

І.П. Бойко, д.т.н. професор

В.С. Носенко, асистент

Київський національний університет будівництва і архітектури

ВПЛИВ ПОСЛІДОВНОСТІ ЗВЕДЕННЯ СУМІЖНИХ СЕКЦІЙ ВИСОТНОГО БУДИНКУ НА ПЕРЕРОЗПОДІЛ ЗУСИЛЬ У ПАЛЬОВИХ ФУНДАМЕНТАХ

Методами чисельного моделювання роботи системи «основа – фундаменти – надземні конструкції» розв'язані задачі визначення взаємного впливу пальових фундаментів висотного багатосекційного будинку залежно від послідовності будівництва секцій.

Ключові слова: *чисельне моделювання, взаємовплив фундаментів.*

І.П. Бойко, д.т.н. професор

В.С. Носенко, асистент

Київський національний університет будівництва і архітектури

ВЛИЯНИЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ВОЗВЕДЕНИЯ СМЕЖНЫХ СЕКЦИЙ ВЫСОТНОГО ЗДАНИЯ НА ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЕ УСИЛИЙ В СВАЙНЫХ ФУНДАМЕНТАХ

Методами численного моделирования работы системы «основание – фундамент – надземные конструкции» решены задачи определения взаимного влияния свайных фундаментов высотного многосекционного дома в зависимости от последовательности строительства секций.

Ключевые слова: *численное моделирование, взаимовлияние фундаментов.*

I.P. Boyko, Prof., DrSc.

V.S. Nosenko, assistant

Kyiv National University of Construction and Architecture

EFFECT SEQUENCES CONSTRUCTION RELATED SECTIONS TALL BUILDINGS ON REDISTRIBUTION EFFORTS IN PILE FOUNDATIONS

Method for the numerical simulation of the system «basis – foundation – superstructure» solved the problem of determining the mutual influence of pile foundations tall multisession home, depending on the sequence of construction sections.

Keywords: *numerical simulation, the mutual influence of the foundations.*

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими практичними завданнями. Питання взаємного впливу пальових фундаментів багатосекційних висотних будинків у науково-практичній літературі описані недостатньо. Це пояснюється обмеженістю даних геодезичного спостереження за поведінкою таких будівель, складністю визначення фактичних напружень у ґрунтовій основі та пальових фундаментах. При проектуванні таких будівель використовуються підходи, розроблені для розрахунків окремо розміщених будівель, а питання взаємного впливу залишається поза увагою, перекриваючись закладанням запасів у вигляді збільшення кількості паль, армування тощо. З інженерної точки зору, проектування таких об'єктів вимагає прийняття рішення про розміри фундаментів, урахування

взаємного впливу сусідніх частин комплексу як у процесі будівництва, так і в стадії експлуатації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми. Моделювання взаємодії елементів системи «основа – фундамент» відображено в роботах І.П. Бойка, О.К. Бугрова, Ю.Л. Винникова, О.С. Городецького, М.Л. Зоценка, А.С. Моргун, О.О. Петракова, В.О. Сахарова, В.Л. Седіна, В.Г. Шаповала, А.Г. Шашкіна, О.В. Школи, Р. Каценбаха, Р. Франка та інших.

Чисельне моделювання роботи елементів системи «основа - фундаменти - надземні конструкції» виконано за допомогою автоматизованої системи наукових досліджень «VESNA» у тривимірному ґрунтовому масиві. Для моделювання процесів нелінійного деформування ґрунтів використана модель фізично нелінійного пружно-пластичного ґрунтового середовища, що базується на дилатансійній теорії. Як умова пластичної течії використовується модифікований професором І.П. Бойком критерій Мізеса – Шлейхера – Боткіна, що підвищує збіжність результатів моделювання з експериментальними даними. Із використанням ідентифікації розрахункових параметрів ґрунтової основи на базі даних натурних випробувань.

Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми, яким присвячується стаття. Для ефективного чисельного моделювання взаємовпливу висотних сусідніх будинків необхідно застосовувати такі розрахункові схеми, де забезпечена можливість урахування роботи об'ємної багат шарової ґрунтової основи, що дає змогу оцінити її роботу як під спорудами, так і навколо них, що значно впливає на зміну НДС системи «основа – фундаменти – надземні конструкції». Необхідно визначати реальні параметри ґрунтової основи, які описують деформування ґрунту.

