

МЕХАНІКА ҐРУНТІВ ТА ФУНДАМЕНТИ

УДК 624.131

ОСОБЛИВОСТІ ВЛАШТУВАННЯ ПАЛЬ РІЗНОЇ ДОВЖИНИ У ФУНДАМЕНТІ

О. В. Титко

Наведено особливості влаштування палей у фундаменті різної довжини. Методами чисельного моделювання роботи системи «основа - фундаменти - надземні конструкції» розв'язані задачі виявлення зусиль у фундаментах, перерозподілу зусиль у полях залежно від їх довжини і місця розташування. Порівняно отримані дані з результатами натурних експериментальних спостережень за поведінкою несучих конструкцій висотного будинку.

Ключові слова: чисельне моделювання, палі різної довжини, розташування палей, експериментальні спостереження.

ОСОБЕННОСТИ УСТРОЙСТВА СВАЙ РАЗНОЙ ДЛИНЫ В ФУНДАМЕНТЕ

О. В. Титко

Приведены особенности устройства свай в фундаменте разной длины. Методами численного моделирования работы системы «основание - фундаменти - надземные конструкции» решены задачи выявления усилий в фундаментах, перераспределения усилий в сваях в зависимости от их длины и места расположения. Сравнено полученные данные с результатами натурных экспериментальных наблюдений за поведением несущих конструкций высотного здания.

Ключевые слова: численное моделирование, сваи разной длины, расположение свай, экспериментальные наблюдения.

PLACEMENT FOUNDATION PILES IN VARIOUS LENGTHS

O. Tytko

The show features the device piles of different lengths in the foundation. Methods of numerical simulation of the system is «basis - the foundation - superstructure» solved the problem identification efforts in foundations, redistribution efforts in piles according to their length and location. Compare our data with the results of full-scale experimental observations of the behavior of load-bearing structures of high-rise buildings.

Keywords: numerical simulation, piles of different lengths, location of piles, experimental observations.

Вступ

Будівництво висотних будинків вимагає більш детального вивчення та дослідження перерозподілу зусиль у фундаментних конструкціях та ґрунтовому масиві для розроблення надійних та ефективних проектних рішень фундаментів. Для висотних будинків в умовах слабких верхніх шарів основи зазвичай влаштовують палеві фундаменти. За допомогою таких фундаментів є можливість передати навантаження від надземних конструкцій будинку на більш міцні шари ґрунтів, що залягають на значній глибині.

Проектування палевих фундаментів супроводжується встановленням та обґрунтуванням раціональної довжини палей. На ряду з розробленням проектних рішень у сучасних умовах необхідно проводити порівняння результатів розрахунків з результатами натурних інструментальних спостережень для обґрунтування правильності прийнятих розрахункових передумов.

Як відомо, розподіл навантаження між палями у межах фундаменту в процесі їх роботи у складі системи «основа - палевий фундамент - надземні конструкції» відбувається нерівномірно. Так, найбільше завантажуються периферійні палі, середні ж палі залишаються недовантаженими.

Дослідженням розташування паль та розподілу між ними навантаження займалися багато вчених, серед яких А. О. Бартоломей, І. П. Бойко, В. М. Голубков, Б. І. Далматов, О. В. Пілягін, Р. Катценбах та інші [1-8].

Не завжди розташуванням паль у фундаменті вдається досягнути оптимального перерозподілу між ними внутрішніх зусиль. Досить часто навантаження на периферійні палі перевищують несучу здатність палі по ґрунту, тому доцільно для вирівнювання зусиль у палях влаштувати їх різної довжини у межах пальового фундаменту висотного будинку. Такий підхід до влаштування пальового поля ще недостатньо розглянуто в опублікованих джерелах і майже не використовується на практиці. Відомі окремі випадки влаштування паль різної довжини у фундаменті [1, 4-6].

За наявності потужних електронно-обчислюваних машин дослідження зміни напружено-деформованого стану (НДС) системи «основа - пальовий фундамент - надземні конструкції» дозволяє виконувати методика чисельного моделювання з використанням методу скінченних елементів, що застосовується у багатьох сучасних програмних комплексах. Результати таких розрахунків вимагають обов'язкової перевірки отриманого НДС фундаментних конструкцій шляхом проведення експериментальних натурних спостережень, наприклад спостереження за деформаціями несучих конструкцій висотних будинків у процесі будівництва, а також проведення контрольних замірів протягом деякого часу. Тому результати чисельних розрахунків таких досліджень повинні узгоджуватися з натурними інструментальними вимірюваннями.

