

## **ВПЛИВ ЗНАЧНИХ НЕРІВНОМІРНИХ ДЕФОРМАЦІЙ НА ДИНАМІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ КАМ'ЯНИХ БУДІВЕЛЬ**

Мар'єнков М.Г.

Державне підприємство «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», м. Київ, Україна

Хохлін Д.О.

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

**АНОТАЦІЯ:** В статті розглянуті питання визначення параметрів скінчено-елементних моделей кам'яних будівель для динамічних розрахунків, що зазнали значних нерівномірних деформацій основи, в т.ч. їх динамічних характеристик, виміряних експериментально для відповідних будівель.

**АННОТАЦИЯ:** В статье рассмотрены вопросы определения параметров конечно-элементных моделей каменных зданий для динамических расчетов, подвергшихся значительным неравномерным деформациям основания, в т.ч. их динамических характеристик, измеренных экспериментально для соответствующих зданий.

**ABSTRACT:** Questions of parameters determination of finite-elements models of masonry building after substantial differential base settlements influence for dynamic analysis, including their dynamic characteristics, which were experimentally estimated for such buildings are considered.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** кам'яна будівля, основа, нерівномірні деформації, динамічні характеристики.

Територія України має суттєве розповсюдження будівельних майданчиків з особливими та складними інженерно-геологічними умовами будівництва, до яких відносять наявність просідаючих ґрунтів, підземних виробок, карсту, сейсмічної небезпеки тощо. Відповідно є актуальним розвиток питань ефективного та надійного будівництва в районах з їх розповсюдженням. До особливо складних і слабо розвинутих належать питання будівництва за умови поєднання особливих чинників значних

нерівномірних деформацій основ та сейсміки, в т.ч. побудови розрахункових моделей для розрахунку їх сумісного впливу на будівлі та споруди.

Для проведення ефективних інженерних прикладних розрахунків будівель на можливу сумісну дію сейсміки та постзусиль від значних нерівномірних деформацій необхідним є розгляд проблеми призначення параметрів розрахункових моделей деформованих будівель, базою для обґрунтування яких може бути їх експериментально визначені динамічні характеристики, що й буде розглядатися у статті.

Питання визначення параметрів розрахункових скінчено-елементних (СЕ) моделей кам'яних будівель у розрахунку на сейсмічні навантаження будівель і споруд розглядаються вже дуже довгий час. Наприклад, на даний момент у практиці прикладних інженерних сейсмічних розрахунків будівель використовують 3 основних підходи [1-7 та ін.]: врахування масиву ґрунтової основи зі власною вагою у якості частини динамічної розрахункової схеми (врахування інерції основи); врахування пружної піддатливості (жорсткості) основи; защемлення розрахункової схеми будівлі в основі. Найбільш адекватним варіантом в цілому [5-7 та ін.] передбачається 1-й, але на даний час його використання обмежується рядом проблем: проблеми моделювання всіх особливостей реального ґрунтового масиву для розрахунку на сейсміку, що може призвести до неконтрольованих помилок; 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; питання вхідних даних для сейсмічного розрахунку, адже, як правило, параметри сейсмічного впливу задаються на рівні підшви фундаменту, тощо. Тому в поширеній практиці прикладних інженерних сейсмічних розрахунків будівель, в т.ч. при автоматизованій реалізації у розповсюджених програмних комплексах, використовується, як правило, врахування тільки жорсткості основи. При цьому з'являється проблема обрання адекватних жорсткосних характеристик основи, детально розглянута з наданням пропозицій у статті авторів [8].

Іншим актуальним питанням є призначення інших параметрів моделі кам'яної будівлі, що може вплинути на результати визначення динамічних характеристик схеми: жорсткосних характеристик кладки, в т.ч. пошкодженої, враховувані статичні навантаження (маси) тощо. Стосовно жорсткосних характеристик кладки вважається вирішенням питання таким чином, як визначено в [9]. Але відкритим є питання їх визначення для пошкодженої будівлі. В даному напрямі можна зустріти лише поодинокі роботи та положення [10-12 та ін.], які стосуються визначення або ступіню підвищення періодів коливань пошкоджених кам'яних будівель після

землетрусів, або розглядають без достатньої деталізації втрату жорсткості окремих пошкоджених конструкцій. Що стосується врахування статичних навантажень (мас) для динамічних розрахунків будівель, то основними положеннями є вимоги [1], що не дають достатньо пояснень щодо призначення мас при динамічних розрахунках для відображення результатів динамічних випробувань на певний момент часу.

