

construction site.

**Results:** The use of the developed blades of complicated shape permits to get homogeneous fibre concrete compounds. Due to the high quality of mixing, the time of mixture making reduces. This helps to reduce repair equipment and electric power costs. Such introduced mobile production technology techniques permit to enhance essentially the application fields of fibre reinforced fine concretes.

**Conclusion.** The article deals with the use of geometric simulation elements to develop the efficient mixer blade of complicated shape. The application of such a blade provides the efficient operation of fibre concrete compounds mixing.

## REFERENCES

1. Korolev K. M. Intensifikaciya prigotovleniya betonnoj smesi / K. M. Korolev – M. : Strojizdat, 1976. – 58 s.
2. Korolev K. M. Effektivnost prigotovleniya betonnyx smesej / K. M. Korolev // Mexanizaciya stroitelstva. – 2003. – № 6. – S. 7 – 8.
3. Emelyanova I. A. Novyj princip sozdaniya betonosmesitelej prinuditel'nogo dejstviya / I. A. Emelyanova, A. M. Baranov, V. V. Blazhko // Trudy mezhdunarodnoj nauchno-texnicheskoj konferencii "Interstrojmex-2005". – Tyumen, 2005. – S. 38 – 43.
4. Emelyanova I. A. Osobennosti processa prigotovleniya betonnoj smesi v trexvalnom smesitele / I. A. Emelyanova, A. M. Baranov, V. V. Blazhko // Texnologii betonov v luchshix betonax Rossii. – M., 2007. – № 3. – S. 44 – 46.
5. Patent 54096 Ukraini, MPK 7 V 28 S 5/16. Zmishuvach / K. K. Miroshnichenko; Zayavnik i patentovlasnik pdaba, miroshnichenko k. k. – zayavl. 10.05.2002; opubl. 17.02.2003, Byul. № 2.
6. Kozhevnikov S. N. Teoriya mexanizmov i mashin / S. N. Kozhevnikov – M. : Mashinostroenie, 1969. – 583 s.
7. Kolchin K. M. Mexanika mashin / K. M. Kolchin. – L : Mashinostroenie, 1972. – T. 2. – 456 s.
8. Miroshnichenko K. K. Uvelichenie nadezhnosti i dolgovechnosti zdaniy pri ix rekonstrukcii putem primeneniya fibroarmirovannyx kompozicionnyx materialov / K. K. Miroshnichenko // Novini nauki Pridniprov'ya. – D. – № 1. – 2006. – S. 32 – 34.
9. Nagrockiene D. 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.

### *Відомості про автора:*

*Мірошніченко Костянтин Кирилович, д. т. н., проф., доц. кафедри нарисної геометрії та графіки Придніпровської державної академії будівництва та архітектури, e-mail: mirfb@mail.ru.*

УДК 624.154

## ПАЛЬОВІ ФУНДАМЕНТИ ВИСОТНИХ БУДИНКІВ У СКЛАДНИХ ГРУНТОВИХ УМОВАХ

*І. П. Бойко, д. т. н., проф., В. Л. Підлуцький, к. т. н., доц.  
Київський національний університет будівництва та архітектури*

**Ключові слова:** *пальовий фундамент, палі різної довжини, складні ґрунтові умови, висотний будинок*

**Постановка проблеми.** Будівництво висотних споруд у сучасних умовах у мегаполісах досить часто супроводжується зведенням одразу декількох житлових будинків або житлово-офісних комплексів з елементами інфраструктури, щоб забезпечити комфортні умови проживання. Досить часто такі комплекси зводяться в щільній міській забудові в складних ґрунтових умовах, де необхідно враховувати багато чинників для визначення напружено-деформованого стану (НДС) основи, на якій будуть зведені будівлі та споруди. Важливу роль у даних умовах відіграють нерівномірне нашарування ґрунтів основи з особливими характеристиками та наявність інженерних конструкцій для захисту котлованів під час

освоєння підземних просторів.

**Аналіз публікацій.** У працях багатьох науковців [1 – 4; 9; 10] висвітлюється проблема впливу нашарування ґрунтів основи на вибір довжини паль у фундаменті висотних будинків. Переважно у публікаціях звучить те, що ґрунти з особливими характеристиками бажано прорізати палями для надійної роботи фундаментів висотних будинків.

**Мета статті.** Дослідити роботу пальових фундаментів висотних будинків у складних ґрунтових умовах за наявності нахилених шарів ґрунтів з особливими характеристиками та встановити раціональну довжину паль у фундаменті на прикладі реального житлового будинку.

**Виклад матеріалу.** Проектування пальових фундаментів висотних будинків супроводжується розміщенням необхідної кількості паль у межах фундаменту. Такий процес вимагає чіткого уявлення про зони фундаменту, відповідно до яких визначається робота паль [2; 7]. Кутові, периферійні та середні палі у фундаменті в умовах однакових геометричних та фізичних параметрів працюють по-різному, а тому вимагають особливого підходу до визначення їх місця розташування. Вид ґрунтів основи, а також прошарки ґрунтів з особливими характеристиками (рис. 3) є одним із важливих факторів, які впливають на перерозподіл зусиль у палях, а відповідно і на їх геометричне розташування.



