



ЖУК ВЕРОНІКА ВОЛОДИМИРІВНА

Асистент кафедри основ і фундаментів Київського національного університету будівництва і архітектури. Науковий співробітник лабораторії числових методів в геотехніці Київського національного університету будівництва і архітектури. Член Українського товариства механіки ґрунтів, геотехніки і фундаментобудування.

Основні напрямки наукової діяльності: дослідження взаємовплива елементів системи «каркасна будівля – фундамент – нерівномірно просідаюча лесова основа».

Автор 12 наукових статей.

E-mail: oif@knuba.org.ua



КОРНІЄНКО МИКОЛА ВАСИЛЬОВИЧ

Кандидат технічних наук, професор Київського національного університету будівництва і архітектури. Член президії Українського товариства механіки ґрунтів, геотехніки і фундаментобудування. Дійсний член Академії будівництва України.

Основні напрямки наукової діяльності: розроблення приладів і методик дослідження властивостей просідаючих лесових ґрунтів при статичному та динамічному навантаженні, методів розрахунку фундаментів неглибокого закладання та пальових фундаментів на лесових основах.

Автор понад 160 наукових статей.

E-mail: oif@knuba.org.ua

УДК 624.15 : 624.131.23

ПРО ПОКРАЩЕННЯ РОЗРАХУНКОВИХ СХЕМ КАРКАСНИХ БУДІВЕЛЬ НА ПРОСІДАЮЧИХ ГРУНТАХ

Ключеві слова: нерівномірні деформації, каркас, просідання, лесові ґрунти, числове моделювання.

В статті наведено рекомендації щодо числового моделювання взаємовпливу елементів системи «просідаюча основа – фундамент – надземна частина будівлі» для підвищення надійності експлуатації каркасних споруд в умовах нерівномірних деформацій.

В статье приведены рекомендации по численному моделированию взаимного влияния элементов системы «просадочное основание – фундамент – надземная часть здания» для повышения надежности эксплуатации каркасных сооружений в условиях неравномерных деформаций.

This article provides recommendations for the numerical simulation of the influence of the elements of system "collapsible base - foundation - aboveground part of the building" to increase the reliability of frame constructions in the conditions of non-uniform deformation.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими практичними завданнями. Проектування фундаментів будівель і споруд на просідаючих ґрунтах ведеться за вимогами ДБН [1, 2]. При цьому додаткові сучасні вимоги до забезпечення надійності основ і фундаментів наведено в інших нормах [3]. В цілому підвищені вимоги до надійності нормальної експлуатації будівель і споруд в цих нормах співпадають з вимогами європейських норм. Проте в європейських нормах [4] проектування на лесових ґрунтах окремо не розглядається. Більше того, в цих та інших європейських нормах прямо не враховується параметри просідання ґрунтів: ε_{st} , p_{st} , w_{st} .

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Досвід експлуатації будівель і споруд показує, що уникнути деформування основи при замочуванні лесових ґрунтів не вдається. В значній мірі це залежить від низького рівня визначення параметрів просідання, так що поставлене питання в ДБН про визначення $S_{sl,g}$ і $S_{sl,p}$ за результатами лабораторних випробувань залишається наближеним. Добре відомо, що розрахункове значення $S_{sl,g} = 5 \dots 25$ см дуже часто в натурних умовах не підтверджується [5]. З іншого боку розрахункові схеми, наведені в нормах [2], як показує досвід, не в повній мірі відповідають сучасним вимогам проектування будівель і споруд на просідаючих ґрунтах.

Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми, яким присвячується стаття. Застосована модель лесового ґрунту з перемінним модулем для розв'язання геотехнічних задач засобами числового моделювання на базі автоматизованої системи наукових досліджень (АСНД) «VESNA» для будівель на просідаючих ґрунтах дає можливість отримати якісну і кількісну характеристику НДС ґрунтового масиву в основі фундаментів каркасних будівель. При цьому, для споруд в умовах нерівномірних деформацій, спричинених зміною гідрогеологічної ситуації або інших факторів, з'являється можливість прослідкувати розвиток зони просідання в процесі зміни характеристик ґрунту. В той же час, виконання варіаційних розрахунків зі зміною положення та розмірів зони водонасичення, відкриває можливість альтернативного пошуку найнебезпечнішого стану ґрунтової основи.

