

ВРАХУВАННЯ ГРУНТОВОЇ ОСНОВИ, ЩО НЕРІВНОМІРНО ДЕФОРМУЄТЬСЯ, ПРИ РОЗРАХУНКУ СЕЙСМОСТІЙКОСТІ БУДІВЕЛЬ

Мар'єнков М.Г.

ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій»

Хохлін Д.О.

Київський національний університет будівництва і архітектури,
м. Київ, Україна

АНОТАЦІЯ: В статті розглянуто проблеми вибору жорсткісних характеристик основ, що нерівномірно деформуються, у сейсмічних розрахунках будівель, а також основні закономірності врахування або неврахування інерції основ у таких розрахунках.

АННОТАЦИЯ: В статье рассмотрены проблемы жесткостных характеристик неравномерно деформируемых основ в сейсмических расчетах зданий, а также закономерности учета или неучета инерции основания в таких расчетах.

ABSTRACT: The article deals with the problem of choosing stiffness characteristics of non-uniform deformations of the building bases in the seismic analysis of buildings, as well as with main regularities of the base inertia accounting in such calculations.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: будівля, основа, нерівномірні деформації, сейсмічний розрахунок.

Територія України характеризується значним розповсюдженням ділянок з особливими та складними інженерно-геологічними умовами будівництва, до яких відносять наявність просідаючих ґрунтів, карсту, підземних виробок, сейсмічної небезпеки тощо. Відповідно є важливим розвиток питань ефективного та надійного будівництва в районах їх розповсюдження. До особливо складних і слабо розвинутих належать питання будівництва за умови поєднання сейсмонебезпеки та особливих чинників, що призводять до значних нерівномірних деформацій основ, в

т.ч. побудови розрахункових схем і моделей для розрахунку їх можливого сумісного впливу на будівлі та споруди.

Для розробки ефективних інженерних прикладних методів розрахунку будівель на можливу сумісну дію сейсміки та постзусиль від значних нерівномірних деформацій проблемою є врахування в них особливостей ґрунтової основи та її впливу на розрахункову динамічну схему будівлі, що й буде розглядатися у статті.

Питання врахування основи у розрахунку на сейсмічні навантаження будівель і споруд розглядаються вже дуже довгий час. На даний момент у практиці прикладних інженерних сейсмічних розрахунків будівель використовують 3 основних підходи [1-7 та ін.]: защемлення розрахункової схеми будівлі в основі; врахування пружної піддатливості (жорсткості) основи; врахування масиву ґрунтової основи зі власною вагою у якості частини динамічної розрахункової схеми (врахування інерції основи). Найбільш адекватним варіантом в цілому [5-7 та ін.] передбачається 3-й, але на даний час його використання обмежується рядом проблем: значне збільшення обсягу та трудомісткості розрахунку з точки зору часу складання схеми та безпосередньо обчислень (навіть для сучасної техніки); суттєве підвищення ризику помилок та недоліків при складанні дуже складних і великих схем; проблеми моделювання всіх особливостей реального ґрунтового масиву для розрахунку на сейсміку, що може призвести до неконтрольованих помилок; питання вхідних даних для сейсмічного розрахунку, адже, як правило, параметри сейсмічного впливу задаються на рівні підшви фундаменту, тощо. Тому в поширеній практиці інженерних прикладних сейсмічних розрахунків будівель, в т.ч. при автоматизованій реалізації у розповсюджених програмних комплексах, використовується, як правило, врахування тільки жорсткості основи. Защемлення розрахункової схеми в основі при наявному розвитку будівельної науки та практиці повинне мати лише обмежене використання переважно для гнучких конструктивних систем або спрощених і оціночних розрахунків.

Як для варіанту врахування інерційної маси основи, так і відображення лише її піддатливості, для сейсмічних розрахунків складним є питання адекватного вибору жорсткосних параметрів ґрунту. На жаль, в нормативних та інших джерелах [1-7 та ін.] дана проблема або не розглянута взагалі, або дає занадто різноманітні та, часто, складно реалізовані у широкій практиці рекомендації розрахункового просторового скінчено-елементного моделювання будівель і споруд.