Рис. 1. Загальний вигляд будинку

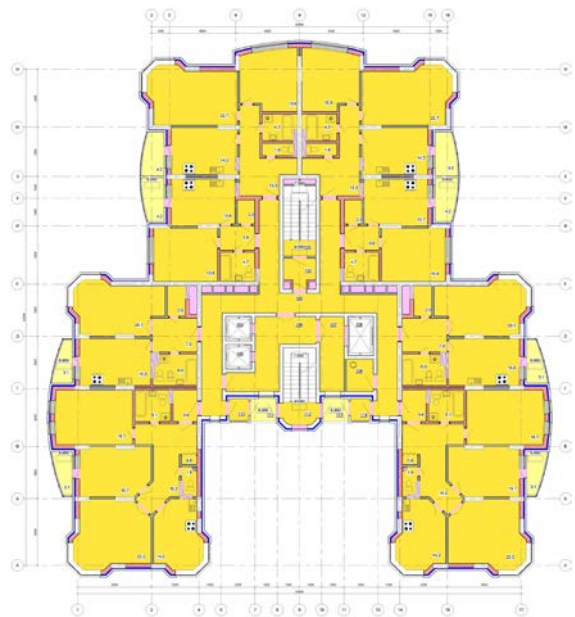


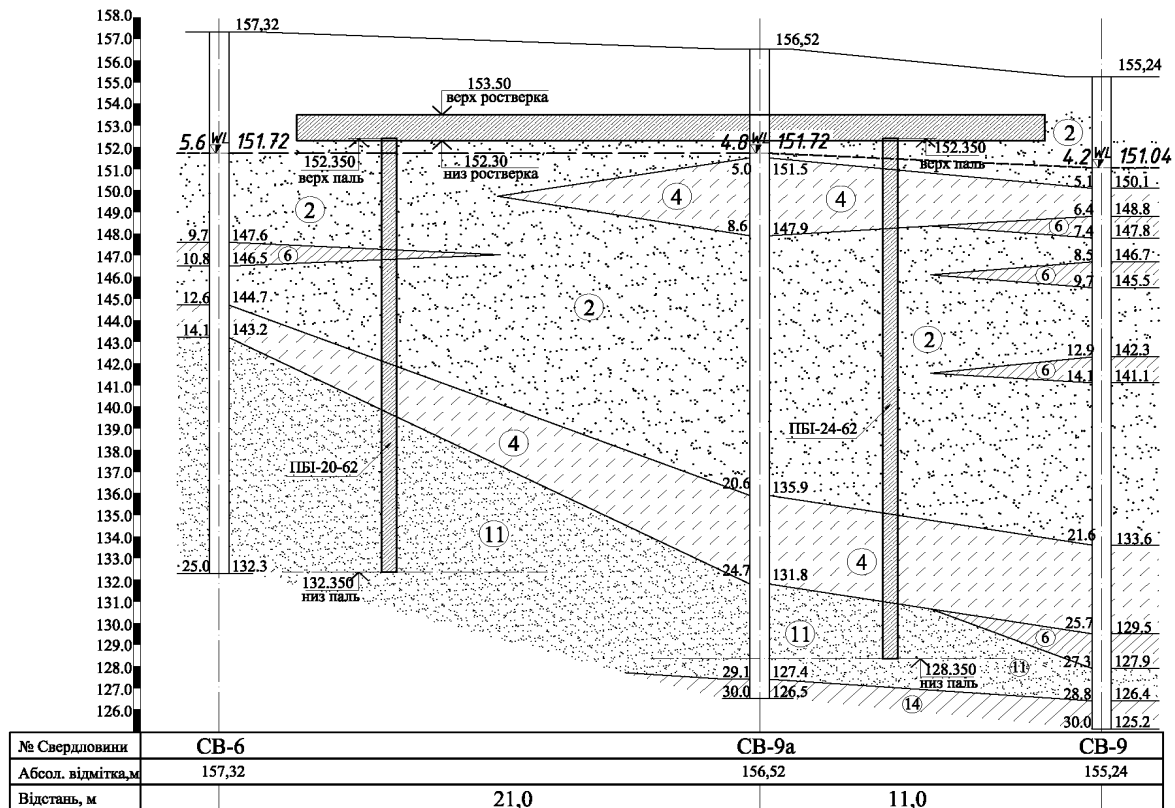
Рис. 2. План типового поверху

Тому досить часто вибір та влаштування варіанта фундаментів визначають ґрунтові умови. Так, на дослідному майданчику саме характер залягання шарів ґрунтів визначив остаточне рішення щодо прийняття та розробки фундаментів житлового будинку.

На даному майданчику в м. Київ планувалося побудувати житловий будинок із підземним паркінгом та вбудовано-прибудованими приміщеннями із загальною поверховістю 22 поверхи, два з яких паркінги та один офісний (рис. 1). Будинок має складну П – подібну конфігурацію в плані, план типового поверху зображено на рисунку 2.

За конструктивною схемою будинок каркасно-монолітний з несуними вертикальними елементами (колонами, пілонами, стінами тощо), які перекриті жорсткими дисками – плитами перекриття. Будинок має два окремі ліфтово-сходові вузли, не повзв'язані між собою. Товщина пілонів та стін складає 250 – 300 мм, плит перекриттів – 250 мм у межах технічних поверхів та 200 мм у межах житлових поверхів.

По периметру проектованого будинку передбачений двоповерховий паркінг складної конфігурації в плані, який з трьох боків огорожений підпірними стінами різної конструкції, оскільки перепад висот розробленого котловану розподіляється таким чином: з головного фасаду нижній поверх підземного паркінгу та будинку виходять на рівень денної поверхні майданчика, а з протилежного боку ці два поверхи паркінгів повністю розташовані в межах котловану. Тобто будівля вписана в рельєф майданчика.



Умовні позначення:

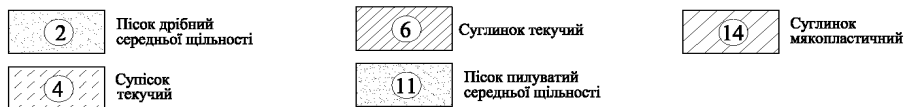


Рис. 3. Інж енерно-геологічний розріз майданчика будівництва за даними ут очнених інж енерно-геологічних вишукувань та посадка фундаментів в опт очного варіанта

Житловий будинок планувалося споруджувати в складних інженерно-геологічних умовах (рис. 3). Згідно з даними інженерно-геологічних вишукувань ділянка будівництва в геоморфологічному відношенні приурочена до лівого пологого схилу долини р. Либідь та межує із задровним районом.