Метою статті є визначення особливостей параметрів СЕ моделей кам'яних будівель для динамічних розрахунків, що зазнали значних нерівномірних деформацій основи, в т.ч. їх динамічних характеристик, вимірених експериментально для відповідних будівель.

Для розгляду обрані кам'яні житлові будівлі в м. Києві по вул. Саксаганського, 70/16 (рис. 1, а) та по вул. Гончара, 67 (рис. 1, б). Дані будівлі зазнали в процесі експлуатації значних нерівномірних деформацій, пов'язаних, в першу чергу, з новим будівництвом поряд, та для яких наявна інформація щодо параметрів і характеристик їх конструктивних систем та основ, представлених в [13-15 та ін.].



Рис. 1. Кам'яні житлові будівлі, що розглядаються:  
а) по вул. Саксаганського, 70/16; б) по вул. Гончара, 67

Обидві будівлі мають подібні загальні конструктивні рішення (рис. 2): жорстку конструктивну систему з несучими кам'яними стінами та стрічковими фундаментами, з 5-ма основними надземними поверхами та які зазнали пошкоджень переважно після нового будівництва поруч.

Конструктивно будівля по вул. Гончара, 67 характеризується наступними основними параметрами: габаритні розміри в плані 81,2x13,4 м; товщина основних цегляних стін – 380...770 мм; цегляна кладка стін – порожнисті керамічні камені М100 ( $f_b=10$  МПа) та цементно-піщаний розчин М50 ( $f_m=5$  МПа); фундаменти – бутові та бутобетонні; перекриття – переважно дерев'яні по дерев'яних балках, на окремих ділянках – монолітні залізобетонні та сталезалізобетонні. За час експлуатації відбувся

ряд часткових реконструкцій та підсилень, зокрема, влаштування мансард, заміна перекриттів, підсилення окремих ділянок стін сталевими прокатними елементами, влаштування джет-паль по зовнішньому контуру збоку нового будівництва тощо. Основа – супісок пилюватий пластичної та текучої консистенції з модулем деформації  $E=7,0$  МПа.