Метою статті є розгляд проблем вибору жорсткісних характеристик основ, що нерівномірно деформуються, у сейсмічних розрахунках будівель, а також деталізація основних закономірностей врахування-неврахування інерції основ у таких розрахунках.

Особливістю роботи ґрунту при його динамічних коливаннях є збільшення його модулів пружності та деформацій (до динамічних значень) у порівнянні зі статичними значеннями, що пояснюється високою швидкістю прикладення навантаження [4, 5, 8 та ін.]. При цьому відповідно збільшується й загальна жорсткість ґрунтової основи, яку слід використовувати при сейсмічних розрахунках будівель.

Згідно з [3] базовою динамічною жорсткістю основи, від якої можна розрахувати всі інші види, є вертикальна $C_z^{\text{дин}}$ (у якості показника жорсткості використаний коефіцієнт пружного рівномірного стиску основи), що має більші значення, ніж відповідна статична $C_z^{\text{стат}}$. Визначення співвідношення між ними є необхідною задачею за умови оцінки динамічної жорсткості основи на основі статичної. Важливо відмітити, що співвідношення між $C_z^{\text{дин}}$ та $C_z^{\text{стат}}$, що також можуть бути названі коефіцієнтами «постілі» основи [6, 8], є пропорційним до співвідношення динамічного та статичного модулів деформацій:

$$K = \frac{C_z^{\text{дин}}}{C_z^{\text{стат}}} = \frac{\Delta_{\text{стат}}}{\Delta_{\text{дин}}} = \frac{E_{\text{дин}}^{\text{деф}}}{E_{\text{стат}}^{\text{деф}}}, \quad (1)$$

де Δ – відповідні переміщення,
 $E^{\text{деф}}$ – модулі деформацій.

В даному випадку динамічний модуль деформацій $E_{\text{деф}}^{\text{дин}}$ може бути використаний для завдання жорсткісних параметрів скінчених елементів (СЕ) при врахуванні основи у сейсмічному розрахунку у вигляді масиву СЕ. Динамічний модуль деформацій може бути визначений експериментально або на основі загальних емпіричних залежностей. На жаль, в наявних джерелах майже завжди розглядається динамічний модуль пружності, для якого визначено велику кількість емпіричних та теоретичних залежностей, але дуже мало уваги надається відповідному модулю деформацій.

Виходом на даний час є (крім накопичення та обробки загально-відомих експериментальних даних) застосування інших показників жорсткості основи, таких як коефіцієнти «постілі» з формули (1), для яких вже визначені та прописані у нормативних документах відповідні залежності. За даними показниками за необхідності можна узагальнено оцінювати й динамічні модулі деформацій ґрунту.

З фактично реалізованих у програмних комплексах (ПК) на даний момент є метод визначення коефіцієнту K з формули (1), запропонований у ПК «МОНОМАХ-САПР» та «ЛИРА-САПР» [9]. Він визначається за простою формулою:

$$K = \sqrt{\frac{p}{p_0}}, \quad (2)$$

де p – тиск під подошвою фундаменту;

p_0 – базовий тиск 0,02 МПа.

Досвід використання даної залежності показав, що коефіцієнти K виходять занадто малими при відносно невеликому тиску на ґрунт від фундаменту (наприклад, для характерних для сейсмонебезпечних районів 4...5 поверхових будівель). Отримувані при цьому занижені значення динамічної жорсткості основи можуть пояснюватися тим, що базові коефіцієнти жорсткості для тиску 0,02 МПа мають бути більшими, ніж ті, що отримують при звичайних статичних розрахунках осідання згідно діючих норм.