У геологічній будові ділянки до розвіданої глибини 30 м беруть участь флювіогляціальні відклади, складені пісками дрібними та пилуватими середньої щільності, супісками текучими, суглинками м'якопластичними та текучими. Рівень ґрунтових вод на ділянці будівництва зафіксований на відмітках 151,2 – 151,4 м, що містяться безпосередньо під підшовною ростверку.

Основною негативною інженерно-геологічною особливістю даної ділянки є наявність нахилених шарів глинистих ґрунтів із низькими характеристиками (супіску текучого ПЕ-4 та суглинку текучого ПЕ-6), перемінних по товщині, що розташовані як безпосередньо під підшовною фундаментної плити, так і на глибинах близько 20 – 27 м. Наявність даного шару спричинила проведення досліджень щодо вибору довжини паль. Характерний інженерно-геологічний розріз будівельного майданчика показано на рисунку 3. У таблиці наведено основні фізико-механічні характеристики ґрунтів основи.

Інженерно-геологічні вишукування проводились у два етапи. Це відбувалося таким чином. Згідно з даними першого інженерно-геологічного звіту, в якому нахилений прошарок ПЕ-4 (супісок текучий) не виявлений, було розроблено варіант пального поля з палями довжиною 16,0 м діаметром 620 мм за бурін'єкційною технологією. Наступним етапом стала розробка програми випробування паль статичним вдавлювальним навантаженням [6] для уточнення розрахункового навантаження на палі.

## Показники фізико-механічних властивостей ґрунту в будівельного майданчика

№ ПЕ	Щільність ґрунту, г/см <sup>3</sup>	Природна вологість, д. о.	Коефіцієнт пористості, д. о.	Кут внутрішнього тертя, градуси	Питоме зчеплення, кПа	Модуль деформації, МПа
	$\rho$	$W$	$e$	$\varphi$	$c$	$E$
2	1,95	0,14	0,68	30	2	25
4	1,75	0,16	0,75	20	8	10
6	1,85	0,18	0,78	18	10	12
11	1,98	0,15	0,60	32	1	30
14	1,86	0,24	0,62	22	26	16

На дослідному майданчику було проведено два випробування паль. Результати випробувань, згідно з даними звіту випробування ґрунту статичним вдавлювальним навантаженням на палі на дослідному об'єкті, показали такі результати (рис. 4): осідання дослідної палі куца № 1 при максимальному навантаженні  $P = 3500$  кН склало  $S = 20,69$  мм, на попередньому ступені навантаження  $P = 3300$  кН склало  $S = 17,38$  мм; осідання дослідної палі куца № 2 при навантаженні  $P = 2400$  кН склало  $S = 45,51$  мм, на попередньому ступені навантаження  $P = 2100$  кН склало  $S = 28,04$  мм. Втрата несної здатності палі по бічній поверхні відбулася при навантаженні  $P = 1200$  кН та відповідному осіданні  $S = 3,42$  мм, що свідчить про відсутність опору ґрунту під п'ятою палі другого дослідного куца. Зважаючи на результати випробування дослідної палі № 2, згідно з висновками про випробування паль було рекомендовано провести обстеження палі неруйнівним методом контролю та виконати додаткові інженерно-геологічні вишукування в межах досліджуваної палі. В подальшому підтвердити несучу здатність паль випробуванням робочої палі на проектне навантаження [6].

Після виконання додаткових уточнювальних інженерно-геологічних вишукувань виявили шар ПЕ-4 (супісок текучий) значної потужності із значним кутом падіння ґрунтів та з низькими характеристиками, який простягається на різних глибинах, що наочно видно на інженерно-геологічному розрізі (рис. 3). Під час попередніх вишукувань даний шар вважали лінзами; він не був зафіксований у всіх свердловинах та не відображений на відповідних інженерно-геологічних розрізах.

У результаті отриманих даних випробувань паль та уточнення інженерно-геологічних умов було розроблено нове проектне рішення фундаментів із збільшеною довжиною паль до 22,5 м, завдяки чому значно збільшувалися обсяги будівельних матеріалів та будівельно-монтажних робіт, що не влаштовувало замовника. Тому постало питання про пошук оптимального рішення та розробку нового варіанту фундаментів.

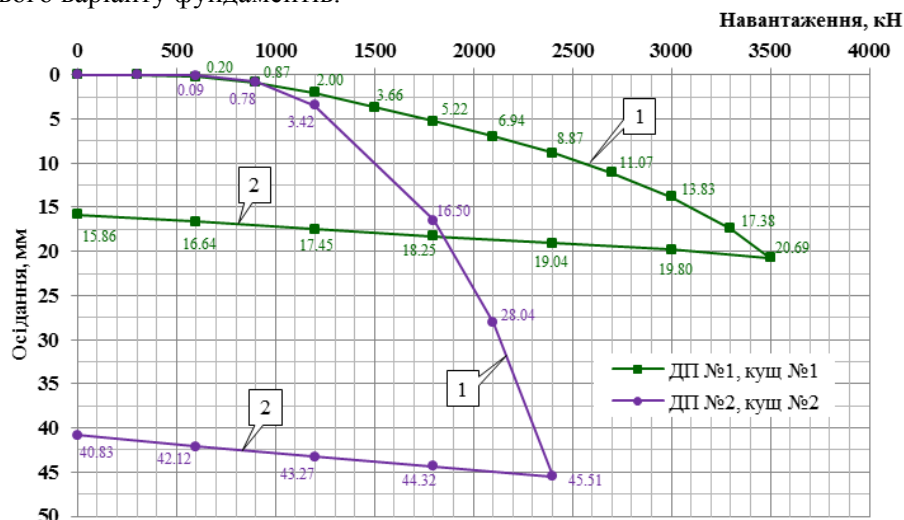


Рис. 4. Графіки залежності осідання палі від навантаження для дослідних паль ДП-1 (куц № 1) та ДП-2 (куц № 2): 1 – гілка навантаження; 2 – гілка розвантаження

На основі цього виникла необхідність у детальному дослідженні впливу прошарків ґрунтів

із низькими характеристиками (ПГЕ-4) на зміну НДС системи «основа – фундамент – надземні конструкції» при їх урахуванні та влаштуванні паль різної довжини. Для цього планувалося дослідити пильовий фундамент з палями такої довжини, які не доходять до наведеного шару або які його прорізають.

