

УДК 625.154.5:624.131.384

## ЗМІНА ТЕХНОЛОГІЇ ЗВЕДЕННЯ БУДІВЕЛЬ ДЛЯ ВИКОРИСТАННЯ РЕЗЕРВІВ НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ ПАЛЬОВИХ ФУНДАМЕНТІВ

БІКУС К. М. \*, к. т. н., доц.

\* Кафедра основ і фундаментів, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 47-02-63, e-mail: geotecprof@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-1287-666X

**Анотація. Постановка проблеми.** Відомо, в практиці геотехнічного будівництва підвищення рівня надійності зумовлене невизначеністю інженерно-геологічних вишукувань і досягається за рахунок збільшення витрат матеріалів. За сучасного стану економіки, використовувати такий спосіб не є благорозумним рішенням. Настав час для високопрофесійних проектних рішень, використання максимального потенціалу ґрунтової основи та передачі на неї максимально допустимих навантажень **Мета.** Запропонувати практичний спосіб урахування резервів несучої здатності пальових фундаментів з урахуванням індивідуальних інженерно-геологічних умов. **Результати.** Для раціонального використання резервів несучої здатності пальових фундаментів запропоновано практично розділити роботу паль і ростверку (на певному етапі зведення будівлі), і виконувати пасивне і активне навантаження паль вагою надземних конструкцій і долучати палі до роботи за необхідністю. **Наукова новизна.** Це потребує перш за все перегляд і зміну технології влаштування пальового фундаменту, послідовності зведення будівлі, а також принципи і підхід до проектування у цілому. Зведення будівель за запропонованою технологією передбачає інтерактивне управління параметрами будівлі та основи при будівництві, тобто інженерне коригування проекту будівельного процесу безпосередньо під час зведення об'єкту шляхом безперервного моніторингу його напружено-деформованого стану. **Практична значимість.** Технологія дозволяє ураховувати реальні властивості ґрунтів та взаємодію фундаментів із наземними конструкціями, на стадії проектування дозволяє підвищити поверховість будівлі або зменшити геометричні розміри пальового фундаменту, та отримати за рахунок цього економію.

**Ключові слова:** нез'єднані з ростверком палі, пасивне довантаження палі, резерви несучої здатності, цикли "навантаження – розвантаження" паль, зміна послідовності будівництва,

## ИЗМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ВОЗВЕДЕНИЯ ЗДАНИЙ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕЗЕРВОВ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СВАЙНЫХ ФУНДАМЕНТОВ

БІКУС Е. М. \*, к. т. н., доц.

\* Кафедра оснований и фундаментов, Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0562) 47-02-63, e-mail: geotecprof@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-1287-666X

**Аннотация. Постановка проблемы.** Известно, в практике геотехнического строительства повышение уровня надежности обусловлено неопределенностью инженерно-геологических изысканий и достигается за счет увеличения затрат материалов. При современном состоянии экономики, использовать такой способ не является благоразумным решением. Настало время для высокопрофессиональных проектных решений, использования максимального потенциала ґрунтового основания и передачи на него максимально допустимых нагрузок. **Цель.** Предложить практический способ учета резервов несущей способности свайных фундаментов с учетом индивидуальных инженерно-геологических условий. **Результаты.** Для рационального использования резервов несущей способности свайных фундаментов предложено практически разделить работу свай и ростверка (на определенном этапе возведения здания), и выполнять пассивное и активное нагружение свай весом надземных конструкций и включать сваи в работу по мере необходимости. **Научная новизна.** Это требует в первую очередь пересмотра и изменения технологии устройства свайного фундамента, последовательности возведения здания, а также принципы и подход к проектированию в целом. Возведение зданий по предложенной технологией предполагает интерактивное управление параметрами здания и основания при строительстве, то есть инженерную корректировку проекта строительного процесса непосредственно во время возведения объекта путем непрерывного мониторинга его напряженно-деформируемого состояния. **Практическая значимость.** Технология позволяет учитывать реальные свойства ґрунтов и взаимодействие фундаментов с наземными конструкциями, на стадии проектирования позволяет повысить этажность здания или уменьшить геометрические размеры свайного фундамента, и получить за счет этого экономию.