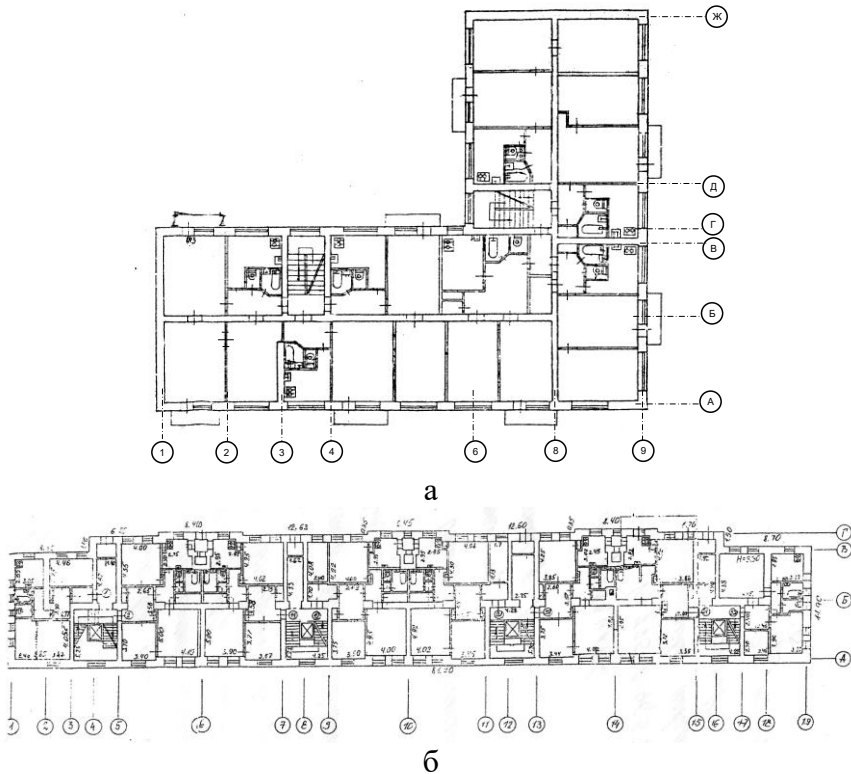


Рис. 2. Характерні плани поверхів будівель:  
 а) типовий будівлі по вул. Саксаганського, 70/16;  
 б) перший будівлі по вул. Гончара, 67

Будівля по вул. Саксаганського, 70/16 характеризується наступними основними параметрами: Г-подібна форма в плані з габаритними розмірами 29х24 м та шириною 11 м; товщина основних цегляних стін – 380...510 мм; цегляна кладка стін – рядова керамічна цегла М125 ( $f_b=12,5$  МПа) та цементно-піщаний розчин М10 та вище ( $f_m=1...2$  МПа); фундаменти – цегляні та бутові; перекриття – збірні залізобетонні та монолітні сталезалізобетонні. За час експлуатації відбулося часткове

підсилення надземної частини будівлі сталевими прокатними елементами збоку новоприбудованої будівлі з причини додаткових деформацій основи. Основа – супісок пластичний та місцями твердий з модулем деформації  $E=13,0\ldots 14,0$  МПа (ІГЕ-3,4), межа товщі ґрунту, що стискається, досягає також піску мілкого та середньої крупності, волого та насиченого водою з модулем деформації  $E=34,0\ldots 38,0$  МПа (ІГЕ-11,12).

Виконані заміри частот власних горизонтальних коливань будівель показали наступні результати: по вул. Гончара, 67 вздовж поперечної та повздовжньої осей, відповідно, 2,5...2,6 Гц ( $T=0,385\ldots 0,400$  с) та 3,3...3,5 Гц ( $T=0,345\ldots 0,357$  с); по вул. Саксаганського, 70/16 вздовж поперечної та повздовжньої осей, відповідно, 2,8...3,0 Гц ( $T=0,333\ldots 0,357$  с) та 3,3...3,5 Гц ( $T=0,286\ldots 0,303$  с).

З врахуванням всіх особливостей та характеристик розглядуваних будівель в ПК ЛИРА-САПР 2015 були реалізовані їх СЕ моделі, загальний вигляд яких представлений на рис. 3.

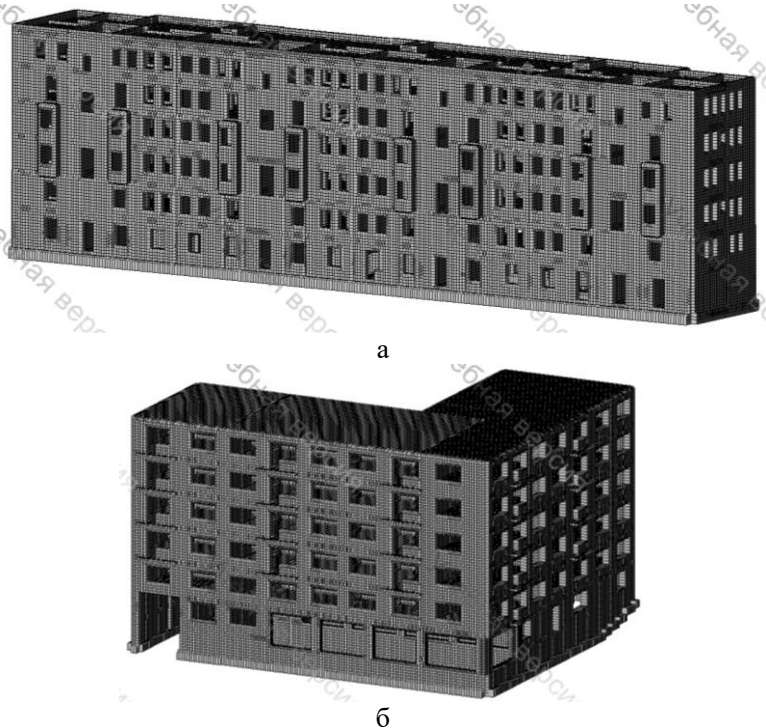


Рис. 3. Загальний вигляд СЕ моделей у 3D-вигляді:  
а) будівлі по вул. Гончара, 67 (розмір СЕ – 0,3 м);  
б) будівлі по вул. Саксаганського, 70/16 (розмір СЕ – 0,2 м)