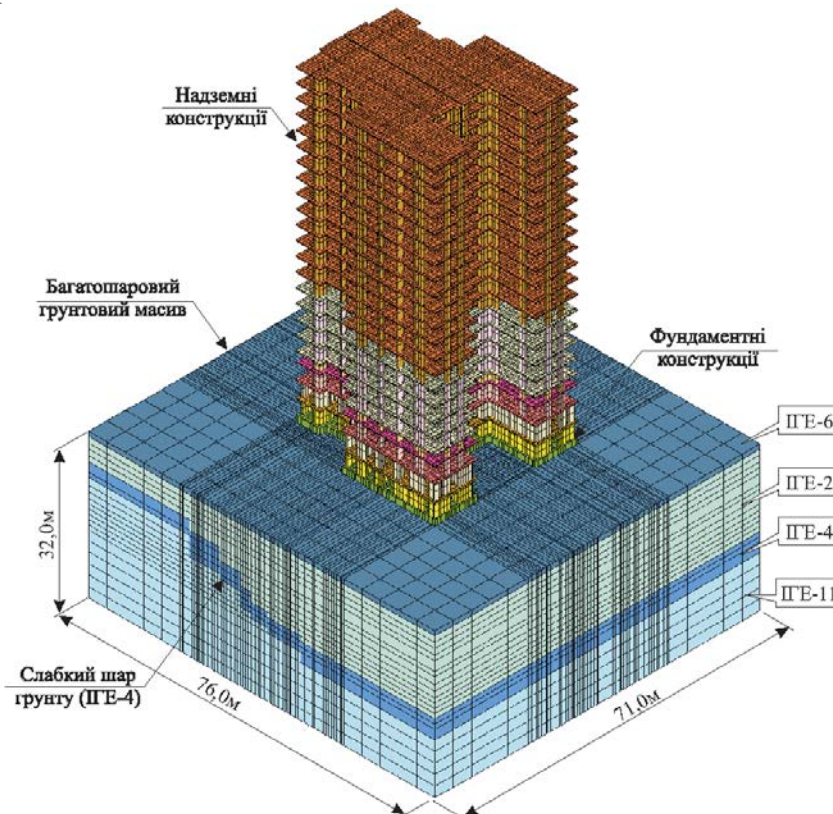


Рис. 5. Скінченноелемент на модель житлового будинку з палями різної довжини з наявністю похилого шару ґрунту

Для виконання поставленого завдання було розроблено скінченноелементну модель висотного будинку (рис. 5) з урахуванням реальної геометрії його конструкцій та фізико-механічних характеристик. Ґрунтову основу було задано як багатошаровий об'ємний масив з фізико-механічними характеристиками, отриманими за результатами інженерно-геологічних досліджень. Нахилені шари ґрунтів у скінченноелементній моделі задавалися ступінчато, а якщо їх ухил складав менше 10 % – горизонтально.

Під час проведення розрахунків скінченноелементна модель була максимально наближена до реальних умов будівництва та експлуатації висотних будинків. Ураховано геометричне розташування кожної конструкції будинку; нашарування ґрунтових умов, їх фізико-механічні характеристики; взаємодію конструкцій будівлі з паркінгами, які на даний час зводяться під будинками та навколо них; а також взаємодію з огорожувальними конструкціями. Цедосить складно, але в сучасних умовах такі розрахунки необхідно проводити для виявлення небезпечних факторів та встановлення дійсної роботи конструкцій будинків і навколишніх споруд з одночасним порівнянням їх із більш спрощеними розрахунковими схемами. При цьому необхідно чітко усвідомлювати, що не кожний програмний комплекс може відобразити та реалізувати наведений клас задач, у такому випадку необхідно контролювати можливості розрахункового апарату, що закладений у програмний комплекс, та формулювати задачі під його можливості. Так, обраний програмний комплекс VESNA [8], дозволяє вирішувати поставлене коло питань.

Із появою потужної обчислювальної техніки та використанням методів числового моделювання, зокрема, методу скінченних елементів (МСЕ), у разі застосування теорії пластичної течії з неасоційованим законом деформування та критерієм Мізеса – Шлейхера – Боткіна є можливість коректно прогнозувати процес перерозподілу внутрішніх зусиль як у надземних, так і у фундаментних конструкціях будинку [3; 8].