Більш адекватним, експериментально обґрунтованим і нормативно забезпеченим бачиться використання формули визначення $C_z^{\text{дин}}$ (4) у діючому СНиП «Фундаменты машин с динамическими нагрузками» [3] в залежності від виду ґрунту, його статичного модуля деформацій та загальних розмірів фундаменту. Слід відмітити, що основним недоліком даного методу є неврахування різних варіантів глибини закладання фундаментів (незрозуміла ступінь впливу фактору), а також властивостей особливих ґрунтів, для яких слід би було дещо скоригувати коефіцієнт типу ґрунту b_0 .

Авторами пропонується наведена нижче методика переходу від статичних коефіцієнтів жорсткості основи $C_z^{\text{стат}}$ до динамічних $C_z^{\text{дин}}$ для сейсмічних розрахунків по аналогії з ПК «МОНОМАХ-САПР» та «ЛІРА-САПР», яка повинна давати більш точні результати у порівнянні з діючою методикою в даних ПК:

- визначають усереднене значення $C_{z,\text{сеп}}^{\text{стат}}$ по площині фундаменту;
- за формулою (4) зі СНиП «Фундаменты машин с динамическими нагрузками» [3] визначають узагальнене (усереднене) значення $C_{z,\text{сеп}}^{\text{дин}}$, яке розраховують для середніх значень коефіцієнту типу ґрунта $b_{0,\text{сеп}}$ та його модуля деформацій $E_{\text{сеп}}$ (використовують принцип розрахунку середніх значень параметрів ґрунта згідно формули (Д.13) або спрощеної (Д.10) з ДБН [10]);
- розраховують загальний коефіцієнт K співвідношення між $C_{z,\text{сеп}}^{\text{дин}}$ та $C_{z,\text{сеп}}^{\text{стат}}$ за формулою (1);
- помножують розраховані статичні коефіцієнти «постілі» в i -х СЕ на коефіцієнт K :

$$C_{z,i}^{\text{дин}} = K \cdot C_{z,i}^{\text{стат}}. \quad (3)$$

Для більшої точності (при суттєвій неоднорідності геологічної будови основи) коефіцієнт K можна визначати диференційовано з розподілом на сектори (ділянки) фундаменту, залишаючи при цьому для розрахунку у формулі загальну площу фундаменту A . Важливо відмітити, що розрахунок $C_z^{\text{дин}}$ ведеться для умовно нескінчено жорсткого штампу. Отже, при окремих фундаментах під колони, невеликій жорсткості системи

«будівля-фундамент» в вертикальному напрямі слід визначати динамічний коефіцієнт жорсткості для найбільших окремих ділянок фундаменту, в межах яких можна вважати їх жорстким штампом.

Враховуючи деякі недоліки формули визначення $C_z^{\text{дин}}$ з [3] та (2), слід розглянути інші варіанти визначення динамічної жорсткості ґрунту в залежності від непрямих величин, що можуть бути достовірно визначені експериментально при стандартних інженерно-геологічних вишукуваннях або за загально прийнятими залежностями. Серед таких непрямих показників можна виділити швидкість розповсюдження повздовжніх V_p і поперечних хвиль V_s у ґрунті, з яких за відомими теоретичними залежностями визначають динамічний модуль пружності ґрунту, а також розрахунковий опір ґрунту, який є інтегральним показником, що враховує вид ґрунту, його різноманітні фізико-механічні характеристики (від яких залежить й жорсткість ґрунту) та глибину закладення фундаменту. Швидкість розповсюдження хвиль у ґрунті визначається експериментально, в т.ч. при мікросейсморайонуванні, а також є узагальнено зібраною для різних типів ґрунтів у довідниках. Визначення розрахункового опору ґрунту є добре розробленим і нормованим.