**Ключевые слова:** несоединенные с ростверком сваи, пассивное догружение сваи, резервы несущей способности, циклы "нагружения – разгрузки" свай, изменение последовательности строительства;

## BUILDING TECHNOLOGIES IMPROVEMENT TO APPLY LOAD-BEARING RESERVES CAPACITY OF PILE FOUNDATIONS

BIKUS K. M. <sup>3\*</sup>, *PhD, Associate Prof.*

\* Foundation Engineering Department, State Higher Education Establishment "Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk 49600, Ukraine, тел. +38 (0562) 47-02-63, e-mail: geotecprof@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-1287-666X

**Annotation. Problem statement.** It is known that the improvement of reliability in geotechnical construction is determined by not clear engineering and geotechnical solutions and as a result requires higher materials consumption. However, this method is not a reasonable solution in terms of current economic conditions. It is time to apply highly professional design concepts – ground warp with maximum load. **Purpose.** To propose a practical method of taking into account the load bearing reserves capacity of pile foundations under individual engineering and geological conditions. **Findings.** In order to make efficient use of load bearing reserves capacity of pile foundations the following methods have been suggested. Firstly, to separate the pile work and raft (at a certain stage of construction). Secondly, to perform active and passive pile load by means of superstructures and apply piles when necessary. **Originality.** It is necessary to reconsider and change the techniques of pile foundation construction, sequence of building operations as well as principles and approaches to design. The proposed technology of buildings construction can provide interactive management of bases and buildings parameters. It will make possible to modify building operation of a project during its construction process by means of continuous monitoring of stress and deformation condition. **Practical value.** The above mentioned technology helps take into account soil properties and interaction of foundations with superstructures; at the development stage it allows to erect the building higher or to make pile foundation dimensions smaller and as a result to save.

*Key words: the piles are not connected to plate grillage under its loading, passive preloading pile, the load bearing reserves capacity of pile foundations, «loading – unloading» cycles of piles, change sequence of building operations*

**Вступ. Постановка проблеми у загальному вигляді.** Поряд із стрімким розвитком сучасних міст і мегаполісів зростає поверховість будівель. Висотне будівництво, яке стрімко зростає у великих містах України, вимагає вирішення проблеми забезпечення будівель ефективними і надійними фундаментами у складних інженерно-геологічних умовах протягом всього строку експлуатації. Використання в цих випадках пальових фундаментів є типовим і воно пов'язане із значними витратами у будівництві.

Збільшення навантажень на основи, у свою чергу, призводить до збільшення як абсолютних, так і відносних нерівномірних осідань. Дослідження, направлені на визначення раціональних конструкцій пальових фундаментів, які забезпечують зменшення осідань будівель, зокрема нерівномірних є головним завданням геотехніків сьогодні. Відомо, в практиці геотехнічного будівництва підвищення рівня надійності часто досягалось за рахунок збільшення витрат матеріалів.

За сучасного стану економіки нашої країни, використовувати такий спосіб підвищення рівня надійності не є благорозумним рішенням. Настав час для високопрофесійних проектних рішень, використання максимального потенціалу ґрунтової основи та передачі на неї максимально допустимих навантажень, що активно застосовується при проектуванні та будівництві у багатьох країнах Європи [9, 10]. Проектні рішення, які ураховують максимальні резерви несучої здатності пальових фундаментів, особливо для висотного будівництва, вимагають створення серйозного наукового підґрунтя, спостережень і досліджень, що безперечно свідчить про актуальність вирішення окресленої проблеми.

**Огляд останніх джерел досліджень і публікацій.** Незалежно від того які геотехнічні завдання, і якого рівня складності, постають перед проектувальниками, завжди починати необхідно з основ, як в філософському, так і в практичному значенні. Основою ґрунтової основи майбутньої будівлі є інженерно-геологічні вишукування. А при проектуванні пальових фундаментів необхідно знати фактичну несучу здатність паль і майбутню деформативність їх основи.

Інженерно-геологічні вишукування є невід'ємним і найбільш важливим етапом процесу будівництва, проте їх вартість і тривалість складає відносно малу частку, порівняно з такими етапами будівництва як проектування, зведення об'єкту чи експлуатація.

З іншого боку вартість і тривалість інженерно-геологічних вишукувань виправдані, бо вони досліджують відносно малий об'єм ґрунту, що складає мільйонну частку від загального об'єму ґрунтового масиву майбутньої будівлі [11, 12].

Заслуговує уваги аналіз інженерно-геологічних вишукувань, який проведено проф. В.А. Барвашовим, Болдиревим Г.Г. та Каширським, для країн СНГ.

Свердловини при інженерно-геологічних вишукуваннях знаходяться у точках значно віддалених одна від одної, що спонукає спеціальні організації з вишукувань творчо домальовувати стратифікацію ґрунтового масиву, це значить що межі інженерно-геологічних елементів (ІГЕ) проводять суб'єктивно, тобто неоднозначно. При цьому вважають, що властивості (характеристики) ґрунтів однакові в межах ІГЕ, хоча це не так, бо навіть результати випробування ґрунтів у близьких точках значно різняться, що додатково збільшує

невизначеність результатів інженерно-геологічних вишукувань.