Метою даної роботи є дослідження впливу послідовності будівництва секцій висотного будинку на формування напружено-деформованого стану у пальовому фундаменті. Для досягнення поставленої мети методами чисельного моделювання роботи конструкцій розв'язані групи задач по знаходженню зусиль у фундаментних конструкціях, перерозподілу зусиль у палях залежно від різної послідовності зведення багатосекційного будинку.

Виклад основного матеріалу дослідження. Як дослідний об'єкт обрано 3-секційний висотний будинок типової для такого виду споруд конструктивної схеми – повний залізобетонний несучий каркас у такому складі: пальові фундаменти з бурорізн'єкційних паль діаметром 620 мм, об'єднані суцільними фундаментними плитами товщиною 1,5 м, вертикальними несучими елементами (пілонами), ядром жорсткості у межах сходово-ліфтового блока та контурними монолітними стінами товщиною 0,25 м, що присутні тільки у підвальному поверсі. Горизонтальну жорсткість забезпечують монолітні плити перекриття товщиною 0,2 м на кожному із поверхів. Загальний габарит будівлі 62х63х87 м.

Згідно з вимогами ДБН В.1.2-2:2006 «Навантаження і впливи» виконано збір навантажень на рівні низу несучих конструкцій підвального поверху для кожної із секцій з урахуванням постійних та тимчасових (довготривалих та короткочасних) навантажень.

Установлено, що сумарне навантаження на фундаменти для секції 1, що має поверховість 25 житлових та 1 підвальный поверх, складає 235000 кН; для секції 2, що має поверховість 27 житлових та 1 підвальный поверх, – 445000 кН; для секції 3, що має поверховість 26 житлових та 1 підвальный поверх, – 244000 кН.

Схему розміщення секцій із позначенням вертикальних несучих елементів зображено на рисунку 1.