Мета роботи. Рекомендації щодо варіаційних розрахунків для пошуку найнебезпечнішої комбінації внутрішніх зусиль в несучих елементах каркасу з використанням числового моделювання роботи каркасних будівель в умовах нерівномірних деформацій внаслідок водонасичення лесової просідаючої основи. Такий підхід дозволить підвищити рівень проектування будівель і споруд в умовах нерівномірних деформацій.

Виклад основного матеріалу. З метою аналізу діючих розрахункових схем було використано числове моделювання спільної роботи будівель з ґрунтовою основою на базі АСНД «VESNA».

Модифікована пружно-пластична модель ґрунтового середовища В.О.Сахарова-І.П.Бойка [6], яка ґрунтується на врахуванні структурної міцності ґрунту та поєднанні критеріїв Мізеса-Шлейхера-Боткіна, Кулона-Мора та дилатансійних співвідношень Ніколаєвського, була доповнена залежностями, що характеризують поведінку лесових супісків та суглинків під навантаженням у природному та водонасиченому стані. Це забезпечило можливість виконувати розрахунки взаємодії споруди з нерівномірно просідаючою ґрунтовою основою з

врахуванням можливого замочування лесового ґрунту внаслідок зміни гідрогеологічної ситуації або впливу техногенних факторів та отримати якісну і кількісну характеристику напружено-деформованого стану ґрунтового масиву в основі фундаментів каркасних будівель.

Запропонована модель для лесових ґрунтів [7] характеризується двома модулями та границею напружень. Для характеристики особливостей поведінки просідаючих ґрунтів під навантаженням були побудовані залежності модуля деформації та коефіцієнта Пуассона від ступеня вологості ґрунту для зразків лесових супісків та суглинків м. Києва та Київської області, спираючись на результати обробки експериментальних даних. Таким чином, напружений стан ґрунту описується залежністю (1):

$$\sigma = f(E, \rho, v, p, p_{str}), \quad (1)$$

де E – модуль деформації ґрунту, який приймається для лесового ґрунту в природному стані згідно залежності (2), у водонасиченому – (3), ρ – щільність ґрунту, v – коефіцієнт Пуассона ґрунту, p , p_{str} – вертикальний тиск та граничне значення тиску відповідно.

$$E_n = f(\rho, e_0, m_0, E_d); \quad (2)$$

$$E_{sat} = f(\rho, w_{sat}, E_{d,sat}), \quad (3)$$

де ρ – щільність ґрунту, e_0 – початковий коефіцієнт пористості ґрунту, m_0 – коефіцієнт стисливості ґрунту, E_d – модуль деформації ґрунту, w_{sat} – вологість ґрунту у водонасиченому стані, $E_{d,sat}$ – модуль деформації ґрунту у водонасиченому стані.

В якості вихідних даних для моделі прийнято: питому вагу ґрунту γ ; коефіцієнт Пуассона v ; модуль деформації ґрунту у природному E_n та у водонасиченому стані E_{sat} ; початковий тиск просідання p_{st} ; відносні деформації зразка ґрунту при навантаженні ε ; початковий коефіцієнт пористості ґрунту e_0 ; структурну міцність ґрунту p_{str} ; вологість ґрунту в природному w та водонасиченому стані w_{sat} .

Границею для зміни модуля виступають умови (4) – для замоченого стану лесової основи та (5) – для лесового ґрунту у природному стані, коли просідання під дією власної ваги не відбувається.

$$p_{str,sat} = p_{st}; \quad (4)$$

$$p_{str} > \sigma_{zg,n}, \quad (5)$$

де $p_{str,sat}$ – структурна міцність ґрунту у водонасиченому стані, p_{st} – початковий тиск просідання [2], p_{str} – структурна міцність ґрунту у природному стані, $\sigma_{zg,n}$ – природний тиск ґрунту.

При перевищенні гідростатичним тиском граничного значення тиску відбувається зміна пружного характеру роботи ґрунту на пружно-пластичний. При цьому стан ґрунту може визначатися за напівлогарифмічною компресійною залежністю (6) від поточного напруженого стану в ґрунтовому масиві. Після цього виконується коригування модуля лесового ґрунту (7) відповідно до поточного ступеня ущільнення ґрунту.

$$e_i = e_0 - m_0 \ln(p_i/p_1), \quad (6)$$

де e_0 – початковий коефіцієнт пористості ґрунту,

$m_0 = (e_1 - e_2) / (p_2 - p_1)$ – коефіцієнт стисливості ґрунту, p_2, p_1 – вертикальний тиск, що приймається рівним 0,1 МПа та поточним напруженням відповідно:

$$E_i = (-5,7143 e_i + 12,738) k_E, \quad (7)$$

де e_i – поточний коефіцієнт пористості ґрунту, що визначається на кожному кроці розрахунків по навантаженню для поточного тиску в ґрунті ушкоджено, k_E – коефіцієнт пропорційності між модулем деформації та модулем, що визначається для початкового коефіцієнта пористості ґрунту.