На прикладі експериментального висотного будинку у м. Франкфурт-на-Майні, запроєктованого проф. Р. Катценбахом [6], показано розподіл зусиль між палями та ростверком, а також вертикальні деформації будинку, що встановлені експериментально. Результати експериментальних спостережень заплановано порівняти з чисельними розрахунками.

Постановка задачі

Показати особливості сумісної роботи пальового поля та фундаментної плити залежно від габаритів паль; порівняти перерозподіл внутрішніх зусиль в палях, визначених експериментально та за допомогою чисельного моделювання, а також відповідних вертикальних переміщень при обґрунтованій довжині паль.

Основний матеріал

Результати експериментальних спостережень, що наведені в друкованих працях проф. Р. Катценбаха, порівнюються з даними, отриманими чисельним моделюванням за допомогою програмного комплексу, який включає добре зарекомендовані скінченно-елементні бібліотеки та алгоритми розв'язку лінійних та нелінійних задач механіки (включаючи задачі механіки ґрунтів), які були випробувані в системах «ПРОЧНОСТЬ-75», «КОМПАС», «РОСИНКА», «APROKS» та інші. Для моделювання процесів нелінійного деформування ґрунтів використана модель фізично нелінійного пружно-пластичного ґрунтового середовища, що базується на дилатансійній теорії [2].

Взаємодія висотних споруд із ґрунтовою основою залежить від габаритів плити-ростверку і в першу чергу від співвідношення розмірів будинку в плані і довжини паль, а також від кількості та розміщення паль у складі фундаменту. Тому при обґрунтуванні довжини паль, доцільно розділяти фундаменти із застосуванням паль на два типи: один слід називати пальовим фундаментом, а другий – пальовою основою, оскільки в цьому разі деформації визначаються розміром будівлі, а палі тільки покращують властивості ґрунту у верхній частині основи внаслідок її ущільнення. Як додаткову ознаку взаємодії системи «основа-фундамент» можна використовувати накладення напружень від ростверку на напруження в площині підшви паль для випадку пальової основи і відсутності накладання таких зон у випадку пальового фундаменту (рис. 1).

Перерозподіл зусиль між палями й ростверком у разі пальової основи відбувається наступним чином: ростверк сприймає близько 45 % від загального навантаження, а палі – близько 55 %. У разі пальового фундаменту такий перерозподіл змінюється: відповідно близько 15-20 % на ростверк і 80-85 % на палі, що було відзначено при різних ґрунтових умовах. Проведені дослідження вказують на необхідність урахувати в розрахунку габарити паль і ростверків при взаємодії їх з ґрунтовою основою. У цьому випадку виконується сумісна робота паль з ростверком. Для висотних будинків у таких випадках часто застосовується термін «комбінований плитно-пальовий фундамент» [7].