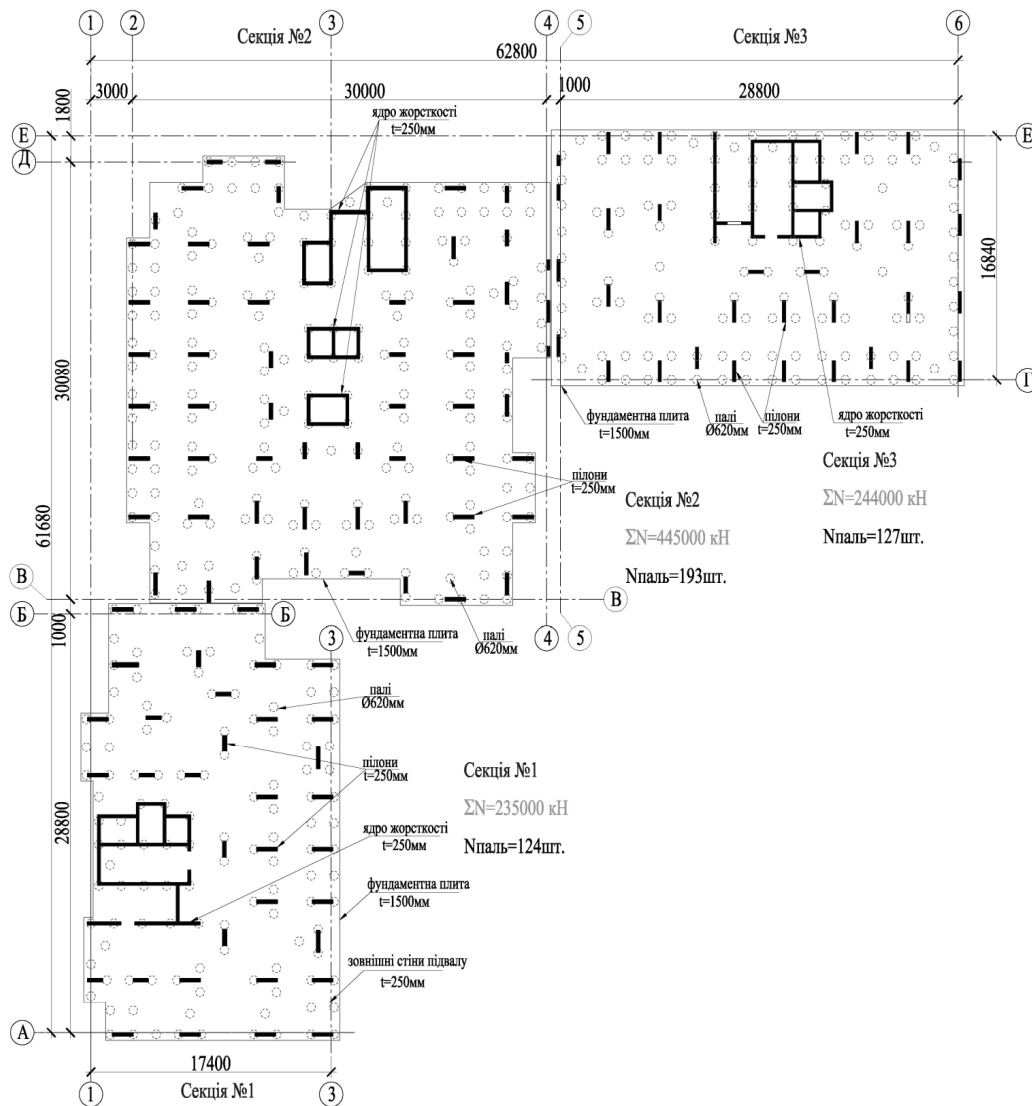


Рисунок 1 – Схема розміщення секцій із виділенням несучих елементів

Інженерно-геологічні умови дослідного майданчика представлені четвертинними відкладами у складі пісків, супісків та суглинків. Типовий інженерно-геологічний переріз зображено на рисунку 2, а фізико-механічні характеристики виділених інженерно-геологічних елементів подані у таблиці 1.

Довжина паль 32,5 м визначена інженерно-геологічними умовами. Особливістю інженерно-геологічного перерізу є наявність значної товщі глинистих ґрунтів на глибині від 10 до 20 м, шару текучого супіску (ІГЕ-3б) на глибинах від 24 до 30 м.

У задачах визначення взаємовпливу фундаментів висотних багатосекційних будинків важливим фактором є врахування послідовності будівництва секцій. З метою дослідження зміни НДС у елементах системи «основа – фундаменти – надземні конструкції» виконано ряд розрахунків з урахування різної послідовності будівництва окремих частин будівлі, а саме – поетапне спорудження: повне будівництво 1-ї секції, а потім повністю 2-ої і 3-ої секцій (далі варіант № 1); варіант будівництва в зворотному напрямку 3 – 2 – 1 (варіант № 2); 2 – 3 – 1 (варіант № 3). Також виконано порівняння результатів із варіантом паралельного зведення усіх секцій.

Таблиця 1 – Фізико-механічні характеристики ґрунтів основи

№ ПЕ	Повне найменування ґрунту	Щільність ґрунту, ρ , г/см ³	Природна вологість, W	Коефіцієнт пористості, e	Границя		Число пластичності, I _p	Показник текучості, I _L	Питоме зчеплення, с, кПа	Кут внутрішнього тертя, φ , градуси	Модуль деформації, E, МПа
					текучості, W _L	пластичності, W _p					
1	Насипний ґрунт: пісок дрібний, сер. щільності	1,69	0,05	0,7	-	-	-	-	1	30	18
2	Пісок дрібний, сер. щільності, малого ступ. водонасич.	1,72	0,05	0,64	-	-	-	-	1	28	18
3	Супісок пластичний	1,74	0,15	0,75	0,17	0,12	0,05	0,6	35	25	24
4	Суглинок м'якопластичний	1,78	0,25	0,82	0,28	0,19	0,09	0,7	22	20	21
3а	Супісок пластичний	1,79	0,18	0,80	0,17	0,12	0,05	0,7	30	27	25
2а	Пісок дрібний, сер. щільності, насичений водою	1,82	0,12	0,71	-	-	-	-	1	31	28
3б	Супісок текучий	1,80	0,19	0,80	0,18	0,13	0,05	1,2	15	19	17
2б	Пісок дрібний, щільний, насичений водою	1,92	0,19	0,58	-	-	-	-	3	33	40