Інженерно-геологічні вишукування в Україні також трактують "обережно", що майже завжди занижує механічних характеристик ґрунтів.

При проектуванні інженери, також суб'єктивно, екстраполюють характеристики ґрунтів на весь масив, обираючи, зазвичай, менші значення, що також штучно погіршує геологічні умови, і тішать себе збільшенням рівня надійності майбутньої основи. Хоча у такому випадку, цей процес більше схожий на ворожіння з чашкою кави, а не на проектування. Дефіцит даних інженерно-геологічних вишукувань а також невід'ємні похибки і суб'єктивізм при проектуванні безсумнівно сприяють збільшенню запасів несучої здатності.

Виконання ж взаємообернених операцій "значення за даними інженерно-геологічних вишукувань – їх коригування для проектування" призводить до того, що розрахункові осідання будівель значно різняться із результатами моніторингу, при чому цікаво, що в обидві сторони.

За даними проф. Ю. К. Зарецького розрахункові осідання повинні перевищувати фактичні на 30...100 %, в іншому випадку розрахункову модель осідання взагалі неможна вважати достовірною, що може призводити до аварійних руйнувань конструкцій будівель.

З іншого боку, деформаційні показники пильових фундаментів, за результатами моніторингу, набагато менші за допустимі значення, нажалі, підтверджують використання при проектуванні невиправдано завищених коефіцієнтів запасу (несучої здатності), що призводить до значних перевитрат ресурсів на зведення фундаментів та загальних економічних перевитрат на зведення будівель.

За даними результатів натурних випробувань, отриманих проф. Бойком І. П. сьогодні в Україні існують багато будівельних об'єктів з пильових фундаментів (складених переважно з буройн'єкційних пиль) несуча здатність яких використовується нерационально, палі працюють тільки по бічній поверхні, а п'ята залишається взагалі ненавантажена (недовантажена).

Також цьому сприяють жорсткі порушення нормативних умов (які, до речі, і без того недосконалі [2]) при проведенні натурних випробувань пиль на практиці та визначенні їх несучої здатності. Довільне скорочення часу умовної стабілізації штучно погіршує умови випробувань і занижує показники несучої здатності пиль, що зазвичай пояснюється немотивованою поведінкою замовника, якого цікавить швидкість будівництва, та виправдовується перед ним же збільшенням рівня надійності майбутнього фундаменту.

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми.** Хоча говорити про збільшення рівня надійності, точніше кажучи ймовірно сподіватись на те, що він підвищується, без розглядання геотехнологій влаштування пиль в

конкретних геологічних умовах, та економічної складової, видається нам не зовсім коректним. Саме тому такий підхід до проектування і будівництва, за сучасних економічних умов України, назвати раціональним (адекватним) важко.

Безпечно, тобто контрольоване, підвищення несучої здатності пильових фундаментів будівель і їх ґрунтових основ можливе лише за умови розроблення і впровадження у практику методів "раціонального" проектування таких фундаментів з комплексною системою контролю осідань пиль, що є актуальною і невирішеною задачею сьогодні. Для даного завдання ідеально підходить метод попереднього навантаження пиль і пильових фундаментів.

Подібні методи попереднього навантаження пиль та зведення плитно-пильових фундаментів, з їх застосуванням, добре зарекомендували себе у багатьох країнах Європи [9, 10].

Дослідженням впливу попереднього навантаження пиль на зниження осідань пиль та деформативність їх основ займалися Б. В. Бахолдін, І. П. Бойко, Б. І. Далматов, Ю. Л. Винников, М. С. Грутман, М. Л. Зоценко, В. І. Крутов, М. С. Метелюк, Н. Brandl та інші, однак результати цих досліджень потребують подальшого вивчення та збирання нових дослідних даних для удосконалення методу попереднього навантаження пиль з урахуванням сучасних інженерно-геологічних умов України

Тому їх удосконалення з урахуванням складних інженерно-геологічних умов України сприятиме підвищенню рівня надійності фундаментів та може дати суттєвий економічний ефект, а науково обґрунтоване впровадження є важливим кроком розвитку будівельної галузі нашої країни, зокрема для потреб висотного будівництва.

**Постановка завдання.** Дослідити вплив попереднього навантаження пиль на зниження осідань пиль та деформативність їх основ. Запропонувати практичний спосіб урахування резервів несучої здатності пильових фундаментів з урахуванням індивідуальних інженерно-геологічних умов.

