної динаміки поведінки об'єкта.
2. Інженерно-геологічні спостереження за станом ґрунтового масиву – це заміри в окремих свердловинах. Під фундаментальною плитою розташовуються сітки датчиків тиску на ґрунт. Ці спостереження дають можливість відслідковувати особливості динаміки об'єкта.
3. Замір навантажень і деформацій в конструкціях фундаменту і наземної частини – це вібраційні датчики напружень, що монтуються по осях X, Y, Z в ключових точках на арматуру в процесі будівництва в фундаментних плитах, стінах, пілонах, колонах будівлі. Сигнальні кабелі від датчиків зводяться в кімнату моніторингу, звідки здійснюється автоматичне опитування показників.
4. Сейсмометричні методики. За допомогою замірювальних пристроїв – деформографи, нахиломіри, сейсмометри (акселерометри), отримується миттєва картина стану об'єкта, спостереження її в часі дає різнобічну картину особливостей динаміки споруди.

Якщо перші три типи спостережень дають «пряму» інформацію, то IV тип потребує складної попередньої обробки.

Із будівельної практики відомо, що використання як фундаментних конструкцій паль зазвичай залишають великі резерви їх несучої спроможності. Ґрунти, як відомо, навіть при незначних тисках отримують незворотні пружно-пластичні деформації, які залежать від історії навантаження. За таких передумов поведінка ґрунту описується системою диференціальних рівнянь. Числове розв'язання цієї задачі виконано з залученням МГЕ [1, 2]. Рівняння рівноваги, що пов'язує напруження та деформації на границі досліджуваного об'єкта (палі):

$$c(\xi)u(\xi) + \int_{\Gamma} u(x)q^*(\xi; x)d\Gamma(x) = \int_{\Gamma} q(x)u^*(\xi; x)d\Gamma(x) \quad (1)$$

При розробці проектної документації на влаштування пальового поля будівлі по вул. Л. Ратушної в м. Вінниці експериментальні дослідження роботи одиночної буроін'єкційної палі безпосередньо на будівельному майданчику при осіданні $S=1$ см показали несучу спроможність 1050 кН. Розрахунок одиночної палі за числовим методом граничних елементів для ґрунтових умов будівельного майданчика склав 990 кН при $S=1$ см. На рис. 1 показано порівняння даних експериментальних досліджень та числового моделювання за МГЕ для одиночної палі.