Числове моделювання з використанням запропонованої моделі з перемінним модулем дає можливість врахувати взаємодію каркасної будівлі з основою, ґрунти якої зазнають зміни властивостей при підтопленні, при цьому можна прослідкувати розвиток деформацій основи за умови підтоплення на різних «прогнозних» ділянках основи.

В сучасних умовах каркас будівель стали доповнювати горизонтальними та вертикальними дисками жорсткості, що впливає на власну жорсткість будівлі, тому робота каркасу в умовах нерівномірних деформацій значно змінюється. Отже, будівля та просідаюча основа є системою зі зворотнім зв'язком. Вона активно впливає на величину як осідання, так і просідання: за рахунок зміни зусиль в колонах і ригелях, навантаження та деформації в основі є змінними. Тому врахування форми та жорсткості надземних конструкцій під час визначення деформацій просідання є дуже важливим.

На сьогодні, розрахункові схеми, що наведені в нормах [2], є загальними, спрощеними. Тому важливо виконати пошук таких розрахункових схем, які б враховували найгірші умови роботи каркасу при можливому замочуванні, що надасть можливість надійного забезпечення роботи будівель і споруд.

В принципі з точки зору просторової жорсткості та взаємодії з ґрунтовою основою всі будівлі можна розділити на одноповерхові (як правило виробничі) та багатоповерхові. Аналіз показав, що незважаючи на різні умови нерівномірне осідання будівлі визначається ділянками основи під різними опорами, що може характеризуватися як гнучка схема. При підвищенні поверховості каркасної будівлі роль жорсткості каркасу в перерозподілі зусиль в несучих елементах споруди зростає і умови взаємодії будівлі з основою значно змінюються.

Прийняті в нормах [2] розрахункові схеми формуються з врахуванням основних параметрів ε_{st} і p_{st} . Показник w_{st} для промислових та цивільних об'єктів фактично не використовується, так як він не є постійним за значенням і залежить від вологості ґрунту на момент випробування. Рекомендовані схеми просідання під дією власної ваги прийнято по аналогії з підроблюваними територіями. На сьогодні така схема розвитку «блюдець просідання» на практиці фактично не підтверджується через анізотропію лесової основи за пористістю та коефіцієнтом фільтрації [8]. Тому форма «блюдець» в плані не може бути аналітично чітко описаною.

При числовому моделюванні каркасних будівель в умовах нерівномірних деформацій з'являється можливість розглянути низку випадків, що можуть відбутися на практиці внаслідок впливу різних можливих чинників водонасичення просідаючих ґрунтів в основі фундаментів. Такий підхід забезпечує надійність розрахунку, але цілком залежить від вихідних даних ε_{st} і p_{st} , які на нашу

думку повинні комплексно оцінюватись за результатами лабораторних та польових досліджень, або корегуватись спираючись на дослідження [9] або узагальнення.

Проектувальник повинен максимально забезпечити надійність будівлі і недопустимість нерівномірних деформацій її основи. Для цього необхідно знайти найгірший варіант стану основи, який і буде використано при проектуванні несучих конструкцій та фундаментів будівлі. Застосування варіаційних розрахунків дозволяє значно ускладнювати можливі схеми замочування та навіть розглядати їх у комбінації.

Для альтернативного пошуку найнебезпечнішого стану ґрунтової основи каркасного будинку слід проаналізувати можливі причини та потенційні джерела замочування та розробити варіанти положення потенційних зон зволоженого ґрунту. При цьому слід враховувати розвинення зон замочування в плані (в залежності від типу джерела замочування: точкове, лінійне, площинне) та по глибині (напрямок розвинення зони водонасичення: замочування зверху або знизу). Крім того, слід враховувати можливість реалізації двох факторів одночасно: наприклад, підняття рівня ґрунтових вод та аварійне витікання з водонесучих мереж.

Розглянемо на прикладі одноповерхової каркасної будівлі на однорідному лесовому масиві, який підстиляється непросідаючими водотривкими ґрунтами (рис. 1), вплив розташування зони замочування на НДС каркасу.