Для підтвердження можливості використання наведених непрямих ознак для визначення динамічної жорсткості ґрунту було проведено дослідження, в якому на основі загально розповсюджених довідникових джерел [3-5, 8, 10 та ін.] визначені для порівняння необхідні характеристики для основних типів ґрунтів: статичні модулі деформацій E , щільність ρ , розрахункові опори R_0 , швидкості розповсюдження повздовжніх і поперечних хвиль, відповідно, V_p та V_s , статичні коефіцієнти «постілі» $C_z^{\text{стат}}$ та коефіцієнти пружного рівномірного стиску основи $C_z^{\text{дин}}$ та ін. необхідні проміжні параметри.

При проведенні досліджень у якості проміжних результатів був оцінений коефіцієнт K з формули (1), розрахований за формулою (2) та з використанням формули для $C_z^{\text{дин}}$ з [3]. В цілому, для середнього розглядуваного тиску під підшовою фундаменту $p = 0,125$ МПа був отриманий $K = 2,5$ за формулою (1) (за прийнятою у ПК «МОНОМАХ-САПР» та «ЛПА-САПР» методикою) та $K = 3,8 \dots 8,9$ за пропонуваною методикою в основному в залежності від типу ґрунта та площі фундаменту (вплив інших параметрів ґрунта відбувається через $C_z^{\text{стат}}$ та є незначним – в межах точності розрахунку). За практикою розрахунків пропонуваний варіант визначення коефіцієнту K дають значно більш точні результати щодо періодів коливання будівель (у порівнянні з фактично вимірюваними) при відносно невеликих тисках під підшовою фундаменту.

Отримано загальні залежності $C_z^{\text{дин}}$ від динамічних модулів пружності $E_{\text{пруж}}^{\text{дин}}$, визначених безпосередньо від швидкості повздовжніх V_p і поперечних V_s хвиль у ґрунті (рис. 1); а також $C_z^{\text{дин}}$ від R_0 (рис. 2).

Для обох залежностей отримано коефіцієнти детермінації моделі $R^2 = 0,56 \dots 0,61$, відповідні коефіцієнти кореляції $R = \sqrt{R^2} = 0,75 \dots 0,78$, що означає «високу» силу зв'язку між даними та прийнятну якість моделі (за співвідношенням Чедока). При розділі залежностей за видами ґрунту розглянуті коефіцієнти майже у всіх випадках збільшуються аж до максимальних значень $R = \sqrt{R^2} = 0,986$. Отже, отримані дані дозволяють зробити висновок про можливість використання для визначення динамічних коефіцієнтів жорсткості основи $C_z^{\text{дин}}$ динамічних модулів пружності $E_{\text{пруж}}^{\text{дин}}$, визначених безпосередньо від швидкості повздовжніх і поперечних хвиль у ґрунті (V_p та V_s), а також від розрахункового опору R_0 . Наведені на рис. 1 та 2, а також відповідні деталізовані за видом ґрунту залежності повинні уточнюватися на основі експериментальних даних, що в т.ч. отримують для різних глибин закладення фундаменту, але на даний момент можуть попередньо використовуватися для оцінки динамічної жорсткості ґрунту.

Окремо приділено увагу особливим ґрунтам на прикладі лесових просідаючих. Аналогічно як для звичайних (рис. 1 та 2) побудовані залежності $C_z^{\text{дин}}$ від $E_{\text{пруж}}^{\text{дин}}$ та R_0 . Аналіз результатів показав, що, не дивлячись на загальне віднесення лесових порід до супісків та суглинків, застосування залежностей для даних ґрунтів можуть давати значну розбіжність у визначенні $C_z^{\text{дин}}$ до 2 та більше разів у бік збільшення при ступені вологості $S_r \geq 0,5$. Отже, для особливих ґрунтів залежності слід уточнювати на основі експериментальних даних, а до того часу використовувати загальні зі зменшенням визначених $C_z^{\text{дин}}$ в 2 рази при суттєвій вологості ($S_r \geq 0,5$).