Будівництво секцій за варіантом № 1 (1 – 2 – 3) характеризується отриманням додаткових осідань у секціях, що були побудовані раніше. Так найбільше осідання секції 1 після її будівництва складає 5,6 см і зафіксоване у центрі ядра жорсткості, а осідання біля деформаційного шва із секцією 2 складало 4,3 см. Після добудови секції 2 спостерігаються додаткові осідання секції 1 на відстані до 1/3 ширини цієї секції, і максимальні додаткові деформації зафіксовані в зоні деформаційного шва – 3,8 см (+ 60 %). Осідання секції 2 склали 8 см. Слід також відмітити наявність додаткових горизонтальних переміщень у секції 1, що на рівні перекриття 25-го поверху складають 2,5 см. Наявність додаткових деформацій секції 1 в зоні деформаційного шва після будівництва секції 2 пояснюється появою значного додаткового навантаження та зміною картини деформування ґрунту в цій зоні. Зона максимальних осідань переміщується в бік секції 2. Після спорудження секції 3 прогноуються додаткові осідання секції 2 в зоні стику із секцією 3. Такі додаткові осідання відмічаються у зоні, наближеній до секції 3, рисунку 3. Прогнозоване максимальне додаткове осідання секції 2 складає 2,8 см, що відповідає збільшенню осідання в цій зоні на 40%.

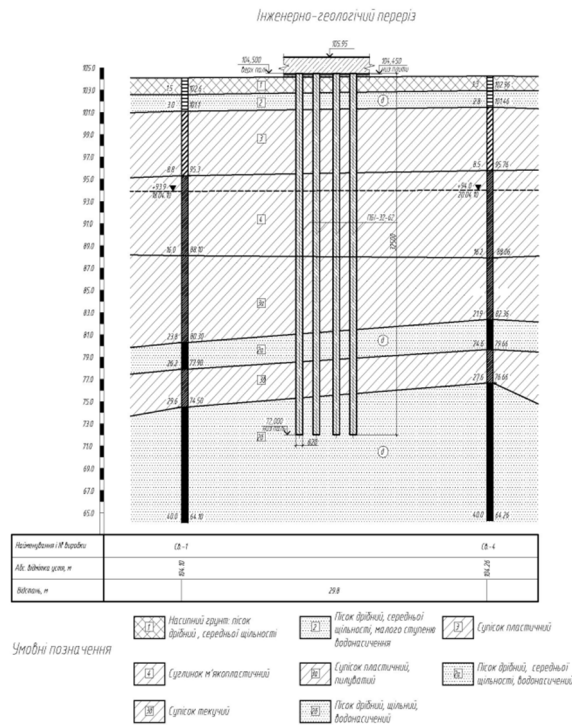


Рисунок 2 – Характерний геологічний переріз з прив'язкою фундаментів

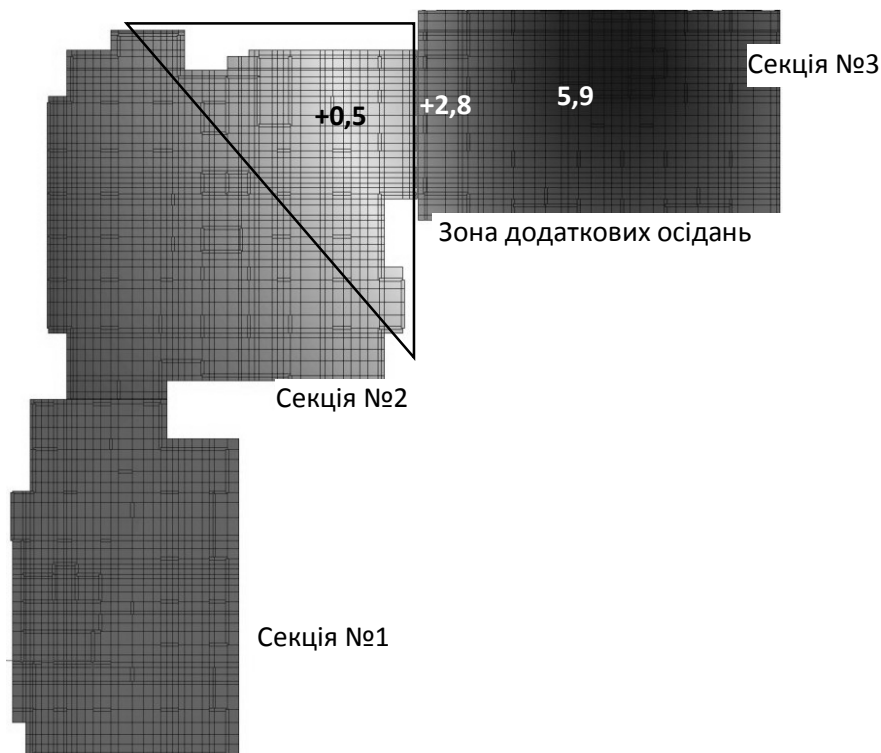


Рисунок 3 – Додаткові осідання секції 2 після будівництва секції 3 (см)

Аналіз зміни згинальних моментів у фундаментних плитах при спорудженні поряд нової секції вказує на те, що в зонах стику секцій відбувається суттєва зміна внутрішніх зусиль у плитах. Можливе як збільшення згинальних моментів на 50 – 120 %, так і зміна знака зусиль.