В моделі включені лише ті конструктивні елементи, які мають суттєвий вплив на жорсткість системи, інші враховані у вигляді навантаження. Враховані характеристичні значення постійних та тимчасових статичних навантажень (крім снігових, які були відсутні). Модуль деформацій кладки початково взятий  $E=0,8E_0$  згідно [9]. Вважається, що основи є стабілізованими після завершення їх деформацій від нового будівництва.

Перший етап розрахунків виконаний на основі моделі будівлі по вул. Гончара, 67. Для оцінки впливу різних базових факторів на результати розрахунків та відповідність періодів коливань експериментальним значенням використані варіації наступних параметрів: статичні (СтЖО) або динамічні (ДнЖО) значення жорсткості основи; рівномірний (РнЖО) розподіл жорсткостей основи або зі збільшенням біля меж фундаменту (ЗбЖО); врахування горизонтальної піддатливості основи по підшві фундаменту (ВГЖО) або неврахування через закріплення в горизонтальному напрямі (БГЖО); врахування впливу джет-паль (ВДжП) та неврахування (НДжП). Узагальнені результати розрахунків наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Узагальнені результати розрахунків варіацій моделі будівлі по вул. Гончара, 67 з визначенням періодів першої форми власних коливань (в с)

Варіації моделей		СтЖО		ДнЖО	
		РнЖО	ЗбЖО	РнЖО	ЗбЖО
В поперечному напрямі					
ВГЖО	ВДжП	1,592	1,480	0,953	0,895
	НДжП	1,710	1,564	0,973	0,907
БГЖО	ВДжП	1,500	1,385	0,913	0,855
	НДжП	1,626	1,475	0,934	0,867
В повздовжньому напрямі					
ВГЖО	ВДжП	0,775	0,750	0,468	0,456
	НДжП	0,802	0,768	0,474	0,460
БГЖО	ВДжП	0,611	0,567	0,387	0,373
	НДжП	0,654	0,602	0,395	0,379

Додатково до результатів, отриманих в табл. 1, були виконані розрахунки з додатковими варіаціями моделей: защемленням в основі по підшві фундаменту; зменшення тимчасових навантажень до квазіпостійних значень; закріплення від горизонтальних переміщень по бокових поверхнях заглиблених частин фундаментів; збільшення модуля деформацій для кладки  $E$  до значення початкового модуля пружності  $E_0$ ; врахування збільшення жорсткості основи від довготривалості її

навантаження [16]. В результаті для моделі будівлі по вул. Гончара, 67 найбільш точні результати були отримані для наступних варіацій:

- в поздовжньому напрямі  $T_{\text{розр}} = 0,348$  с при наступному комплексі умов (з використанням шифрування): ДнЖО, ЗБЖО, БГЖО, ВДжП, а також зі зменшенням тимчасових навантажень до квазіпостійних значень та врахуванням збільшення жорсткості основи від довготривалості її навантаження;

- в поперечному  $T_{\text{розр}} = 0,404$  с при защемленні в основі по підшві фундаменту та збільшенні модуля деформацій для кладки Е до значення початкового модуля пружності  $E_0$ . При врахуванні підвищеної довготривалим навантаженням динамічної жорсткості основи вдалося досягти зменшення періоду до  $T_{\text{розр}} = 0,555$  с (різниця 38,8% з натурним значенням) для набору умов, врахованому для остаточного результату в поздовжньому напрямі, а також додатково закріплення від горизонтальних переміщень по бокових поверхнях заглиблених частин фундаментів та збільшення модуля деформацій для кладки Е до значення початкового модуля пружності  $E_0$ .