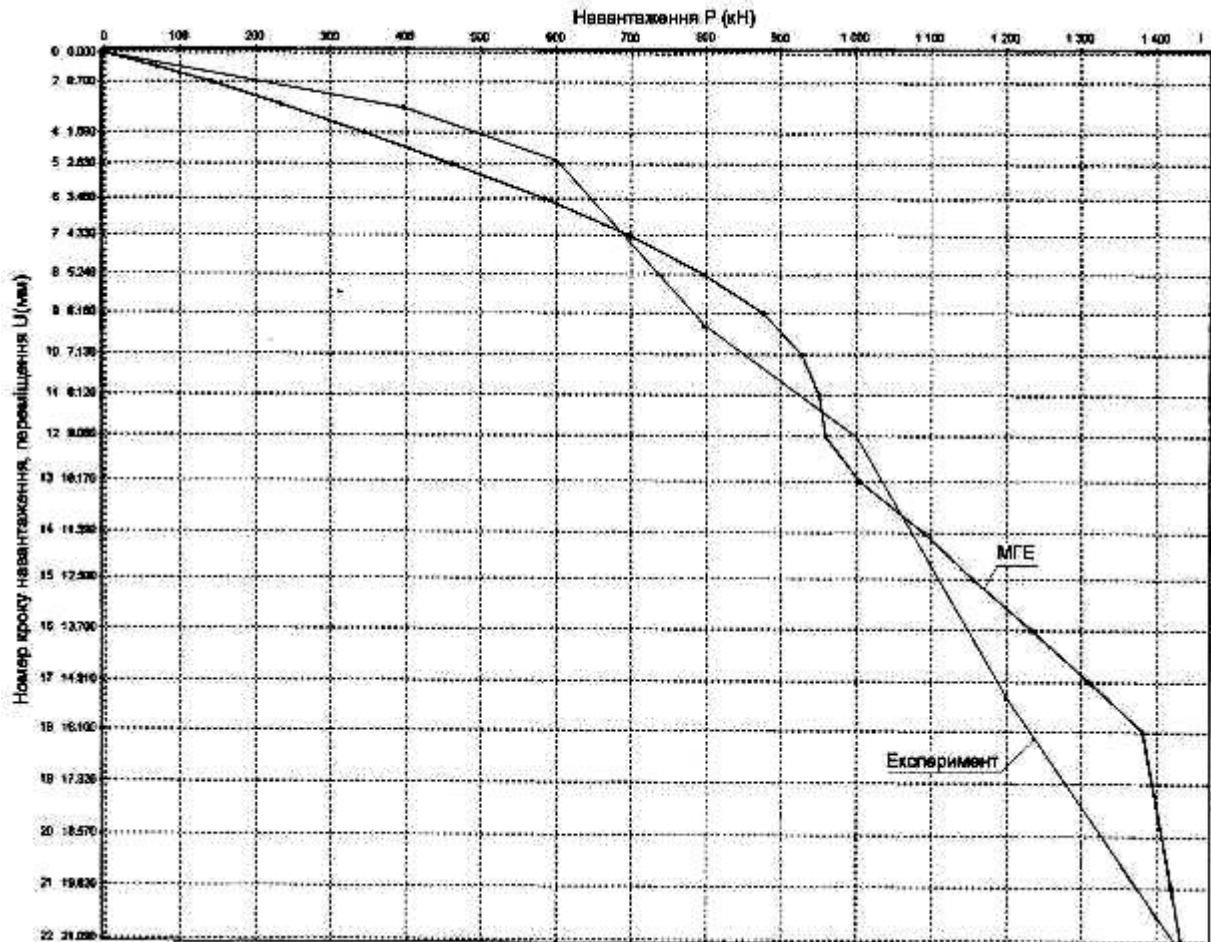


Рис. 1. Порівняння даних експериментальних досліджень та числового моделювання за МГЕ для одиночної палі ($L=12$ м, \varnothing 620 мм)

Спочатку палеве поле будівлі передбачалось із 39 буроін'єкційних паль ($L=12$ м, \varnothing 620 мм). Розрахунок даного пальового поля за МГЕ з урахуванням взаємодії активних зон сусідніх паль показав загальну несучу спроможність 5363 кН при $S=1$ см. Зауважуючи вагу будівлі (підраховану за ПК «Ліра») $P=42100$ кН, очікуване осідання склало $S=7,85$ см.

З метою зменшення величини осідання будівлі була внесена пропозиція додаткового введення в палеве поле ще 36 шт. буроін'єкційних паль ($L=18$ м, \varnothing 420 мм). Та прогноз осідання за МГЕ такого пальового поля дуже мало покращує його роботу через значний взаємовплив активних зон сусідніх паль. Його несуча спроможність за МГЕ – 6387 кН при $S=1$ см, очікуване загальне осідання будівлі – $S=6,52$ см. В зв'язку з цим палеве поле було оптимізовано.

Згідно з даними розрахунку за МГЕ несучої спроможності кожної палі пальового поля, з нього запропоновано вилучити 6 паль із найменшою несучою спроможністю та зменшити довжину додатково занурених паль з 18 м до 17 м (рис. 2).