**Основний матеріал і результати.** Аналітичний огляд робіт вітчизняних та зарубіжних вчених у яких висвітлено експериментально-теоретичні дослідження з виявлення резервів несучої здатності основ пильових фундаментів та їх "раціонального" проектування, особливостей роботи як попередньо виготовлених пиль, так і тих пиль, що влаштовуються в ґрунті, представлений у [1], дозволив систематизувати негативні процеси, що виникають у ґрунтовій основі, зокрема недоліки, пов'язані з неякісним спіранням їх нижнього торця на ґрунт основи, що притаманні усім переліченим видам пиль.

Аналіз матеріалів натурних випробувань пиль на більше ніж 300 будівельних майданчиках в різних містах України (зокрема у м. Дніпропетровськ) за період з 2003 до 2015 р., наведений у [1], виявив

наявність недоліків, пов'язаних з неякісним спіранням п'яти (вістря) паль на ґрунт основи більше ніж на 20 % майданчиків. Ці недоліки існують не тільки для бурових паль а також для попередньо виготовлених, за умови випинання сусідніх паль при вдавлюванні чи забиванні. В подальшому ці негативні процеси сприяють підвищеній деформативності, нерівномірним осіданням фундаментів, утворенню кренів тощо. Необхідно зазначити, що на практиці натурні дослідні палі для випробувань, зазвичай, виготовляють під пильним контролем, і їх якість завжди вища. Отже, за умови випробування усіх робочих паль в складі фундаменту, відсоток паль з недоліками спірання може бути набагато більший.

За сучасних умов геотехнічного будівництва набули широкого розповсюдження буроін'єкційні палі, які виготовляють з використанням технології CFA (від англ. Continuous Flight Auger) – шнекового бура безперервної дії. Для м. Дніпропетровськ найбільш розповсюдженим типом паль є буроін'єкційні палі великого діаметру (згідно ДБН В.Б-10-2009 палями великого діаметру вважаються палі діаметром більше 300 мм).

При використанні буроін'єкційної технології у водонасичених глинистих ґрунтах, розуцільнення масиву ґрунту довкола паль сприяє неконтрольованому надлишковому вилученню ґрунту при укручуванні шнека, що призводить не лише до значних перевитрат бетонної суміші, а також до осідання поверхні дна котловану.

Не дивлячись на особливості CFA-технології та багато невирішених питань, пов'язаних з якістю виконання буроін'єкційних паль, зокрема у складних інженерно-геологічних умовах, вони мають резерви фактичної несучої здатності порівняно з розрахунковою чи прогнозованою. Оскільки діючі норми розглядають буроін'єкційні палі, практично, як і буронабивні, це призводить до заниження розрахункової несучої здатності таких паль і, як наслідок, до збільшення їх геометричних розмірів чи кількості на майданчику [7]. Дослідження буроін'єкційних паль і технології їх влаштування широко опубліковані, проте досі залишається значна кількість невирішених питань, пов'язаних з проектуванням буроін'єкційних паль і якістю їх виконання, зокрема у складних інженерно-геологічних умовах. Оскільки у м. Дніпропетровськ важко знайти майданчик природної будови з "простими" інженерно-геологічними умовами, несуча здатність буроін'єкційних паль необхідно приймати виключно на основі їх натурних випробувань.

На кожному будівельному майданчику при будівництві багатоповерхових і висотних будівель згідно норм [4, 5] проводяться випробування натурних паль при дії статичних навантажень. За допомогою даного методу досягають найбільш точного визначення несучої здатності паль.

Національний стандарт [4] потребує коригування, оскільки несуча здатність паль за властивостями ґрунту не мусить залежати від граничних значень осідання для даного типу будівлі (споруди), бо несуча здатність палі зумовлюється оточуючим ґрунтом [2].

Завдяки натурним випробуванням виявлено, що під буроін'єкційними палями фіксується зона послабленого ґрунту, створення якої зумовлено технологічною особливістю влаштування таких паль.

Велика вірогідність виникнення такого ефекту при виготовленні буроін'єкційних паль існує у водонасичених піщаних ґрунтах. Доведено, що виключення послаблених зон, шляхом їх ущільнення, можна досягти попередніми циклами статичного навантаження паль [7].

Підвищувати ефективність роботи пального фундаменту можливо не тільки за рахунок виключення недоліків спірання паль.