Стійки каркасу розташовані з кроком 6 м та мають жорстке з'єднання з ригелями та фундаментами. Розмір b прийнято рівним 36 м. Ширина зони замочування, що розташовується під стійкою каркасу, складає 6 м.

Завантаження несучих елементів каркасу приймалося лише від власної ваги конструкцій. Для залізобетонних конструкцій каркасу характеристики матеріалів приймалися рівними: $E=30000$ МПа; $\nu=0,2$; $\rho=2,5$ т/м³.

Ґрунтова основа розглядалася як нелінійне пружно-пластичне однорідне середовище, для якого використовувалась модель ґрунту з перемінним модулем та було прийнято наступні характеристики: у природному стані: $E_{def}=10$ МПа; $E_{str}=25$ МПа; $p_{st}=410$ кПа; $\nu=0,3$; $\rho=1,87$ т/м³; $\rho_s=2,67$ т/м³; $m_0=0,34$; $e_0=0,57$; $w=0,19$; у водонасиченому стані: $E_{def,sat}=5$ МПа; $E_{str,sat}=8$ МПа; $p_{st}=110$ кПа; $\nu=0,37$; $\rho_{sat}=2,06$ т/м³; $w=0,21$.

При замочування ґрунту під крайньою колоною каркасу додаткові деформації просідання охоплюють 4 прольоти (рис. 2) та складають 0,6...8,7 мм. Зона з максимальними значеннями деформацій ґрунтової основи будівлі зміщується в бік до місця розташування джерела водонасичення (рис.3). Збільшення зусиль у стійках каркасу при цьому складає (3...5)% у порівнянні з розрахунком каркасу з ґрунтовою основою у природному стані.

Варіаційні розрахунки з переміщенням ділянок замоченого ґрунту під різними колонами [10] показали, що замочування ґрунту основи під фундаментами різних стійок каркасу спричиняє перерозподіл зусиль у несучих елементах в межах 3...4 прольотів від джерела замочування. Збільшення навантаження на окремі колони при цьому може навіть досягати 2 разів.

Застосування запропонованої методики варіаційних розрахунків шляхом числового моделювання спільної роботи каркасної споруди з ґрунтовою основою з врахуванням можливого водонасичення лесових просідаючих ґрунтів пройшла апробацію на експериментальних майданчиках м. Києва.

Аналіз взаємовпливу елементів системи «ґрунтова

основа – фундамент – надземна частина будівлі» було виконано для житлового будинку з підземним гаражем, в основі фундаментів якого лесові супіски підстеляються пісками харківської світи з прошарками суглинків. Будинок є односекційною спорудою змінної висотності каскадного типу, яка однією стіною прибудовується до існуючого будинку. З використанням запропонованої методики було виконано числове моделювання впливу від зведення новобудови з врахуванням спільної роботи з основою та існуючими будівлями прилеглої території. Розрахунки проводились в нелінійній постановці з врахуванням як фізичної, так і конструктивної нелінійності (етапи будівництва).

За результатами числового моделювання було рекомендовано влаштування додаткових заглиблених паль (рис. 4), що дозволило зменшити величину осідання ґрунту під фундаментною плитою новобудови вдвічі (порівняння за максимальним значенням осідання за умови водонасичення шару лесових супісків). Ефективність прийнятого варіанту фундаментів забезпечується надійністю експлуатації зведеної новобудови.

На іншому експериментальному майданчику за результатами числового моделювання взаємодії каркасної споруди з ґрунтовою основою було обґрунтовано перехід на плитний варіант фундаментів [11], що дало можливість отримати суттєву економічну ефективність. З метою прийняття раціонального варіанту фундаментів для будинку з монолітним залізобетонним каркасом каскадного типу в умовах міської забудови було виконано розрахунки з врахуванням можливого підтоплення ґрунтової основи в нелінійній постановці з врахуванням як фізичної, так і конструктивної нелінійності.

Аналіз результатів числового моделювання варіанту замочування основи ліворуч (з боку існуючої багатопверхової будівлі) показав зміщення зони максимального осідання в бік джерела замочування та збільшення величини осідання в центральній частині плити на 14 мм у порівнянні з розрахунком для ґрунтової основи у

природному стані. Загальне осідання ґрунту біля крайнього ряду паль існуючого будинку при цьому склало 8 мм (рис. 5).

На прикладі даного конструктивного рішення (за рахунок каскадного типу каркасу) вплив на існуючий будинок зменшується шляхом «переміщення» центру ваги новобудови в протилежний бік від існуючої споруди. Наявність захисних конструкцій підсилює цей ефект.