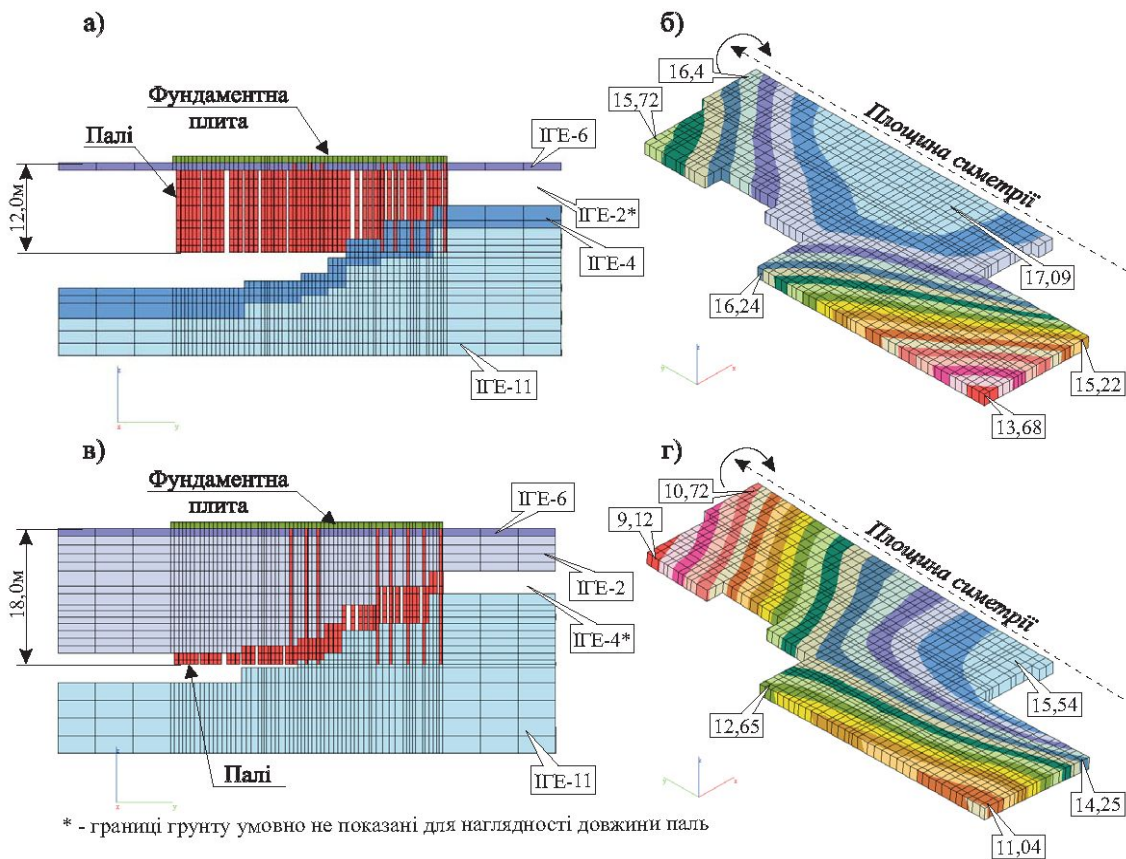


Рис. 6. Проміжні результати та проведені дослідження: а, в – загальний вигляд фундаментних конструкцій та ґрунту цього масиву в площині YOZ відповідно при довжині палі 12,0 м та 18,0 м; б, г – осідання фундаментної плити (см) половини будинку, відповідно, при довжині палі 12,0 м та 18,0 м

Необхідно звернути увагу на те, що при числовому моделюванні наведеної задачі було проведено ідентифікацію параметрів ґрунтового середовища за результатами польових досліджень ґрунтів палями [2; 3; 5; 7].

Дослідження зміни довжини палі в наведених ґрунтових умовах із присутнім нахиленим шаром (ІГЕ-4) полягало у проведенні багатьох розрахунків з урахуванням різної довжини палі та наступним аналізом НДС елементів системи «основа – фундамент – надземні конструкції». На рисунку 6 наведено результати окремих варіантів урахування довжини палі: влаштовані палі довжиною 12 м, коли підшва палі розташована вище шару ІГЕ-4 та на окремих ділянках заходить у нього; влаштовані палі довжиною 18 м, коли підшва палі міститься в шарі ІГЕ-4 та частково прорізає його. Так, при довжині палі 12 м спостерігаємо завищені значення осідання фундаментної плити відносно до нормативних вимог. Максимальні значення становлять 17,09 см. У другому випадку при влаштуванні палі довжиною 18 м спостерігаємо те, що характер осідання фундаментної плити змінився – максимальні осідання зосередилися в зоні, де палі не прорізають шар основи ІГЕ-4, що спричинило додаткове осідання. Значення максимального осідання становить 15,54 см та сформувалося з одного боку будинку, що створило перекіс фундаментної плити, який виходить за межі допустимих значень.

У результаті проведених досліджень було прийнято рішення про необхідність використання палі різної довжини в межах одного фундаменту, тому що на будівельному майданчику присутній шар ґрунтів (ІГЕ-4), який розташований нахилено на різних глибинах та досить суттєво впливає на несну здатність палі. Так, новим проектом палевих фундаментів передбачено використання основних палі під будинком довжиною 20,0 м – 246 шт., а у зоні осей «А-Б», де за даними інженерно-геологічних вишукувань значна потужність ґрунту ІГЕ-4 на глибині 15 – 22 м від підшви фундаментної плити, запроектовані палі довжиною 24,0 м – 22 шт. Також під час детального аналізу перерозподілу зусиль між палями виявилось, що окремі кутові палі перевантажені. Тому відповідно до розробленої методики, яка наведена в [7],

довжину даних паль було зменшено до 15,0 м – 4 шт. План паль остаточного варіанта фундаментів та перерозподіл зусиль між палями наведено на рисунку 7, посадку паль на геологічний переріз – на рисунку 3. Розрахункове навантаження на палю, прийняте у проекті, складає 2 300 кН. Після влаштування паль на будівельному майданчику були проведені контрольні випробування робочих паль, результати яких підтвердили прийняту у проекті несучу здатність паль.