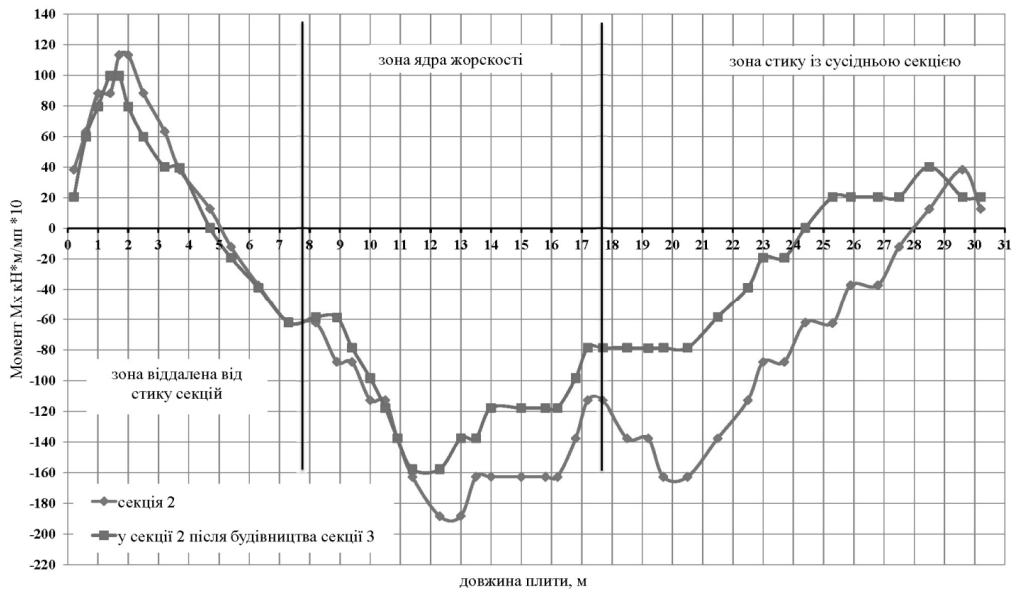


Рисунок 4 – Зміна згинальних моментів у фундаментній плиті

Цей факт пояснюється зміною умов роботи фундаменту в зоні стику секцій. При навантаженні фундаментних конструкцій окремо розміщеної секції периферійні зони фундаментів, як правило, менше деформуються, і, як наслідок, у цих зонах згинальні моменти менші.

Коли поряд з'являється додаткове навантаження від сусідньої секції, то характер деформування змінюється, і в цих раніше менш деформованих зонах осідання фундаментних конструкцій зростають, що призводить до збільшення моментів у периферійних зонах. Одночасно із цим у центральній зоні відбувається зменшення згинальних моментів до 15 %.

Дослідження розподілу зусиль у палях різних секцій з урахуванням послідовності будівництва секцій показало наступні особливості.

При будівництві однієї секції зусилля, що виникають у палях, розподіляються характерно для висотних будинків: палі в кутових зонах передають на основу навантаження рівне 1,2 – 1,5 N, у периферійних зонах – 1,2 – 1,0 N, а у центральній зоні – 0,7 – 1 N, де N – розрахункове навантаження на палю в пальовому фундаменті. Добудова поряд сусідньої секції призводить до зміни умов роботи фундаментів у зоні стику секцій. Зусилля у палях поряд із деформаційним швом у секції, що була побудована раніше, значно знижуються. Зменшення зусиль досягає 25 %, але така зміна спостерігається тільки у палях першого ряду, наближеного до деформаційного шва. Кількість таких паль по відношенню до загальної кількості паль – 6 – 7 %. На палі, що розміщуються в зоні від деформаційного шва до середини секції, зафіксовано зростання навантаження на 10 – 15 %. Таких паль із збільшеним навантаженням близько 25 – 27 %.

Проаналізувавши різні схеми послідовності зведення секцій багатосекційного висотного будинку, принципово перерозподіл зусиль у палях фундаменту існуючої секції в різних зонах можна представити наступним чином (рис. 5).