Реалізацію моделювання основи у скінчено-елементних моделях будівель пропонується виконувати або шляхом завдання її підвищеної пружної жорсткості, або шляхом створення масиву спеціальних скінчених елементів ґрунту. Обидва способи мають ряд переваг та недоліків, але перспективну перевагу надають другому способу, використання якого в динамічних моделях стримується слабкою розробленістю питання вибору адекватних динамічних характеристик ґрунту.

Для експериментального підтвердження та уточнення жорсткості основи можуть бути застосовані заміри коливань будівлі по висоті та відповідні незалежні коливання ґрунту основи. Їх результати на основі використання передаточних функцій [11 та ін.] можуть бути переведені у коефіцієнти жорсткості та демпфування основи. Для цього необхідно визначити наступні дані: записи горизонтальних коливань ґрунту, фундаменту та зосереджених надфундаментних мас: $u_{\text{гр}}(t)$, $u_{\text{ф}}(t)$, $u_{\text{нф},j}(t)$; загальні маси фундаменту та надфундаментних конструкцій $M_{\text{ф}}$ та $M_{\text{нф},j}$. На основі системи деформаційних та інтегральних рівнянь сумісних

гармонічних коливань споруди й основи [11] авторами отримані та використовуються наступні формули.

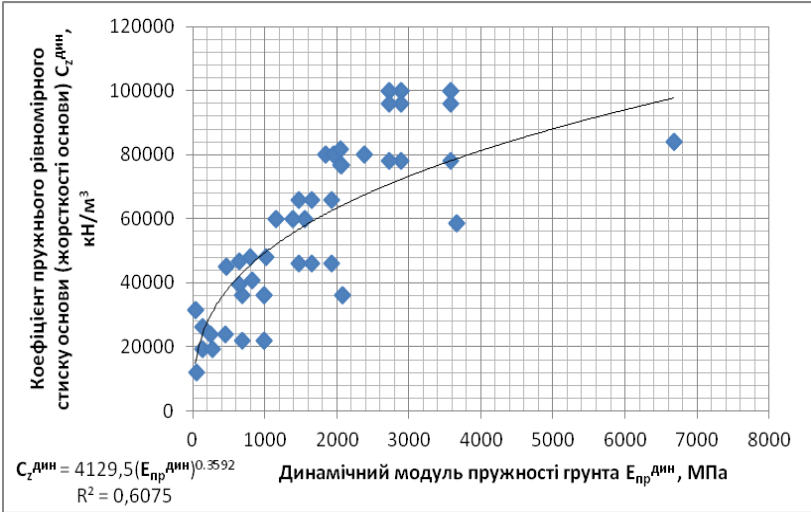


Рис. 1. Отримана загальна залежність коефіцієнту пружного рівномірного стиску основи від динамічного модулю пружності ґрунту

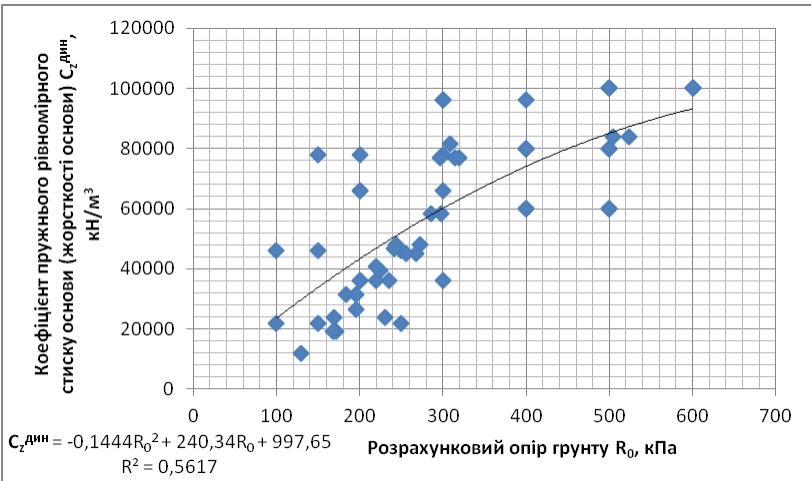


Рис. 2. Отримана загальна залежність коефіцієнту пружного рівномірного стиску основи від розрахункового ґрунту