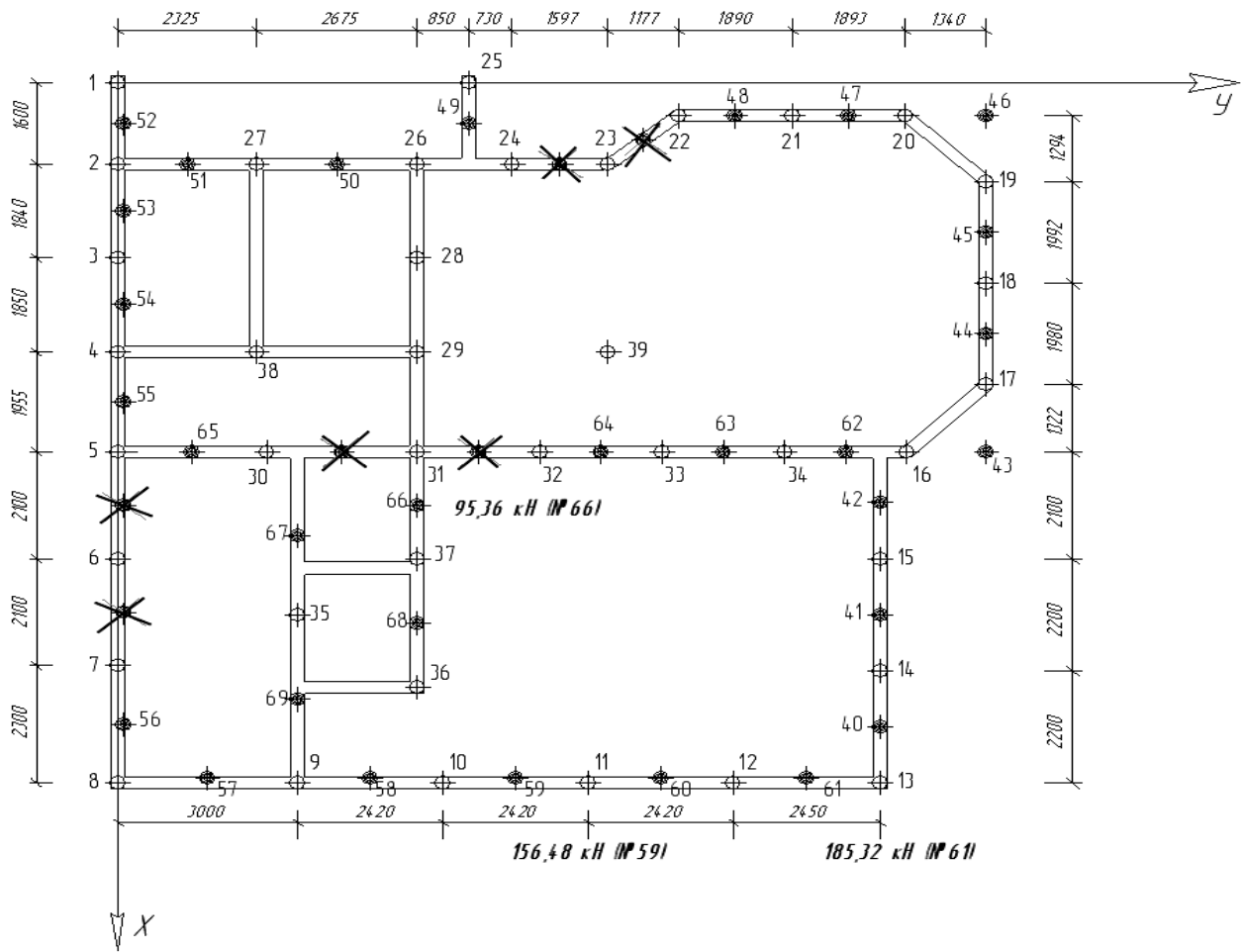


Рис. 2. Схема розташування паль оптимізованого пального поля будівлі (69 шт., з них 39 шт. – \varnothing 620 мм, L=12м; 30 шт. – \varnothing 420 мм, L=17 м)

Числові дані повторного розрахунку несучої спроможності паль пального поля (при S=1 см) наведені в таблиці 1 (від 1 до 39 палі – L=12 м, \varnothing 620 мм; від 40 до 69 палі – L=17 м, \varnothing 420 мм).

Таблиця 1

Результати розрахунку пального поля із 69 шт. паль (39 шт. – \varnothing 620 мм, L=12м; 30 шт. – \varnothing 420 мм, L=17 м)

№ палі	Несуча спром. P, кН	№ палі	Несуча спром. P, кН	№ палі	Несуча спром. P, кН	№ палі	Несуча спром. P, кН	№ палі	Несуча спром. P, кН	№ палі	Несуча спром. P, кН
1	90.351	13	111.909	25	73.522	37	25.362	49	122.602	61	183.681
2	22.860	14	72.925	26	44.666	38	48.003	50	92.501	62	107.623
3	38.301	15	48.957	27	55.786	39	47.006	51	118.667	63	120.810
4	42.687	16	27.810	28	47.775	40	185.317	52	154.333	64	123.544
5	54.320	17	59.557	29	42.753	41	136.571	53	128.928	65	93.488
6	77.301	18	56.896	30	43.720	42	125.272	54	112.432	66	95.365
7	81.849	19	84.191	31	19.710	43	149.752	55	150.782	67	99.877
8	111.562	20	84.726	32	25.684	44	142.126	56	184.045	68	92.589
9	71.295	21	65.335	33	28.008	45	150.765	57	155.017	69	107.694
10	65.033	22	72.284	34	22.331	46	196.783	58	130.757		
11	68.765	23	65.627	35	46.717	47	157.334	59	156.476		
12	87.212	24	53.966	36	45.296	48	144.961	60	174.162		

Сумарна несуча спроможність такого пальового поля (39+30 паль) – 6326 кН, при $S=1$ см очікуване осідання для ваги будівлі $P=42100$ кН – $S=6,65$ см, що менше допустимих 8 см згідно з ДБН В.2.1-10-2009 [3]. Економічний ефект від даного проектного рішення склав 35412 грн.