Отже, такий підхід альтернативного пошуку найнебезпечнішого стану ґрунтової основи будівлі може бути використаний як для обґрунтування раціонального варіанту фундаментів, так і для прийняття раціонального варіанту каркасу будинку.

Все це підтверджує актуальність напрямку покращення розрахунку фундаментів на просідаючих ґрунтах для підвищення надійності та експлуатаційної придатності при будь-яких можливих випадках замочування основи каркасної будівлі.

ВИСНОВКИ:

НДС ґрунтової основи та несучих конструкцій каркасної будівлі чутливо реагує на вплив кожного з елементів системи: власна жорсткість будівлі, конструкція та жорсткість фундаментів, потужність просідаючої товщі, положення зони замочування та її розміри, властивості лесового ґрунту тощо. Цим підтверджується необхідність детального вивчення взаємовпливу елементів системи «нерівномірно деформована основа - будівля» на стадії проектування для забезпечення надійної роботи споруди під час експлуатації в майбутньому. Такий підхід альтернативного пошуку найнебезпечнішої комбінації внутрішніх зусиль у несучих елементах каркасу будівлі дає можливість виявити критичний стан ґрунтової основи. Для будівель і споруд класу відповідальності СС3 [3] такі підходи є абсолютно надійними і співпадають з принципом альтернативного пошуку у європейських нормах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ДБН В.2.1-10-2009: Об'єкти будівництва та промислова продукція будівельного призначення. Основи та фундаменти будинків і споруд. Основні положення проектування / Мінрегіонбуд України. – Киев, 2009. – 104 с.
2. ДБН В.1.1-5-2000: Будинки і споруди на підроблюваних територіях і просідаючих ґрунтах. Частина II. Будинки і споруди на просідаючих ґрунтах. / Державний комітет будівництва, архітектури та житлової політики України. – Киев, 2000. – 94 с.
3. ДБН В.1.2-14-2009: Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ. – К.: Мінбуд України, 2009. – 32 с.
4. Eurocode 7: Geotechnical design – Part 2: Design assisted by laboratory testing. EN 1997-2:2000. European Committee for Standardization. Brussels, 2000. – 107 p.
5. Шляхи покращення розрахунку лесових просідаючих основ / М.В.Корнієнко, О.В.Пятков, Т.В.Диптан, В.В.Жук // 36. «Будівельні конструкції». – К.:НДІБК, 2004. – Вип. 61. – т.1. – С. 338 – 343.
6. Сахаров В.О. Модель нелінійного деформування ґрунтової основи для розв'язання геотехнічних задач прибудови / В.О.Сахаров // Основи і фундаменти. Міжвід. наук. – техн. зб. КНУБА, 2005. – Вип. 29. – С.8 – 19.
7. Жук В.В. Методика моделювання спільної роботи каркасної будівлі з лесовою просідаючою основою / В.В.Жук, В.О.Сахаров, М.В.Корнієнко // Основи і фундаменти: Міжвідомчий науково-технічний збірник. –К.:КНУБА – 2006. – Вип. 30. – С. 39 – 46.
8. Григорян А.А. Деформационные явления в районе цеха №7 Никопольского Южнотрубного завода / А.А.Григорян // ОФМГ. – 1983. – №3. – С. 6 – 10.
9. Корнієнко М.В. Про зменшення відносного просідання лесових ґрунтів під подошвою фундаментів неглибокого закладання за час експлуатації будівель і споруд / М.В.Корнієнко, О.В.Пятков, Т.В.Диптан // Основи і фундаменти: Міжвідомчий науково – технічний збірник. – К.:КНУБА, 2001. – Вип. 26. – С. 35 – 40.
10. Жук В.В. Реалізація методики дослідження характеру взаємодії каркасних будівель з нерівномірно просідаючою лесовою основою / В.В.Жук, М.В.Корнієнко // Основи і фундаменти: Міжвідомчий науково-технічний збірник. –К.:КНУБА – 2013. – Вип. 33.
11. Корнієнко М.В. Особливості проектування будівель каркасного типу на плитних фундаментах на ділянках щільної міської забудови в умовах підтоплення / М.В.Корнієнко, В.В.Жук, І.С.Чегодаєв // Збірник наукових праць. Серія: Галузеве машинобудування, будівництво, Полтавський національний технічний університет ім. Юрія Кондратюка. – Полтава: ПолтНТУ, 2012. – Вип. 34. – С. 123 – 130.