З врахуванням результатів, отриманих для попередньої будівлі, було звужено коло розглядуваних варіацій для моделі будівлі по вул. Саксаганського, 70/16 з обмеженням до варіантів: врахування підвищеної довготривалим навантаженням динамічної жорсткості; зменшення тимчасових навантажень до квазіпостійних значень. В результаті отримані наступні найбільш наближені до експериментальних натурних вимірювань результати:

- в поздовжньому напрямі  $T_{\text{розр}} = 0,304$  с при защемленні в основі по підшві фундаменту та збільшенні модуля деформацій для кладки Е до значення початкового модуля пружності  $E_0$ . При врахуванні підвищеної довготривалим навантаженням динамічної жорсткості основи вдалося досягти зменшення періоду до  $T_{\text{розр}} = 0,361$  с (різниця 19,1% з натурним значенням) за умови збільшення модуля деформацій для кладки Е до значення початкового модуля пружності  $E_0$ , та до  $T_{\text{розр}} = 0,351$  с (різниця 15,8%) при додатковому врахуванні закріплення від горизонтальних переміщень по бокових поверхнях заглиблених частин фундаментів.

- в поперечному напрямі  $T_{\text{розр}} = 0,332$  с при защемленні в основі по підшві фундаменту та без збільшення модуля деформацій для кладки Е. При врахуванні підвищеної довготривалим навантаженням динамічної жорсткості основи вдалося досягти зменшення періоду до  $T_{\text{розр}} = 0,401$  с (різниця 12,3% з натурним значенням) за умови збільшення модуля деформацій для кладки Е до значення початкового модуля пружності  $E_0$ , та до  $T_{\text{розр}} = 0,382$  с (різниця 7,0%) при додатковому врахуванні закріплення від горизонтальних переміщень по бокових поверхнях заглиблених частин фундаментів.

На основі аналізу виконаних розрахунків можна зробити наступні висновки.

1. Необхідні особливості врахування основи при динамічних розрахунках (без побудови масиву скінчених елементів ґрунту основи) кам'яних або інших жорстких будівель суттєво залежать від напряму дії коливання. При високій протяжності будівлі (співвідношення між довжиною та висотою конструктивної системи більше 1,5) при неглибокому закладанні фундаменту та розрахунку в довгому напрямі достатнім є, як правило, врахування підвищеної довготривалим навантаженням вертикальної динамічної жорсткості основи. При співвідношенні між габаритом в плані та висотою менше 1,0 та розрахунку в даному напрямі необхідно приділяти більшу увагу створенню ефекту защемлення будівлі в основі через врахування опору (жорсткості) ґрунту по бокових поверхнях фундаментів.

2. Обов'язковим є врахування ефектів підвищеної динамічної жорсткості основи у порівнянні зі статичними значеннями. Це підвищує точність розрахунків врахування збільшення жорсткості основи при наближенні до краю розвинутого в плані фундаменту.

3. Для динамічного розрахунку з метою відображення натурних вимірювань динамічних характеристик будівель при мікросейсмічних впливах більш точним є, як правило, застосування квазіпостійних значень тимчасових статичних навантажень, а також початкових модулів пружності матеріалів. При цьому слід уникати призначення жорсткісних параметрів конструкцій за мінімальними значеннями їх міцності, в також включати в розрахунок всі елементи, що суттєво впливають на жорсткість конструктивної системи, адже неврахування цього може відчутно збільшити періоди власних коливань у порівнянні з натурними даними.

4. Орієнтиром для необхідності корекції моделі для динамічного розрахунку має бути значне відхилення визначених розрахунком періодів власних коливань системи від типових значень, визначених натурно для аналогічних будівель.

5. Розвиток пошкоджень кам'яної будівлі від значних нерівномірних деформацій основи підвищує періоди її власних коливань. Підвищення періоду коливань відповідає зниженню жорсткості кам'яних конструкцій на 20...30% у порівнянні з непошкодженими. При цьому не слід застосовувати таке зниження жорсткісних параметрів при розрахунку у напрямі будівлі в плані, менш пошкоджене від деформацій (наприклад, поперечному), а також для повноцінно відновлених конструкцій.