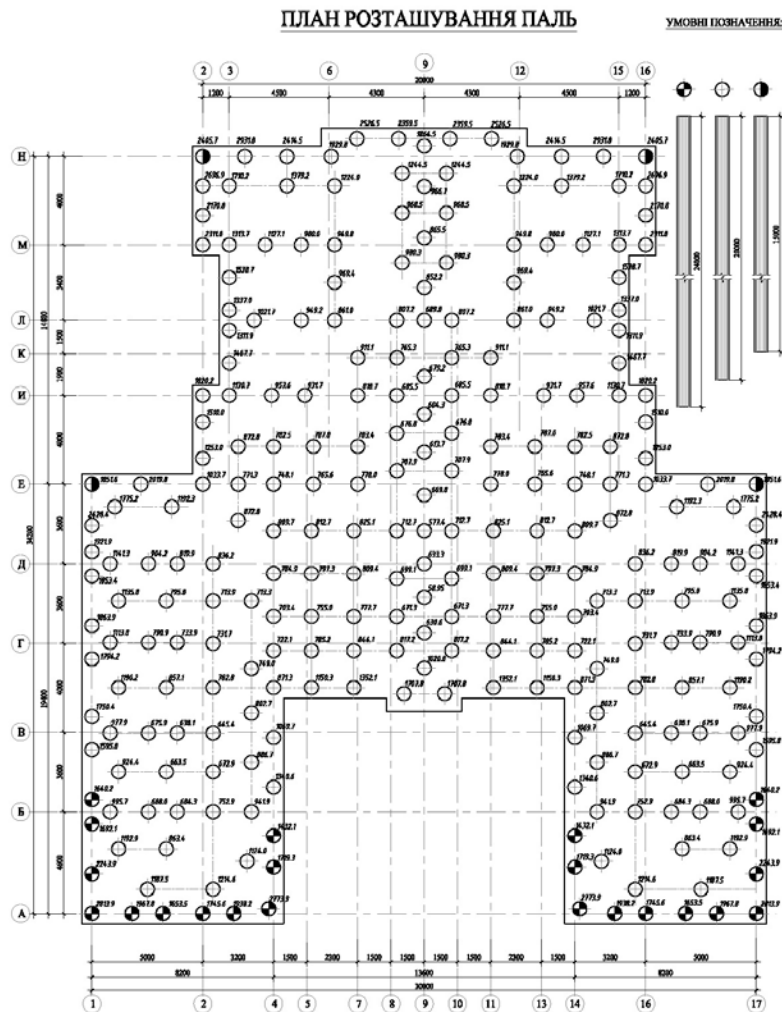


Рис. 7. Остаточний варіант пального поля та зусилля в палях (кН)

Аналіз НДС фундаментних конструкцій, зокрема фундаментної плити, показує, що осідання зосередженні в ядрі жорсткості будинку в зоні сходової клітки та ліфтових шахт. За результатами прийнятого варіанту пального поля значення осідання перебувають у межах 6,1 – 17,49 см (рис. 8), це в межах норм. Найменше осідає зона на виступаючих частинах будинку, що цілком імовірно (6,11 см).

Завдяки розташуванню паль у відповідності з надземними конструкціями та з урахуванням центрів ваги фундаментних та надземних конструкцій, значення згинальних моментів у фундаментній плиті виявилися невеликими і рівномірними (рис. 8), максимальні значення в напрямку «У» становлять 745,5 кНм/м. В напрямку «Х» значення згинальних моментів мають ідентичний порядок цифр. Це дозволило не витратити значні кошти на армування фундаментної плити.

Таким чином, за рахунок проведення детальних досліджень було знижено сяги матеріалів на влаштування паль за рахунок зменшення їх довжини та кількості. Дану методику впроваджено у практику будівництва. На сьогоднішній день досліджуваний житловий будинок побудований та здається в експлуатацію.

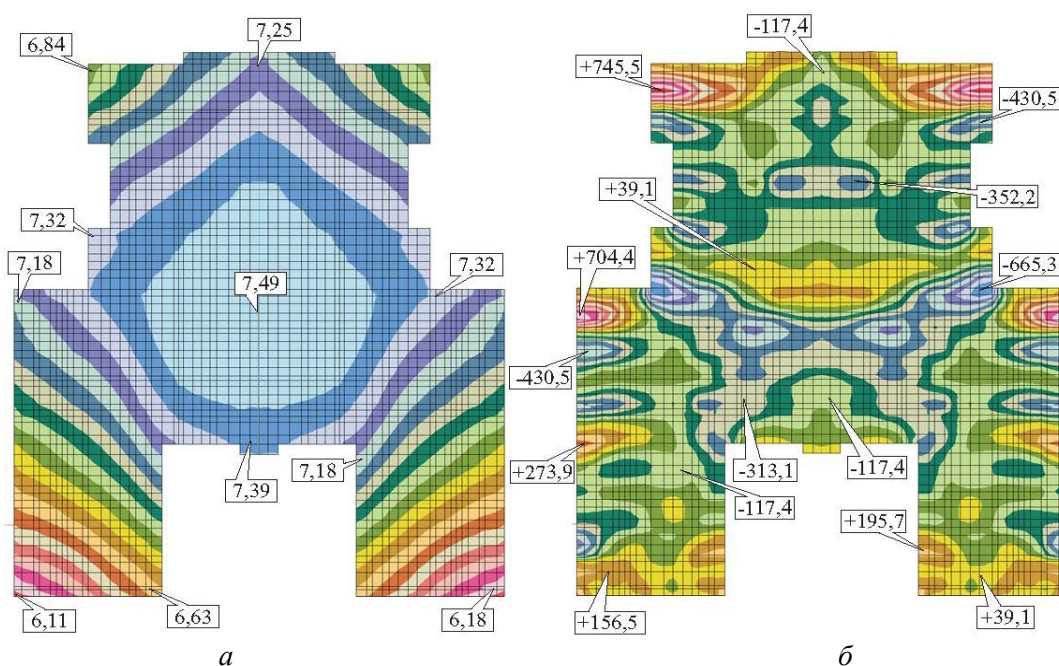


Рис. 8. Ізополя осідань, см (а) та згинальних моментів, кНм/м (б) у фундаментній плиті досліджуваного будинку

**Висновки.** Установлено, що влаштування фундаментів у складних ґрунтових умовах із паль різної довжини дозволяє досягнути рівномірного перерозподілу зусиль у фундаментних конструкціях.