Справа в тому, що формування резервів несучої здатності палових фундаментів закладено в самій ідеї їх роботи. Пальовий фундамент це система, ефективність роботи якої залежить від трьох складових: робота (опір ґрунту) під ніжнім торцем палі, робота на бічній поверхні та під ростверком. Але на бічній поверхні паля зривається при 5-8 мм, при осіданні 10-20 мм працює підшва, а ростверк включається в роботу після 20 мм.

Враховуючи те, що наша будівля зазвичай зумовлює якусь одну величину осідання, ця система не може бути мобілізована одночасно, це означає те, що щось обов'язково недовраховується. що потенціал інших складових фундаменту обов'язково використовуються не на повну.

Можна стверджувати, що сьогодні будівництво фактично виконується за найгіршим сценарієм, навіть, якщо вірогідність його виникнення мала. Свого часу проф. Лушніковим В. В. [8] було запропоновано закладати в проектні рішення деякі ризики, штучно знижувати коефіцієнти надійності або спланувати фундаменти менших розмірів, за умови їх інженерного перетворення. Звичайно, для цього у проекті заздалегідь повинно бути передбачено можливість інженерного впливу на фундамент чи ґрунтову основу (наприклад, проектування стовпчатого фундаменту з можливістю його перетворення або частини в плиту, а плиту з можливістю ін'єктування у ґрунт розчину або посилення палями).

У певних умовах можна розділити роботу палі й ростверку. Дослідження стосовно впливу ростверку на загальну роботу фундаменту і пропозиції щодо його врахування у несучій здатності проводяться з 60-х років ХХ ст. проте за нормами України [5] ростверк досі не приймає участь (точніше його вплив не враховується) у роботі та несучій здатності пального фундаменту.

Запропоновано розділити роботу паль й ростверку не лише теоретично, а й практично (на певному етапі зведення будівлі). Можна спочатку навантажити

ростверк а потім певними інженерними засобами залучити до роботи палі. Це безумовно вплине на змінення технології влаштування не тільки пального фундаменту а й послідовності зведення будівлі та споруди, а також на принципи і підхід до проектування у цілому.

Зведення будівель за запропонованою технологією передбачає інтерактивне управління параметрами будівлі (споруди) та основи при будівництві, тобто передбачає інженерне коригування проекту будівельного процесу безпосередньо під час зведення об'єкту шляхом безперервного моніторингу його напружено-деформованого стану.

На перший погляд запропонована технологія будівництва здається дуже ризикованою і такою, що складно реалізується. Однак вона раціональна і цілком контрольована завдяки інтерактивному зв'язку з проектом і можливості втручання у будь-який момент часу, при виникненні нестандартних (критичних) ситуацій.

Орієнтовні складові й практичне застосування інтерактивної технології зведення будівлі наведено нижче:

1. Влаштування пального поля за регулярною або раціональною сіткою. Палі виконуються за будь-якою технологією, але ураховуючи майбутні підвищені навантаження й поверховість більший потенціал має саме CFA-технологія.

2. При виконанні плити ростверку на поверхні ґрунту задалегідь передбачають отвори навколо голів палі (кожної палі або найбільш навантажених, необхідно визначати за результатами попереднього моделювання, за принципом запропонованим проф. Бойком І. П. і його учнями [3], або за рекомендаціями щодо раціонального розташування палі в залежності від оптимальної довжини палі розробленими проф. Седіним В. Л. і його учнями, або за їх поєднанням [1, 6]).

3. Запропонованою технологією передбачено не просто включити ростверк в роботу а задалегідь покращити ґрунт основи під ним. Для цього спочатку навантажують плиту (майбутній ростверк) шляхом поетапного зведення будівлі, при цьому навантаження від частини будівлі сприймається тільки плитою, і перерозподіляється на ґрунтову основу. При зростаючому навантаженні від будівлі у процесі її зведення плита починає осідати, обтискає і ущільнює ґрунт під собою, створює тим самим зону основи плити з покращеними характеристиками міцності ґрунту навколо палі.

Також за результатами експериментальних числових розрахунків [1] виявлено ефект переміщення, нез'єднаної з ростверком палі, ґрунтом між палями, при навантаженні плитного ростверку, і встановлено, що ростверк здатний довантажувати палю. Ефект пояснюється виникненням негативного тертя вздовж бічної поверхні палі на деяку глибину від низу плитного ростверку. Після прикладання розподіленого навантаження ґрунт переміщується

швидше ніж палю, що викликає утворення негативного тертя. Аналіз значень осідання палі і плити вказує на те, що чим більше відстань між палями, тим вплив на нез'єднану з плитою палю (її переміщення) більше.