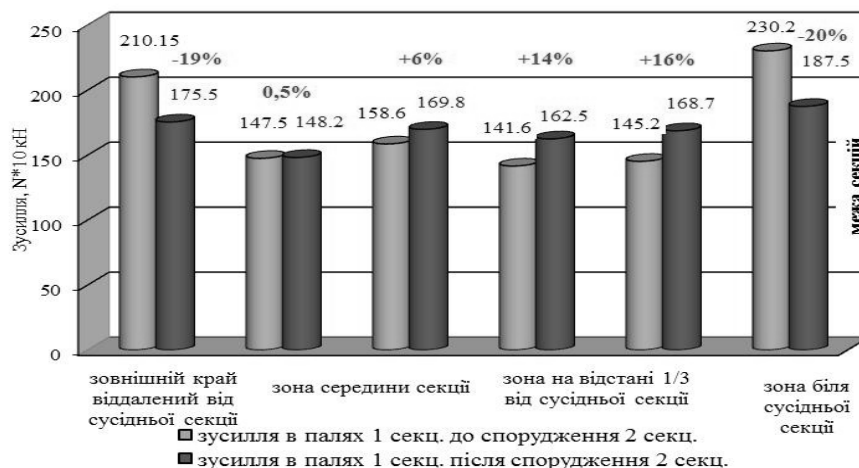


Рисунок 5 – Схема розподілу зусиль у палях секції до та після зведення сусідньої секції

Проведені дослідження дозволяють зробити наступні **висновки**.

Установлено, що врахування взаємного впливу сусідніх навантажених пальових фундаментів суттєво змінює характер деформування основи, збільшуючи абсолютні значення осідань фундаментів на 25 – 30 %; збільшує значення згинальних моментів у фундаментних плитах у зоні стику секцій у 1,5 – 2 рази, при цьому зростають зусилля у палях в центральних зонах фундаментних плит на 10 – 25% за рахунок навантаження та деформацій більшого масиву ґрунту.

Показано, що при врахуванні взаємного впливу пальових фундаментів сусідніх секцій висотних будинків палі, що знаходяться в зоні деформаційного шва на межі секцій, передають на основу навантаження на 40 – 60 % менше, ніж при розрахунку без урахування взаємовпливу секцій, що пояснюється зміною умов роботи бічної поверхні палі у цій зоні.

Показано, що врахування послідовності будівництва окремих секцій висотного будинку дозволяє отримати особливості формування НДС в елементах системи «основа – фундаменти – надземні конструкції» на різних етапах навантаження. Деформації та напруження в окремих елементах системи на межі секцій суттєво залежать від послідовності будівництва. Так, наприклад, у палях секцій, побудованих раніше, в зонах біля деформаційного шва після будівництва сусідніх секцій відмічається зменшення зусиль до 15 – 30 %, а у палях в зоні 1/3 довжини цієї секції зусилля зростають на 10 – 15 %.

Література

1. Boyko, I.P. Finite element simulation of the loss of stable resistance in a foundation-soil system / I.P. Boyko, V.S. Boyandin, A.E. Delnik, A.L. Kozak, A.S. Sakharov // *Archive of Applied Mechanics*, 1992. – № 62. – P. 316 – 328.
2. Katzenbach, R. Last-Verformungsverhalten des Messeturms Frankfurt / R. Katzenbach, H. Sommer, Ch. De Benedittis // *Vortrage der Baugrundtagung*. – Karlsruhe: Main, 1990. – 125 p.
3. Бойко, І.П. Особливості взаємодії пальових фундаментів під висотними будинками з їх основою / І.П. Бойко // *Основи і фундаменти: Міжвідомчий науково-технічний збірник*. – Вип. 30. – К.: КНУБА, 2006. – С. 3 – 8.
4. Винников, Ю.Л. Математичне моделювання взаємодії фундаментів з ущільненими основами при їх зведенні та наступній роботі / Ю.Л. Винников. – Полтава: ПолтНТУ, 2004. – 237 с.
5. Улицкий, В.М. Расчеты и интерактивный мониторинг при строительстве зданий в сложных грунтовых условиях / В.М. Улицкий, К.Г. Шаикин, А.Г. Шаикин // *Технологии безопасности и инженерные системы*, № 2(13). – С-Пб: Стройиздат, 2007. – С. 16 – 19.

Надійшла до редакції 20.09.2012

І.П. Бойко, В.С. Носенко