## ЛІТЕРАТУРА

1. Будівництво у сейсмічних районах України: ДБН В.1.1-12:2014. – [На заміну ДБН В.1.1-12:2006; Чинні від 2014-10-01]. – К.: Укрархбудінформ: Мінрегіон України, 2014. – 110 с.
2. Будинки і споруди на підроблюваних територіях і просідаючих ґрунтах: ДБН В.1.1-5-2000. - [На заміну СНиП 2.01.09-91; 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. – [Взамен СНиП II-19-79; Введ. 01.07.88]. – М.: Стройиздат, 1987. – 48 с.
4. Савинов О.А. Современные конструкции фундаментов под машины и их расчет / О.А. Савинов. – [2-е изд., перераб. и доп. ]. – 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 док. техн. наук: спец. 05.23.01 «Будівельні конструкції, будівлі та споруди» / В.А.Банах. – Дніпропетровськ, 2013. – 38 с.
8. Мар'єнков М.Г. Врахування ґрунтової основи, що нерівномірно деформується, при розрахунку сейсмостійкості будівель / М.Г. Мар'єнков, Д.О. Хохлін // Будівельні конструкції: зб. наук. праць. – К.: ДПНДІБК, 2015. – Вип. 82. – С. 335-345.
9. Каменные и армокаменные конструкции: СНиП II-22-81. – [Взамен главы СНиП II-B.12-71; Введ. 01.01.83]. – М.: Стройиздат, 1983. – 40 с.
10. Абдурашидов К.С. Натурные исследования колебаний зданий и сооружений и методы их восстановления / К.С. Абдурашидов. – Ташкент: Фан, 1974. – 216 с.
11. Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance.
12. Попок К.В. Напрями впливу характерних дефектів і пошкоджень кам'яних конструкцій і будівель на їх сейсмостійкість / К.В. Попок // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. – Рівне: НУВГП, 2015. – Вип. 31. – С. 492-498.
13. Розроблення рекомендацій з відновлення експлуатаційних якостей деформованої конструктивної частини житлового будинку на вул. Гончара, 67 у м. Києві: Звіт про НТР (заклуч.) / ДП НДІБК. – К., 2009. – 146 с.
14. Оцінка технічного стану конструктивних елементів будинку №67 по вул. Гончара, 67 в Шевченківському районі м. Києва та розробка робочих креслень по забезпеченню подальшої експлуатаційної придатності будинку. Книга 1: Звіт про НТР / ДП НДІБК. – К., 2014. – 90 с.

15. Обследование, оценка технического состояния и разработка рекомендаций по дальнейшей эксплуатации жилого дома по ул. Саксаганского, 70/16, в г.Киеве: Отчет про НТР / ДП НДІБК. – К., 2007. – 154 с.
16. Ремонт и усиление несущих и ограждающих строительных конструкций и оснований промышленных зданий и сооружений: ДБН В.3.1-1-2002. – [Действуют с 2003-07-01]. – К.: Госстрой Украины, 2003. – 82 с.