Отриманий ефект цілком може використовуватись для попереднього пасивного довантаження палі, і поліпшення тим самим ґрунтової основи не тільки під плитним ростверком а й під підшоною палі, що надасть можливість підвищити рівень надійності пального фундаменту.

4. Якщо вплив від попереднього пасивного ефекту недостатній застосовують безпосередньо активне навантаження палі. Склад палі, які будуть задіяні у активному навантаженні та інтенсивність навантаження (кожної палі або тільки найбільш навантажених), формують за результатами попереднього моделювання, за принципом [3, 6]. Можна задіяти у навантаженні лише палі, розташовані у тих областях плити і основи, де можливе максимальне зосередження навантажень від конструкції будівлі.

Активне попереднє навантаження палі складається з декількох почергових циклів "навантаження – розвантаження" палі після їх відпочинку, яке виконують за допомогою домкратних систем, що передають зусилля навантаження палі на елементи зведеної будівлі.

Майже будь-який матеріал (окрім ідеально пружних) при повторних навантаженнях демонструє більший опір, і ґрунт не є виключенням.

Загальні деформації ґрунту мають дві складові: пружна і пластична. Пружні деформації у ґрунті значно менші залишкових. При багаторазовому прикладанні навантаження до палі загальні деформації ґрунту основи наближаються до деякої межі, пластичні деформації з кожним навантаженням палі мають тенденцію до зменшення.

При проведенні циклів "навантаження – розвантаження" проявляються лише пружні деформації (тобто ґрунт набуває пружно-ущільненого стану) має практичне значення для приведення осідань палі до однакових значень, що особливо необхідно при зведенні будівель підвищеної поверховості.

Процес "навантаження – розвантаження" палі може відбуватися декілька разів, доки не буде достатнього ущільнення під п'ятою, і зниження осідань палі що контролюється приборами домкратних систем.

5. Після останнього циклу, та коли плита не здатна сприймати навантаження від зведених поверхів (орієнтовно після 9 поверхів), палі долучають до роботи фундаменту шляхом їх жорсткого з'єднання з плитою.

Головною умовою ефективності технології є те, що будівництво повинно продовжуватись після з'єднання палі з ростверком.

Застосування технології на практиці, спостереження за деформаціями кожної зі складових

пального фундаменту, дозволить ще до передачі на основу експлуатаційного навантаження визначити її дійсні характеристики жорсткості. Урахування технології на стадії проектування дозволить підвищити поверховість будівлі або зменшити кількість паль чи їх геометричні розміри, та отримати за рахунок цього економію.

З наукової точки зору поступовий процес будівництва за такою технологією фактично можна розглядати пробним випробуванням ґрунтів ступенево-зростаючими статичними навантаженнями з визначеною несучою здатністю паль (кожної чи найбільш навантажених), що суттєво підвищить достовірність визначення властивостей ґрунтів.

**Висновки.** Підвищувати ефективність роботи пального фундаменту можливо не тільки за рахунок виключення недоліків спирання паль, шляхом їх попереднього навантаження.

Для раціонального використання резервів несучої здатності палих фундаментів запропоновано практично розділити роботу паль й ростверку (на певному етапі зведення будівлі), що потребує перш за все перегляд і змінення технології влаштування пального фундаменту, послідовності зведення будівлі, а також принципи і підхід до проектування у цілому.

Зведення будівель за запропонованою технологією передбачає інтерактивне управління параметрами будівлі та основи при будівництві, тобто передбачає інженерне коригування проекту будівельного процесу безпосередньо під час зведення об'єкту шляхом безперервного моніторингу його напружено-деформованого стану.

Передбачено заздалегідь покращити ґрунт основи під ростверком. Для цього спочатку навантажують плиту (майбутній ростверк) шляхом поетапного зведення будівлі, при цьому навантаження від частини будівлі сприймається тільки плитою, і перерозподіляється на ґрунтову основу. При зростаючому навантаженні від будівлі у процесі її зведення плита осідає, обтискає і ущільнює ґрунт під

собою, створює тим самим зону основи плити з покращеними характеристиками міцності ґрунту навколо паль.

Встановлено, що при навантаженні плитного ростверку він здатний пасивно довантажувати нез'єднану з ростверком палю.

Паралельно застосовують безпосередньо активне навантаження паль, що складається з декількох почергових циклів "навантаження – розвантаження" паль, яке виконують за допомогою домкратних систем, що передають зусилля навантаження паль на елементи зведеної будівлі. Коли плита не здатна сприймати навантаження від зведених поверхів, палі долучають до роботи фундаменту шляхом їх жорсткого з'єднання з плитою.