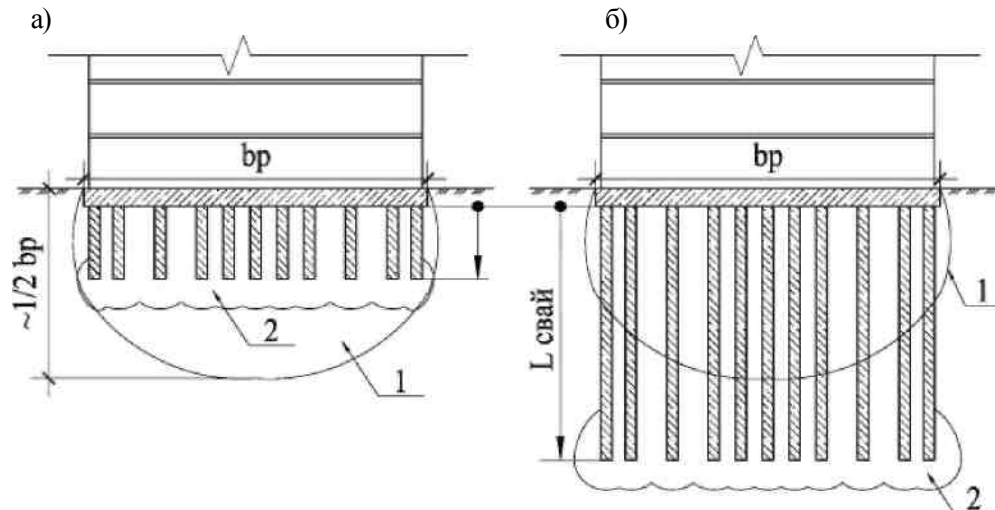


Рисунок 1 – Взаємодія фундаментних конструкцій з ґрунтовим масивом:
 а) польова основа; б) польовий фундамент; 1 -зона деформації під ростверком;
 2 - зона деформації під підшвою паль

Для проектування висотних будинків, які зводяться в стиснених умовах мегаполісів, як правило, використовують різні програмні комплекси (SCAD, Lira, Мономах, VESNA, Plaxis, Z-Soil, ANSYS та ін.), що враховують взаємодію ґрунтів основи з конструкціями будинку. Важливим етапом при проектуванні є перевірка збіжності прийнятої моделі деформування ґрунтової основи з реальними даними.

Перерозподіл зусиль у пальовому фундаменті висотного будинку, який досліджується, планується розглянути на реальному об'єкті, де в процесі його зведення проводилися експериментальні вимірювання та порівняти їх з результатами моделювання. Будинок, що досліджується, побудований у 1988-1990 рр. у м. Франкфурт-на-Майні, має висоту 256 м, багатоповерховий, з різним плануванням поверхів, верхня частина виконана у вигляді шпиля (рис. 2).

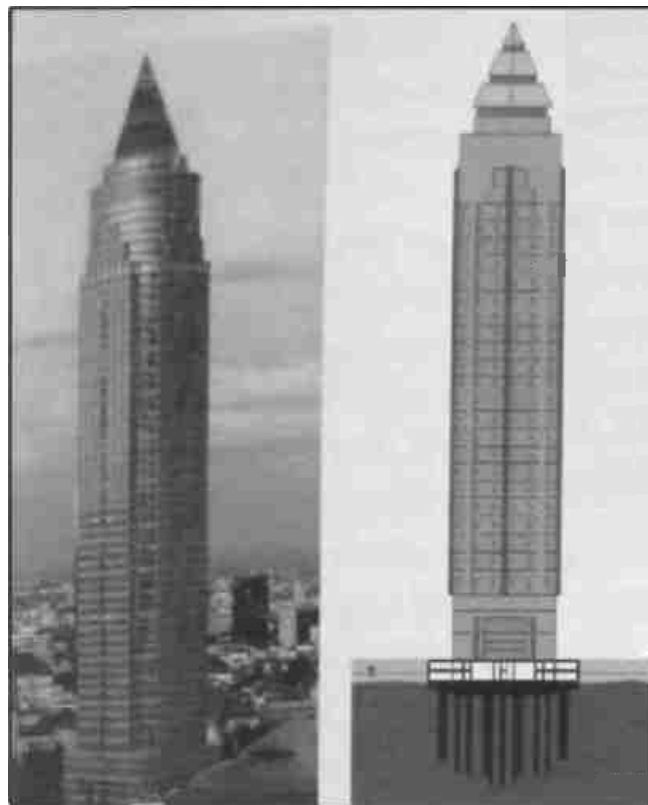


Рисунок 2 – Конструктивні рішення будинку

Фундамент, як зазначено вище, комбінований плитно-пальовий. Розміри фундаментної плити в плані 58,8×58,8 м, товщина змінна: від 3 м по контуру будинку до 6 м у центральній частині (рис. 3). Ґрунтовий масив з поверхні характеризується піском та гравієм, під яким залягає глина франкфуртська, яка є основою для паль. Необхідно зауважити і те, що на майданчику високий рівень ґрунтових вод. Уже один підземний поверх знаходиться нижче даного рівня.

Палі в будинку, що розглядається, розташовано по трьох кільцях: зовнішньому, середньому та внутрішньому. У межах кожного кільця палі мають різну довжину. Так, палі зовнішнього кільця влаштовані довжиною 34,9 м, середнього кільця – 30,9 м, внутрішнього – 26,9 м. Діаметр паль становить 1,3 м. Загальна кількість – 64 штук (рис. 3).