Дійсна частина передавальної функції:

$$f_1(\omega) = \frac{1}{M_\phi \omega^2} \cdot \frac{Q^2 + R^2 + S(Q-1) - Q + R \cdot T}{(Q+S)^2 + (R+T)^2}. \quad (4)$$

Уявна частина передавальної функції:

$$f_2(\omega) = \frac{1}{M_\phi \omega^2} \cdot \frac{T(Q-1) - R(S+1)}{(Q+S)^2 + (R+T)^2}, \quad (5)$$

де (в формулах (4) та (5) параметр кутової частоти ω для Q та R для спрощення позначень не наведений):

$$Q(\omega) - i \cdot R(\omega) = \frac{u_\phi(i\omega)}{u_{zp}(\omega)}, \quad (6)$$

$$Q_j(\omega) - i \cdot R_j(\omega) = \frac{u_j(i\omega)}{u_{zp}(\omega)}, \quad (7)$$

$$S = \left(\sum_{j=0}^n M_{\text{нфк},j} \cdot Q_j(\omega) \right) / M_\phi, \quad (8)$$

$$T = \left(\sum_{j=0}^n M_{\text{нфк},j} \cdot R_j(\omega) \right) / M_\phi, \quad (9)$$

Згідно формул (6) та (7) значення дійсних і уявних частин $Q(\omega)$, $R(\omega)$, $Q_j(\omega)$ та $R_j(\omega)$ визначають на основі методів спектрального аналізу інструментальних записів $u_{\text{гр}}(t)$, $u_\phi(t)$, $u_{\text{нфк},j}(t)$.

Значення жорсткостей (відповідно, горизонтальної та вертикальної) та демпфування визначають за формулами:

$$K_x(\omega) = \frac{f_1(\omega)}{f_1^2(\omega) + f_2^2(\omega)}, \quad (10)$$

$$K_z(\omega) = \frac{K_x(\omega)}{0,7}, \quad (11)$$

$$B_x(\omega) = \frac{-f_2(\omega)}{\omega(f_1^2(\omega) + f_2^2(\omega))}. \quad (12)$$

Перехід від нерівномірного розподілу коефіцієнтів «постілі» основи до загального коефіцієнту жорсткості відбувається за формулою:

$$K_z = \sum C_{zi} \cdot A_i, \quad (13)$$

де C_{zi} та A_i відповідно, коефіцієнт «постілі» i -ї ділянки фундаменту та площа даної ділянки.

У ПК «ЛІРА-САПР 2012» виконано розрахунковий експеримент-моделювання з використанням спектрального методу, який у простий спосіб та узагальнено дозволив визначити основні відмінності при врахуванні-неврахуванні інерційних властивостей (маси) ґрунтової основи. При цьому розглянуто наступні варіанти властивостей споруди (її розміри в плані – 12х12 м): жорстка – з цегляними стінами з сумарною товщиною 1,4 м в одному напрямку, гнучка – каркасна з 9 залізобетонних колон 400х400 мм; поверховість: 1, 3, 5; вага ґрунтової основи: враховується або не враховується; товщина стискаємої товщі ґрунту: 5,5...7,5 м в залежності від ваги будівлі; габарити враховуваного ґрунтового масиву в плані: 14,0...14,5 м (розповсюдження хвиль у ґрунті не розглядається, отже врахований обсяг ґрунту, до якого безпосередньо передаються вертикальні навантаження від будівлі). Модулі деформацій: цегляних стін $E_{цс}=2400000$ кН/м², залізобетонних колон $E_{зб}=30000000$ кН/м², ґрунту основи $E_{гп}=10000$ кН/м² (враховано збільшення модулю для динамічної схеми). Всі частини розрахункової моделі представляють собою стрижньові елементи, для яких враховуються, крім згинальних, також й зсувні деформації. Каркас з 9 колон приведений до стрижня з квадратним перерізом, еквівалентним за згинальною жорсткістю, яка є переважаючою для гнучких конструктивних систем; цегляна будівля – до коробки зі стінками 0,7 м. Граничні умови схем: нижній вузол (низ стискаємої товщі) – защемлений, горизонтальний коефіцієнт пружності ґрунту навколо враховуваного масиву основи – 40000...60000 кН/м³. Навантаження від фундаменту, перекриттів і покриття прикладені зосереджено у вузлах стрижня на відповідних рівнях.