Запропонована технологія вирішує важливу наукову проблему забезпечення рівня надійності та економічної ефективності палих фундаментів висотних будинків та в сукупності є суттєвим досягненням для розвитку галузі геотехніки. Дозволяє урахувувати реальні властивості ґрунтів та взаємодію фундаментів із наземними конструкціями (із врахуванням їх центрів ваги), чого вимагають будівельні норми, але не завжди забезпечують сучасні методи розрахунків.

Коригування підходу до проектування вимагає урахування регіональних інженерно-геологічних умов в першу чергу! Несуча здатність повинна зумовлюватись індивідуальними в кожному випадку геологічними умовами.

Для того щоб не було непорозумінь у проектувальників ввести до експертизи геотехнічний контроль (обґрунтування, нагляд) проекту, який можуть виконувати спеціалісти з наукових організацій і створювати базу по своєму регіону. Від такої злагоженої роботи між науковими установами виграють усі, оскільки це дасть можливість систематизувати матеріал за регіональними умовами, що дозволить у режимі консиліуму вирішувати складні геотехнічні питання (унікальні проекти тощо).

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бікус К. М. Вплив попереднього навантаження паль на зниження їх осідань [Рукопис] : Дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.23.02 "основи і фундаменти" / Бікус Катерина Михайлівна ; ДВНЗ ПДАБА – Дніпропетровськ, 2015. – 210 с.
2. Бойко І. П. Польові методи випробування паль статичними навантаженнями / І. П. Бойко // Основи і фундаменти : міжвідом. наук.-техн. зб. / за заг. ред. І. П. Бойка ; Київ. нац. ун-т буд-ва і архітектури. – Київ, 2015. – Вип. 36. – С. 3-8.
3. Бойко І. П. Дослідження перерозподілу зусиль у фундаменті при різних варіантах розташування паль / І. П. Бойко В. Л. Підлущький // Основи і фундаменти : міжвідом. наук.-техн. зб. / Київ. нац. ун-т буд-ва і архіт. – Київ, 2015. – Вип. 37. – С. 64-73.
4. Палі. Визначення несучої здатності за результатами палих випробувань : ДСТУ Б В.2.1-27:2010. – [Чинний від 2011-07-01]. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2011. – 11 с.
5. Об'єкти будівництва та промислової продукції будівельного призначення. Основи та фундаменти будинків і споруд. Основи та фундаменти споруд. Основні положення проектування : ДБН В.2.1-10-2009. – Додано Зміну №1-2 від 1 липня 2012 р. – Замість СНИП 2.02.01-83 ; [чинні від 2009-07-01]. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2009. – 161 с.
6. Седін В. Л. Асимптотичний метод для оцінювання напружено-деформованого стану основ палих фундаментів / В. Л. Седін, В. В. Данішевський, К. М. Бікус, В. В. Ковба // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – Дніпропетровськ, 2015. – № 2. – С. 10-19.

7. Сєдін В. Л. Вплив вдавлювального навантаження на деформативність основ буроін'єкційних паль / В. Л. Сєдін, К. М. Бікус, А. М. Мельник // Основи і фундаменти : міжвідом. наук.-техн. зб. / Київ. нац. ун-т буд-ва і архіт. – Київ, 2014. – Вип. 35. – С. 9-20.
8. Соломин В. И. Адаптивное управление параметрами грунтов и фундаментов при возведении сооружений / Соломин В. И., Лушников В. В., Оржеховский Ю. Р. // Сб. трудов СПбГАСУ. – Санкт-Петербург, 2012. – С. 337-342.
9. Brandl H. Cyclic preloading of piles to minimize (differential) settlements of high-rise buildings / H. Brandl // Slovak, 2005. – Slovak University of Technology, 2006. – P. 1-12.
10. Brandl H. Cyclic preloading of pails and box-shaped deep foundations / H. Brandl // Geotechnical Challenges in Megacities : Proceedings of the International Conference on Geotechnical Engineering, [Moscow, 7-10 June 2010] / ISSMGE, Russian Society for Soil Mechanics, Geotechnics and Foundation. – Moscow, 2010. – Vol.1. – P. 3-28.
11. Clayton C.R.I. Urban site investigation / Clayton C.R.I. // Engineering Geology for Tomorrow's Cities / Geological Society Engineering Geology Special Publication, London, 2010. – Vol. 22. – PP.125 – 127.
12. Clayton C.R.I. Stiffness at small strain: research and practice / Clayton C.R.I. // Geotechnique, 61, No.1, 2011. – PP. 5-57.