Раціональне розташування паль та їх розмір забезпечує зменшення осідання фундаментної плити майже удвічі.

Показано, що всебічне дослідження напружено-деформованого стану елементів системи «основа – фундамент – надземні конструкції» дозволяє отримати надійні та економічні рішення фундаментних конструкцій з раціональним розташуванням паль у фундаменті та їх різною довжиною з урахуванням нашарування ґрунтових умов.

#### ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. **Бартоломей А. А.** Прогноз осадок свайних фундаментов [под ред. А. А. Бартоломея] / А. А. Бартоломей, И. М. Омельчак, Б. С. Юшков. – М. : Стройиздат, 1994. – 384 с.
2. **Бойко І. П.** Особливості взаємодії пальових фундаментів під висотними будинками з їх основою / І. П. Бойко // Основи і фундаменти: Міжвідомчий науково-технічний збірник. – К. : КНУБА, 2006. – Вип. 30. – С. 3 – 8.
3. **Бойко І. П.** Свайные фундаменты на нелинейно-деформируемом основании: дисс. ... д-ра техн. наук: 05.23.02 / Игорь Петрович Бойко. – М. : НИИОСП, 1988. – 372 с.
4. **Зоценко М. Л.** Сучасні проблеми пальового фундаментобудування / М. Л. Зоценко // Будівельні конструкції. – К. : НДІБК. – 2004. – Вип. 61. – Т. 2. – С. 33 – 39.
5. **Носенко В. С.** Напружено-деформований стан пальово-плитних фундаментів секційних висотних будинків: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.02 / Віктор Сергійович Носенко. – К. : КНУБА, 2012. – 175 с.
6. Основи та фундаменти споруд. Зміна № 1: ДБН В.2.1-10-2009. – [Чинний від 2011-07-01]. – К. : Мінрегіонбуд України, 2011. – 55 с.
7. **Підлущкий В. Л.** Взаємодія фундаментної плити з палями різної довжини з ґрунтовою багатошаровою основою: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.02 / Василь Леонідович Підлущкий. – К. : КНУБА, 2013. – 230 с.
8. **Сахаров В. О.** Моделювання взаємодії пальового фундаменту з нелінійною основою в умовах прибудови: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.02 / Володимир Олександрович Сахаров. – К. : КНУБА, 2005. – 215 с.
9. **Улицкий В. М.** Расчеты и интерактивный мониторинг при строительстве зданий в сложных грунтовых условиях / В. М. Улицкий, К. Г. Шашкин, А. Г. Шашкин // Технологии



безопасности и инженерные системы № 2 (13). – СПб: Стройиздат. – 2007. – С. 16 – 19.

10. Шашкин К. Г. Взаимодействие здания и основания: Методика расчета и практическое применение при проектировании / К. Г. Шашкин, А. Г. Шашкин. – СПб: Стройиздат, 2002. – 48с.

## SUMMARY

**Problem definition.** When building the foundations of high-rise building should take into account a number of factors that affect the stress-strain state of the base. The important role played by non-uniform deposition of soils with special characteristics whose presence affects the choice of the length of the piles in the foundation.

**Purpose:** Explore the work of pile foundation high-rise building in difficult soil conditions in the presence of inclined soil layers with specific characteristics and installed a rational length of piles in the foundation on an example of a real residential building.

**Analysis of recent research:** In the work of many scientists reveals the problem of the influence of soil layering basics to choose the length of the pile in the foundation of high-rise buildings. Preferably, in publications sounds that soils with special characteristics must cut piles for reliable operation foundations of high-rise buildings.

**Results:** For the comparison of variants selected foundations of foundation piles 12 m long when the sole piles is above the soil layer with special characteristics; and length of 18 m, when the sole piles located in this soil layer and partially cuts through it. In both cases the value of settlement foundation plate larger in relation to regulatory requirements. In addition, the second version of the character settling foundation slab changed – maximum settling concentrated in the area where the pile is not cut through a layer of weak bases. This has skewed foundation slab, going beyond acceptable values. Therefore a new design of pile foundation piles must perform different lengths: the main piles under the building length of 20 m, in an area of weak layer length of 24 m for its cutting in corner areas – 15 m in order to reduce their effort. The final version of foundation settling decreased to 7,5 cm and are within the standards values bending moments in the foundation slab were small and uniform.

**Conclusion.** Established that the arrangement of foundations in difficult ground conditions with piles of different lengths allows to achieve a uniform redistribution efforts in foundation construction and settling of foundation slab reduced to 2 times.