Для основних форм коливань врахування маси основи передбачувано збільшує їх періоди (до 36% для одноповерхової жорсткої будівлі). При цьому при збільшенні поверховості та відповідної гнучкості різниця у величинах періодів коливань, як правило, зменшується. Точність визначення загальних зусиль при неврахуванні маси основи при збільшенні поверховості змінюється різнонаправлено для жорстких та гнучких будівель: для жорстких погіршується (з 4% при 1 поверсі до 17...21% при 3...5 поверхах), для гнучких – навпаки (з 19 % для одноповерхової до 1...11% для 5-ти поверхової).

Проведений розрахунковий експеримент показав, що неврахування маси ґрунту основи (тільки його жорсткості) може призводити до суттєвої зміни динамічних характеристик моделі будівлі (збільшення до 36% періодів перших форм коливань). При цьому визначення загальних зусиль є більш точним (похибка не перевищила 21% зниження зусилля). Загалом, інерційні властивості основи найменше впливають на динамічні характеристики розрахункової системи гнучких багатоповерхових будівель, для

яких вони можуть не враховуватися для інженерних прикладних розрахунків стандартним спектральним методом.

Таким чином, в статті запропонована більш точна методика визначення збільшення жорсткості основи для сейсмічного розрахунку стандартним спектральним методом замість реалізованої у ПК «МОНОМАХ-САПР» та «ЛІРА-САПР». Також показана можливість альтернативного визначення динамічної жорсткості основи в залежності від швидкості розповсюдження повздовжніх і поперечних хвиль у ґрунті та розрахункового опору ґрунту. Оцінка та уточнення динамічної жорсткості основи також може бути проведено експериментально на об'єкті з розрахунковим використанням передаточної функції системи «основа-фундамент-будівля», в т.ч. на основі запропонованих авторами рівнянь. Реалізацію моделювання основи у скінчено-елементних моделях будівель виконують або шляхом завдання її підвищеної пружної жорсткості, або шляхом створення масиву спеціальних скінчених елементів ґрунту. Виконано розрахунковий експеримент-моделювання, який у простий спосіб та узагальнено дозволив визначити основні відмінності при врахуванні-неврахуванні інерційних властивостей (маси) ґрунтової основи.

ЛІТЕРАТУРА

1. Будівництво у сейсмічних районах України: ДБН В.1.1 – 14:2014 / науковий керівник Ю.І. Немчинов. - [Чинні від 2014-10-01]. – К.: Мінрегіон України, 2014. - VI, – 110 с. – (Будівельні норми України).
2. Будинки і споруди на підроблюваних територіях і просідаючих ґрунтах: ДБН В.1.1-5-2000. – [Чинні від 2000-07-01]. – К.: Державний комітет будівництва, архітектури та житлової політики України, 2000. – 87 с.
3. Фундаменты машин с динамическими нагрузками: СНиП 2.02.05-87. – [Введ. 01.07.88]. – М.: Стройиздат, 1987. – 48 с.
4. Савинов О.А. Современные конструкции фундаментов под машины и их расчет / О.А. Савинов. — Л.: Стройиздат. Ленингр. отд-ние, 1979. – 200 с.
5. Бирбраер А.Н. Расчет конструкций на сейсмостойкость / А.Н. Бирбраер. – СПб.: Наука, 1998. – 255 с.
6. Городецкий А.С. Компьютерные модели конструкций / А.С. Городецкий, И.Д. Евзеров. – К.: Факт, 2007. – 394 с.
7. Банах В.А. Розвиток статико-динамічних розрахункових моделей будівель і споруд у складних інженерно-геологічних умовах: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. техн. наук: спец. 05.23.01 «Будівельні конструкції, будівлі та споруди» / В.А.Банах. – Дніпропетровськ, 2013. – 38 с.
8. Основания и фундаменты. Ч. 2. Основы геотехники: учебник / [Б.И. Далматов, В.Н. Бронин, В.Д. Карлов и др.; под ред. Б.И. Далматова].– М.: АСВ; СПбГАСУ, 2002. – 392 с.