## REFERENCES

1. Budivnytstvo u seismichnykh raionakh Ukrainy [Construction in seismic regions of Ukraine]. (2014). *DBN V.1.1-12:2014 from 1st October 2014*. Kyiv: Minrehion Ukrainy [in Ukrainian].
2. Budynky i sporudy na pidrobliuvanykh terytoriakh i prosidaiuchykh hruntakh [Buildings and structures on undermined territories and slumping soils]. (2000). *DBN V.1.1-5-2000 from 1st July 2000*. Kyiv: Derzhavnyi komitet budivnytstva, arkhitektury ta zhytlovoi polityky Ukrainy [in Ukrainian].
3. Fundamenty mashin s dinamicheskimi zagruzkami [Foundations for machines with dynamic loads]. (1987). *SNiP 2.02.05-87 from 1st July 1988*. Moscow: Strojizdat [in Russian].
4. Savinov O.A. (1979). *Sovremennyye konstrukcii fundamentov pod mashiny i ih raschet [Modern constructions of foundations for machines and their analysis]*. Leningrad: Strojizdat. Leningr. otd-nie [in Russian].
5. Birbraer, A.N. (1998). *Raschet konstrukcij na sejsmostojkost' [Seismic analysis of structures]*. Saint Petersburg: Nauka [in Russian].
6. Gorodeckij, A.S., & Evzerov, I.D. (2007). *Komp'yuternyye modeli konstrukcij [Computer models of structures]*. – Kyiv: Fakt [in Russian].
7. Banakh, V.A. (2013). Rozvytok statyko-dinamichnykh rozrakhunkovykh modelei budivel i sporud u skladnykh inzhenerno-heolohichnykh umovakh [Development of static-dynamic calculation models of buildings and structures in difficult engineer-geological conditions]. *Extended abstract of Doctor's thesis*. Dnipropetrovsk: PSACEA [in Ukrainian].
8. Marienkov, M.H., & Khokhlin, D.O. (2015). Vrahuvannia hruntovoi osnovy, shcho nerivnomirno deformuietsia, pry rozrakhunku seismostiikosti budivel [Accounting of non-uniform deformable soil base in seismic resistance analysis]. *Budivelni konstruksii – Building constructions*, 82, 335-345 [in Ukrainian].
9. Kamennyye i armokamennyye konstrukcii [Masonry and reinforced masonry structures]. (1983). *SNiP II-22-81 from 1st January 1983*. Moscow: Strojizdat [in Russian].
10. Abdurashidov K.S. (1974). *Naturnyye issledovaniya kolebanij zdaniy i sooruzhenij i metody ih vosstanovleniya [Field observations of buildings and structures and methods of their regeneration]*. Tashkent: Fan [in Russian].
11. Design of structures for earthquake resistance. *Eurocode 8*.
12. Popok, K.V. (2015). Napriamy vplyvu kharakternykh defektiv i poskodzhen kamianykh konstruksii i budivel na yikh seismostiikist [The directions of

influence of characteristic defects and damages of masonry structures and buildings on their seismic resistance]. *Resursoekonomni materialy, konstruktsii, budivli ta sporudy – Resource-saving materials, their properties and fabrication methods*, 31, 492-498 [in Ukrainian].

13. *Rozroblennia rekomendatsii z vidnovlennia ekspluatatsiinykh yakostei deformovanoi konstruktyvnoi chastyny zhytlovoho budynku na vul. Honchara, 67 u m. Kyievi: Zvit pro NTR [Development of recommendations for service performances restoring of deformed constructional part of residential building on Honchara str., 67 in Kyiv: report about scientific and technical work].* (2011). Kyiv: NDIBK [in Ukrainian].
14. *Otsinka tekhnichnoho stanu konstruktyvnykh elementiv budynku #67 po vul. Honchara, 67 v Shevchenkivskomu raioni m. Kyieva ta rozrobka robochykh kreslen po zabezpechenniu podalshoi ekspluatatsiinoi prydatnosti budynku. Knyha 1: Zvit pro NTR [Technical state inspection of structural elements of building #67 on Honchara str. in Shevchenko district of Kyiv and developing of design drawings for assurance of building operational serviceability: report about scientific and technical work].* (2014). Kyiv: NDIBK [in Ukrainian].
15. *Obsledovanie, ochenka tehnikeskogo sostojanija i razrabotka rekomendacij po dal'nejshej jekspluatatsii zhilogo doma po ul.Saksaganskogo, 70/16, v g.Kieve: Otchet pro NTR [Inspection and assessment of technical condition and developing of recommendations for further operation of residential building on Saksaganskogo str., 70/16, in Kyiv: report about scientific and technical work].* (2007). Kyiv: NDIBK [in Russian].
16. *Remont i usilenie nesushhih i ogradhajushhih stroitel'nyh konstrukcij i osnovanij promyshlennyh zdaniij i sooruzhenij [Rehabilitation and strengthening of bearing and enclosure constructions and soil bases of industrial buildings and structures].* (2003). *DBN V.3.1-1-2002 from 1<sup>st</sup> July 2003*. Kyiv: Gosstroj Ukrainy [in Russian].

Стаття надійшла до редакції 05.07.2016 р.