## REFERENCES

1. Bartolomej A. A. Prognoz osadok svajnykh fundamentov [podred. A. A. Bartolomeja] / A. A. Bartolomej, I. M. Omel'chak, B. S. Jushkov. – M. : Strojizdat, 1994. – 384 s.
2. Bojko I. P. Osoblyvosti vzaemodiji paljovyh fundamentiv pid vysotnyy budynkamy z jikh osnovoyu / I. P. Bojko // Osnovu i fundamenti: Mizhvidomchyj naukovy-tekhnichnyj zbirnyk. – K. : KNUBA, 2006. – Vyp. 30. – S. 3 – 8.
3. Bojko I. P. Svajnye fundamenti na nelinejno-deformiruemom osnovanii: dis. ... d-ra tekhn. nauk: 05.23.02 / Igor' Petrovich Bojko. – M. : NIIOSP, 1988. – 372 s.
4. Zocenko M. L. Suchasni problem pal'ovogofundamentobuduvannya / M. L. Zocenko // Budivel'nikonstruciyi. – K. : NDIBK. – 2004. – Vyp. 61. – T .2. – S. 33 – 39.
5. Nosenko V. S. Napruzhenodeformovanyj stan paljovo-plutnykh fundamentiv sekcijnykh vysotnykh budynkiv: dys. ... kand. tekhn. nauk: 05.23.02 / Viktor Sergijovych Nosenko. – K. : KNUBA, 2012. – 175 s.
6. Osnovy ta fundamentysporud. Zmina № 1: DBN V.2.1-10-2009. – [Chynnyj vid 2011-7-01]. – K. : Minregionbud Ukrainy, 2011. – 55 s.
7. Pidluc'kyj V. L. Vzeyemodiya fundamentnoyi plyty z palyamy riznoyi dovzhyny z gruntovoyu bagatosharovoyu osnovoyu: dys. ... kand. tekhn. nauk: 05.23.02 / Vasyl' Leonidovych Pidluc'kyj. – K. : KNUBA, 2013. – 230 s.
8. Sakharov V. O. Modelyuvannya vzeyemodiyi paljovogo fundamentu z nelinejnoy osnovoyu v umovakh prybudovy: dys. ... kand. tekhn. nauk: 05.23.02 / Volodymyr Oleksandrovykh Sakharov. – K. : KNUBA, 2005. – 215 s.
9. Ulickij V. M. Raschjoty i interaktivnyj monitoring pristoitel'stevdanij v slozhnykh gruntovykh usloviyakh / V. M. Uliczkij, K. G. Shashkin, A. G. Shashkin // Tekhnologii bezopasnosti i inzhenernye sistemy № 2 (13). – SPb : Strojizdat, 2007. – S. 16 – 19.
10. Shashkin K. G. Vzaimodejstvie zdaniya i osnovaniya: Metodika rascheta i prakticheskoe

**Відомості про авторів:**

*Бойко Ігор Петрович, д. т. н., проф. кафедри основ і фундаментів Київського національного університету будівництва та архітектури, e-mail: oif@kpiuba.org.ua.*

*Підлущкий Василь Леонідович, к. т. н., доц., кафедри основ і фундаментів Київського національного університету будівництва та архітектури, e-mail: oif@kpiuba.org.ua.*

УДК.624.154.624.151

**СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ЗАБИВНЫХ СВАЙ (ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ПОГРУЖЕНИЯ И РАБОТЕ, СВАЙ В ГРУНТЕ)**

*А. Н. Моторный, магистр, с. н. с., Н. А. Моторный, к. т. н., доц.*

**Ключевые слова:** несущая способность сваи, забивная свая, отказ сваи, энергия удара молота, уплотненное ядро, межсвайное пространство

**Введение.** Согласно действующим нормативным документам по свайным фундаментам ДБН В.2.1-10-2009 Зміна 1, ДСТУ.БВ.2.1-27:2010 несущую способность сваи определяют:

1. по данным статических испытаний свай вдавливающей нагрузкой с коэффициентом надежности по грунту  $K_{\Gamma} = 1.2$ ;
2. по расчетным формулам ДБН В.2.1-10-2009 Зміна 1 с коэффициентом надежности по грунту  $K_{\Gamma} = 1.4$ ;
3. контроль несущей способности сваи в процессе забивки, по отказу сваи ( $e$ ) с коэффициентом надежности по грунту  $K_{\Gamma} = 1.4$ .

**Рассматривается формирование несущей способности сваи в процессе забивки.** В начальный период погружения свая вдавливается в грунт массой молота. В этом случае в грунте под острием сваи (клин, пирамида, конус) от передачи статической вдавливающей нагрузки формируется напряженная зона значительно превышающая расчетное сопротивление грунта под острием  $\sigma \gg R$ , в результате чего проявляются запредельные деформации грунта в области острия, где, за счет деформации грунта острие раздвигает грунт в стороны и свая перемещается вниз по направлению движения молота, встречая на пути только сопротивление сил трения грунта на боковую поверхность сваи. Это явление проявляется до глубины  $z$ , на которой выполняется условие равновесия:  $\gamma \cdot z \geq \sigma - f$ ,

где:  $\gamma$  – удельный вес грунта прорезаемого свайей ( $\text{кН/м}^3$ );

$z$  – переменная ордината – фиксированная глубина погружения сваи, м;

$\sigma$  – напряжение в грунте в уровне острия сваи от вдавливающей нагрузки, кПа ( $\text{кН/м}^2$ );

$$\sigma = \frac{Q_m}{A}, \text{ кПа}$$

$f$  – силы трения грунта (окружающего сваю) на боковую поверхность сваи (кПа).

Тогда условия равновесия приобретают вид:

$$\gamma \cdot u \cdot z^2 + u \cdot z \cdot f \geq \sigma \cdot A \quad (1)$$

где:  $u$  – периметр сечения ствола сваи, м;

$A$  – площадь боковой поверхности острия сваи (клин, пирамида),  $\text{м}^2$ ,  $A=2d^2$ ;

$d$  – сторона поперечного сечения ствола сваи, м;

$Q_m$  – вес ударной части молота, кН (по паспорту).

Из условия равновесия (1) определяется глубина « $z$ » от уровня поверхности дна котлована до глубины где давление от собственного веса грунта  $\gamma z$  и силы трения на боковой поверхности ствола свай нейтрализуют напряжение сформированное под острием, за счет которого формируется напряженный выпор грунта из под острия сваи (буферный слой), ниже которого начинает формироваться несущая способность сваи в процессе ее погружения ударной нагрузкой.

$$z = \frac{-f \cdot u \pm \sqrt{(f \cdot u)^2 + 4 \gamma \cdot u \cdot \sigma \cdot A}}{2 \gamma \cdot u} \quad (2)$$

**Формирование естественного (и проектного) отказа сваи « $e$ » в процессе погружения ее ударной нагрузкой.** Начиная с глубины  $z$  от дна котлована, под острием сваи начинает формироваться уплотненное ядро, которое распространяется по глубине под углом  $\varphi_{\text{ср}}/4$  от