9. Программный комплекс для автоматизированного проектирования железобетонных конструкций многоэтажных каркасных зданий МОНОМАХ-САПР: справочная система. – К.: ЛИРА-САПР, 2011.
10. Основи та фундаменти споруд. Основні положення проектування: ДБН В.2.1-10-2009. – [На заміну СНиП 2.02.01-83; Чинні від 01.07.09]. – К.: Укрархбудінформ: Мінрегіонбуд України, 2009. – 104 с.
11. Динамический расчет сооружений на специальные воздействия: Справочник проектировщика / [Барштейн М.Ф., Бородачев Н.М., Блюмина Л.Х. и др.; под. ред. Коренева Б.Г., Рабиновича И.М.]. – М.: Стройиздат, 1981. – 215 с.

REFERENCES

1. Construction in seismic regions of Ukraine: State building codes B. 1.1–14: 2014 / scientific chief Yu.I. Nemchinov. - [Valid from 2014-10-01]. – K.: Minregion of Ukraine, 2014. - VI, – 110 p. – (Building norms of Ukraine).
2. Buildings and structures on undermined territories and slumping soils: State building codes V.1.1-5-2000. – [Valid from 2000-07-01]. - Kyiv: Minregion of Ukraine [in Ukrainian], 2000. – 87 p.
3. Foundations for machines with dynamic loads: SNiP 2.02.05-87. - [Valid from 1988-07-01]. - Moscow: Strojizdat [in Russian], 1987. – 48 p.
4. Savinov O.A. Modern constructions of foundations for machines and their analysis / Savinov O.A. - Leningrad: Strojizdat [in Russian], 1979. – 200 p.
5. Birbraer A.N. Seismic analysis of structures / Birbraer A.N. - Saint Petersburg: Nauka [in Russian], 1998. - 255 p.
6. Gorodeckij A.S. Computer models of structures / Gorodeckij A.S., Evzerov I.D. – Kyiv: Fakt [in Russian], 2007. -394 p.
7. Banakh V.A. Development of static-dynamic calculation models of buildings and structures in difficult engineer-geological conditions / Banakh V.A. // Extended abstract of Doctor's thesis. - Dnipropetrovsk: PSACEA, 2013. – 38 p.
8. Soil bases and foundations. Soil mechanics / [Dalmatov B.I., Bronin V.N., Karlov V.D. et al.] - Moscow: ASV; SPbGASU, 2002. - Vol. 2. – 392 p.
9. Software for analysis & design of reinforced concrete multi-storey buildings: help system. - Kyiv: LIRA-SAPR [in Russian], 2011.
10. Ground and foundations structures. General design rules: DBN V.2.1-10-2009. – [Valid from 2009-07-01]. - Kyiv: Ukrarkhбудінформ: Мінрегіонбуд of Ukraine [in Ukrainian], 2009. – 104 p.
11. The dynamic analysis of structures for special effects: Designer handbook / [Barshtejn M.F., Borodachev N.M., Bljumina L.H. et al.]. - Moscow: Strojizdat [in Russian], 1981 – 215 p.

Стаття надійшла до редакції 07.08.2015 р.