Проведення інструментального геодезичного моніторингу будівлі давало переміщення будівлі на момент заміру. Спостереження даного процесу в часі виявило картину особливості динаміки переміщень споруди (рис. 3). Крива осідань майже паралельна осі асимптот, що свідчить про відносну стабілізацію осідань.

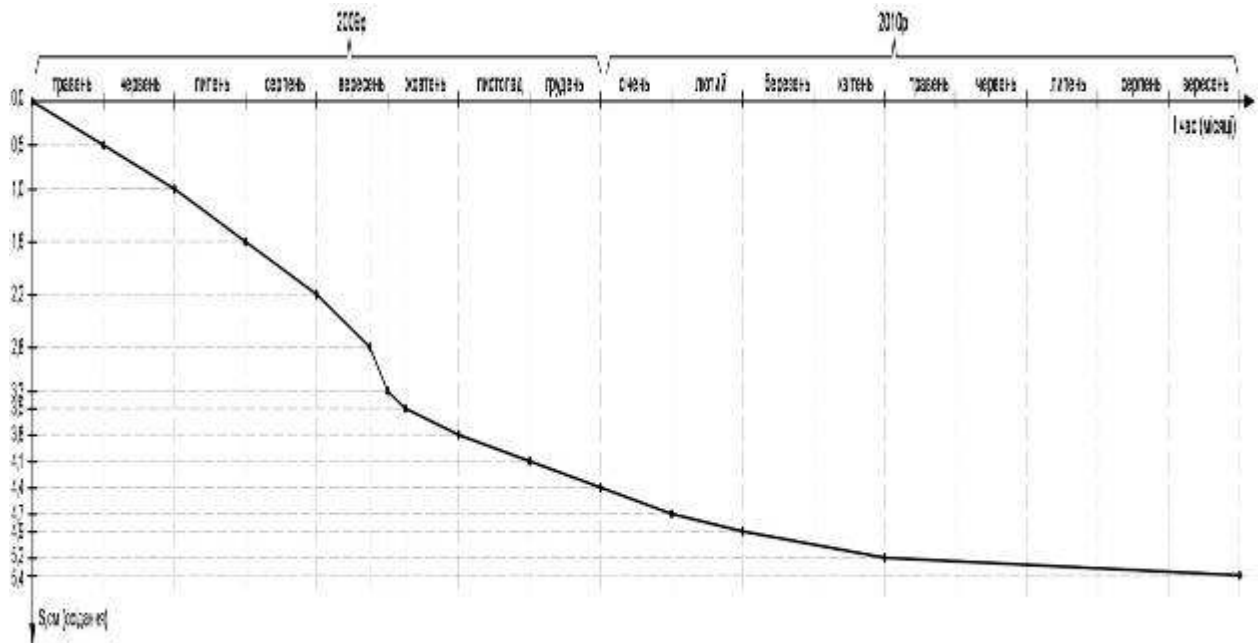


Рис.3. Розвиток осідань будівлі в часі
(пальове поле з 69 шт. паль, з них 39 шт. – \varnothing 620 мм, $L=12$ м; 30 шт. – \varnothing 420 мм, $L=17$ м)

Висновки

- Результати інструментальних спостережень дозволяють не лише вести моніторинг об'єкта, але й проводити зіставлення розрахункових і реальних величин, які отриманні на натурному об'єкті.
- Оптимізація палевого поля будівлі з урахуванням взаємодії паль в пальному полі та конкретної ґрунтової основи за МГЕ дає можливість отримання економічного ефекту.

Використана література

1. Бреббиа К. Методы граничных элементов / К. Бреббиа, Ж. Теллес, Л. Врочбел. – М.: Мир, 1987. – 524 с.
2. Моргун А. С. Комп'ютерні технології розрахунку фундаментних конструкцій на основі методу граничних елементів / А. С. Моргун, І. М. Меть, А. В. Ніцевич. – Вінниця: ВНТУ, 2009. – 167 с.
3. Основи і фундаменти будівель та споруд: ДБН В.2.1-10-2009. – [Чинний від 2009-07-01]. – К.: МНББУД України, 2009. – 199 с.

Моргун Алла Серафимівна – проф., зав. кафедри промислового та цивільного будівництва Вінницького національного технічного університету.

Ніцевич Андрій Віталійович – аспірант кафедри промислового та цивільного будівництва Вінницького національного технічного університету.