Для об'єкта, що розглядається, розроблена скінченноелементна модель (рис. 4), в якій враховано конструктивні особливості несучих елементів каркаса будинку. Після проведення розрахунків за допомогою чисельного моделювання виконано порівняльний аналіз результатів, які визначено експериментально та розрахунком (рис. 5 та рис. 6).

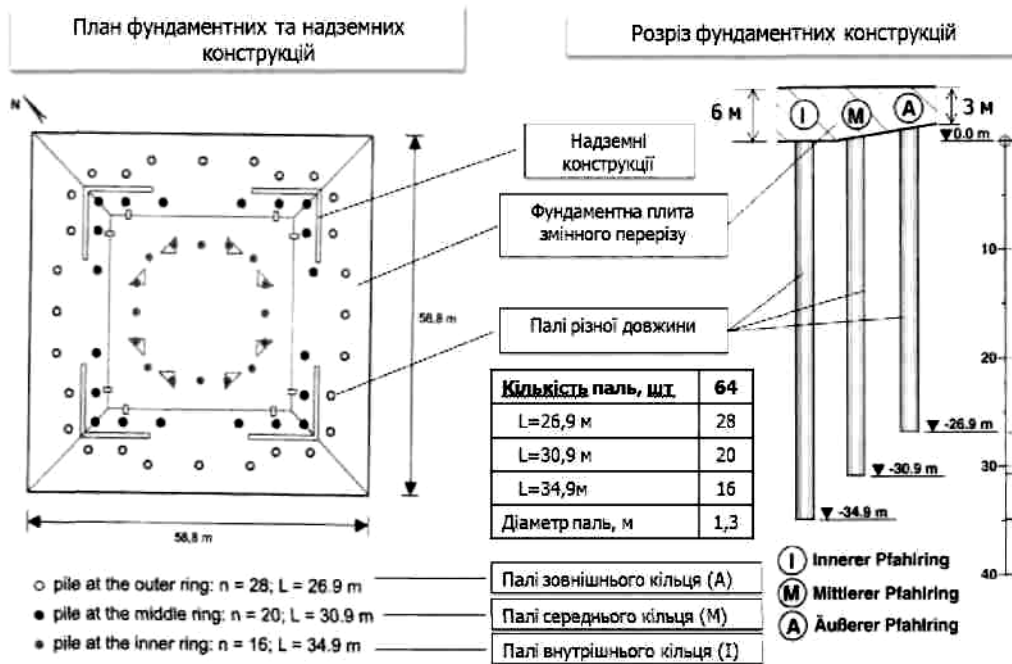


Рисунок 3 – Конструктивні рішення фундаментів

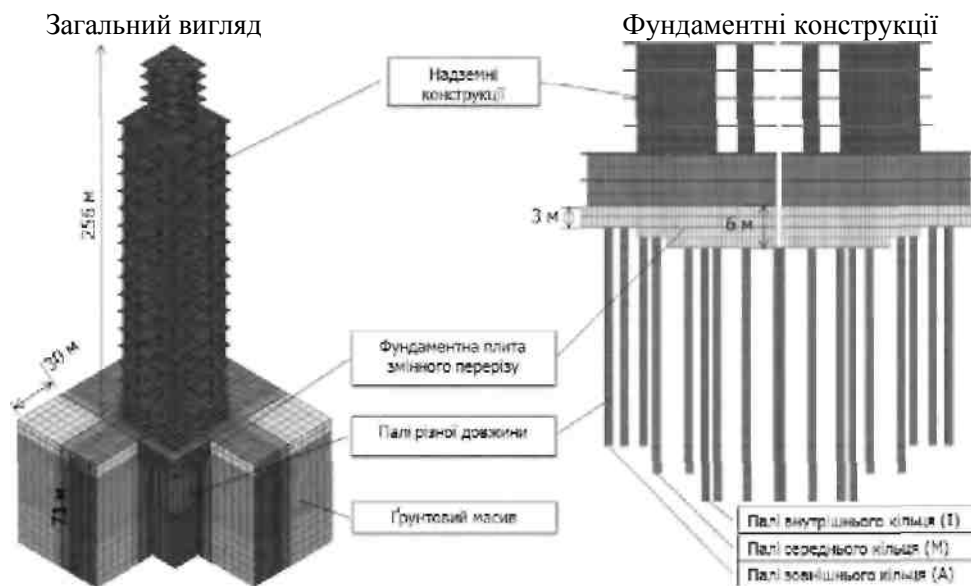


Рисунок 4 – Скінченно-елементна модель будинку, що досліджується

Слід зауважити, що наведені дослідження з порівняння результатів чисельного моделювання з даними натурних спостережень одночасно є і тестовою задачею для перевірки збіжності прийнятої моделі деформування ґрунтового середовища. Такі задачі рекомендовано проводити на кожному етапі використання тієї чи іншої моделі деформування ґрунтів основи. Також необхідно відмітити і той факт, що при проведенні розрахунків висотного будинку матеріали були зібрані з різних літературних джерел, де автор (проф. Р. Катценбах) висвітлює основні результати спостережень.