## REFERENCES

1. Bikus K. M. Vpliv poperedn'ogo navantazhennya pal' na znizhennya ih osidan' [The influence of piles preloading on their settlement reduction] [Rukopis / manuscript] : Dis. ... kand. tehn. nauk : spec. 05.23.02 "osnovi i fundamenti" / Bikus Katerina Mihajlivna ; DVNZ PDABA - Dnipropetrovs'k, 2015. - 210 s.
2. Bojko I. P. Pol'ovi metodi viprobuvannya pal' statichnimi navantazhenniyami [Field tests methods static load] / I. P. Bojko // Osнови і фундаменти : mizhvidom. nauk.-tehn. zб. / za zag. red. I. P. Bojka ; Kiiv. nac. un-t bud-va і arhitekturi. - Kiiv, 2015. - Vip. 36. - S. 3-8.
3. Bojko I. P. Doslidzhennya pererозpodilu zuzil' u fundamenti pri riznih variantah roztashuvannya pal' / I. P. Bojko V. L. Pidluc'kij // Osnovi і фундаменти : mizhvidom. nauk.-tehn. zб. / Kiiv. nac. un-t bud-va і arhit. - Kiiv, 2015. - Vip. 37. - S. 64-73.
4. Pali. Vznachennya nesuchoї zdatnosti za rezul'tatami pal'ovih viprobuvan' : DSTU B V.2.1-27:2010. - [Chinnij vid 2011-07-01]. - Kiiv : Minregionbud Ukraїni, 2011. - 11 s.
5. Ob'єkti budivnictva ta promislova produkcija budivel'nogo priznachennya. Osnovi ta фундаменти budinkiv і sporud. Osnovi ta фундаменти sporud. Osnovni polozhennya proektuvannya : DBN V.2.1-10-2009. - Dodano Zminu №1-2 vid 1 lipnya 2012 r. - Zamist' SNiP 2.02.01-83 ; [chinni vid 2009-07-01]. - Kiiv : Minregionbud Ukraїni, 2009. - 161 s.
6. Sedin V. L. Asimptotichnij metod dlya ocinyuvannya napruzhenno-deformovanogo stanu osnov pal'ovih fundamentiv [An asymptotic method for modeling of the soil stress-strain state pile foundations] / V. L. Sedin, V. V. Danishevs'kij, K. M. Bikus, V. V. Kovba // visnik pridniprovs'koї derzhavnoї akademії budivnictva ta arhitekturi. - Dnipropetrovs'k, 2015. - № 2. - S. 10-19.
7. Sedin V. L. Vpliv vdavlyuval'nogo navantazhennya na deformativnist' osnov burоin'єkciynih pal' [Influence of pressed in load on deformability of CFA-piles' foundations] / V. L. Sedin, K. M. Bikus, A. M. Mel'nik // osnovi і фундаменти : mizhvidom. nauk.-tehn. zб. / Kiiv. nac. un-t bud-va і arhit. - Kiiv, 2014. - Vip. 35. - S. 9-20.
8. Solomin V. I. Adaptivnoe upravlenie parametrami gruntov і fundamentov pri vozvedenii sooruzhenij / Solomin V. I., Lushnikov V. V., Orzhehovskij Yu. R. // Sb. trudov SPbGASU. - Sankt-Peterburg, 2012. - S. 337-342.
9. Brandl H. Cyclic preloading of piles to minimize (differential) settlements of high-rise buildings / H. Brandl // Slovak, 2005. – Slovak University of Technology, 2006. – P. 1-12.
10. Brandl H. Cyclic preloading of pails and box-shaped deep foundations / H. Brandl // Geotechnical Challenges in Megacities : Proceedings of the International Conference on Geotechnical Engineering, [Moscow, 7-10 June 2010] / ISSMGE, Russian Society for Soil Mechanics, Geotechnics and Foundation. – Moscow, 2010. – Vol.1. – P. 3-28.
11. Clayton C.R.I. Urban site investigation / Clayton C.R.I. // Engineering Geology for Tomorrow's Cities / Geological Society Engineering Geology Special Publication, London, 2010. – Vol. 22. – PP.125 – 127.
12. Clayton C.R.I. Stiffness at small strain: research and practice / Clayton C.R.I. // Geotechnique, 61, No.1, 2011. – PP. 5-57.

Стаття рекомендована до публікації д-ром. техн. наук, проф. Сєдіним В.Л. (Україна); д-ром техн. наук, проф. Соколовим І.А. (Україна)

Статья поступила в редколлегия 11.10.2015