Визначені експериментально

Визначені розрахунком

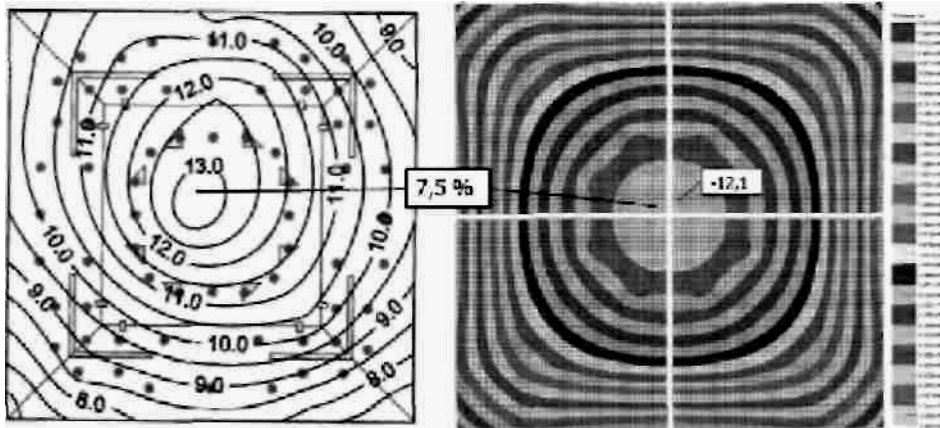


Рисунок 5 – Вертикальні деформації фундаментної плити, см

Визначені експериментально

Визначені розрахунком

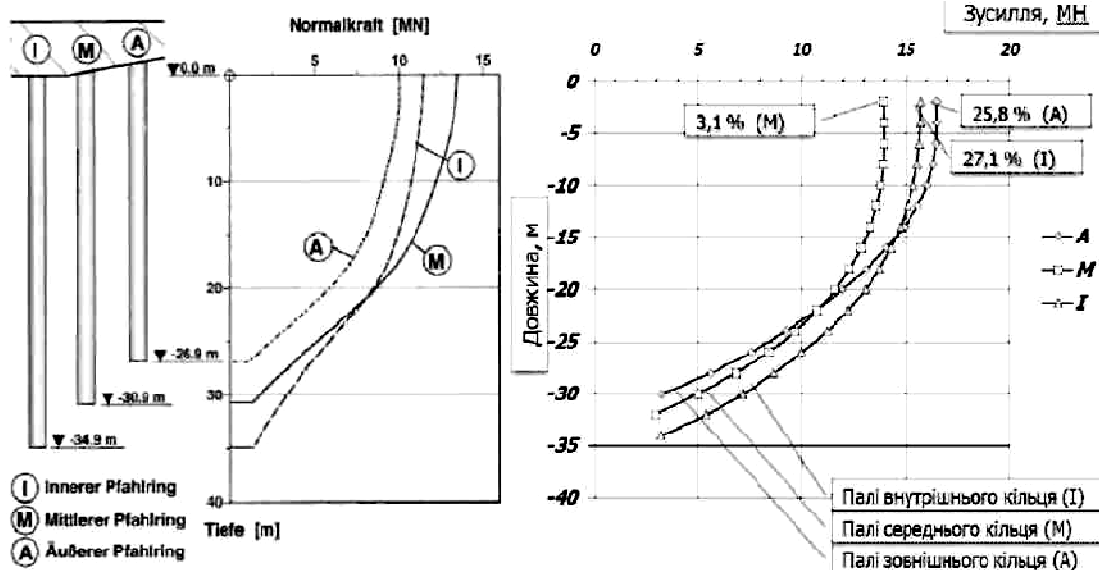


Рисунок 6 – Зусилля по довжині паль

Як відомо, в комбіновано-плитно-пальовому фундаменті з великою кількістю паль розподіл навантажень між плитою та палями в центральних та периферійних частинах плити суттєво відрізняються від пальового фундаменту без плит [4, 5]. У периферійній частині плити палі несуть більші навантаження, ніж у центральній частині (рис. 6), причому ця закономірність залежить від відносної відстані між палями. Такий перерозподіл зусиль у палях підтверджується і при дослідженнях, приведених у даній роботі. Аналіз зусиль при чисельних розрахунках, які виникають по довжині паль, показує, що перерозподіл відбувається відповідно до експериментальних даних з деякими відхиленнями. Деякі неточності пояснюються відсутністю повної вихідної інформації та характеру завантаження будівлі в процесі будівництва.

При порівнянні вертикальних деформацій фундаментної плити (рис. 5) встановлено, що характер їх перерозподілу при чисельному моделюванні ідентичний натурним вимірюванням, а значення максимальних переміщень знаходяться в межах 7,5 %. Цей факт говорить про високу збіжність результатів розрахунків з натурними експериментами при використанні прийнятої моделі деформування ґрунтового середовища.

Висновки

- У результаті проведених досліджень встановлено, що вертикальні деформації, визначені за розробленою методикою, узгоджуються з експериментальними даними, розбіжність у результатах не перевищує 10 %.
- Розподіл зусиль у палях внутрішнього кільця, визначених шляхом чисельного моделювання, відрізняється до 27 %, що пов'язано з характером завантаження, проміжні дані в друкованих матеріалах не приведені. Зусилля в палях середнього кільця узгоджуються з експериментальними даними (розбіжність у межах 5 %).
- Проведення експериментальних досліджень та організація моніторингу під час зведення висотних будинків дозволяє приймати надійні рішення при проектуванні і контролювати дані чисельних розрахунків.
- Установлено, що використання прийнятої методики чисельного моделювання та перевірка отриманих результатів згідно з експериментальними даними забезпечить розроблення раціональних розмірів фундаментних конструкцій та сприятиме економії ресурсів для зведення будівель.

Використана література

1. Бартоломей А. А. Расчет и проектирование свай и свайных фундаментов / А. А. Бартоломей // Т. II Всесоюзной конф. – Пермь, 1990. – С. 7-13.
2. Бойко І. П. Особливості взаємодії польових фундаментів під висотними будинками з їх основою / І. П. Бойко // Основи і фундаменти: Міжвідомчий наук.-техн. зб. – Вип. 30. – 2006. – С. 3-8.
3. Долматов Б. И. Проектирование свайных фундаментов в условиях слабых грунтов / Б. И. Долматов, Ф. К Лапшин, Ю. В. Россихин. – Л: Стройиздат, 1975. – 240 с.
4. Пилягин А.В. О взаимном влиянии свай / А.В. Пилягин // Механика грунтов, основания и фундаменты. Докл. К ХХУП науч. конф. ЛИСИ. – Л.: ЛИСИ, 1968. – 90 с.
5. Підлуцький В. Л. Перерозподіл зусиль у польовому фундаменті при влаштуванні паль різної довжини / В.Л. Підлуцький // Основи і фундаменти: Міжвідомчий науково-технічний збірник. - Вип. 30. – К: КНУБА, 2006. – С. 77-83.
6. Катценбах Р. Последние достижения в области фундаментостроения высотных зданий на сжимаемом основании / Р. Катценбах // Весник МГСУ. – 2006. – Вип. 1. – С. 105-118.
7. Титко О. В. Оцінка ефективності фундаментів з групи взаємозалежних паль: монографія / О. В. Титко – Вінниця: ВНТУ, 2007. – 114 с.
8. 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). – С-Пб.: Стройиздат, 2007. – С. 16-19.

Титко Олег Васильович – кандидат технічних наук, доцент кафедри теплогазопостачання, Вінницького національного технічного університету.

Титко Олег Васильевич – кандидат технических наук, доцент кафедры теплогазоснабжения Винницкого национального технического университета.

Tytko Oleg – Ph.D., assistant professor of Gas Supply, Vinnytsia National Technical University.