

УДК 699.841

**ОЦІНКА ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК БУДІВЕЛЬ ПІСЛЯ
ВПЛИВУ ЗНАЧНИХ НЕРІВНОМІРНИХ ДЕФОРМАЦІЙ ОСНОВИ**

**ОЦЕНКА ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗДАНИЙ ПОСЛЕ
ВОЗДЕЙСТВИЯ ЗНАЧИТЕЛЬНЫХ НЕРАВНОМЕРНЫХ
ДЕФОРМАЦИЙ ОСНОВАНИЯ**

**ESTIMATION OF BUILDING DYNAMIC CHARACTERISTICS AFTER
BASE SUBSTANTIAL DIFFERENTIAL SETTLEMENTS INFLUENCE**

Хохлін Д.О., к.т.н., с.н.с. (Київський національний університет будівництва та архітектури, м. Київ)

Хохлин Д.А., к.т.н., с.н.с. (Киевский национальный университет строительства и архитектуры, г. Киев)

Khokhlin D.O., Ph.D., senior researcher (Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv)

В статті розглянуті узагальнені результати частини досліджень автору щодо будівель в умовах можливого послідовного впливу значних нерівномірних деформацій основи та сейсмічних навантажень, присвячених динамічним характеристикам таких будівель після впливу деформацій основи.

В статье рассмотрены обобщенные результаты части исследований автора касательно зданий в условиях возможного последовательного воздействия значительных неравномерных деформаций основания и сейсмических нагрузок, посвященных динамическим характеристикам таких зданий после влияния деформаций основания.

Common results of part of the author's research on buildings in conditions of possible combined influence of seismic loads and base substantial differential settlements, devoted to the dynamic characteristics of such buildings after base settlements influence, are considered in the article.

Ключові слова:

Сейсміка, нерівномірні деформації, будівлі, динамічні характеристики.

Сейсмика, неравномерные деформации, здания, динамические характеристики.

Seismic, differential settlements, building, dynamic characteristics.

Територія України характеризується значним розповсюдженням особливих і складних інженерно-геологічних умов, в т.ч. сейсмічної небезпеки, просідаючих ґрунтів, підроблювання, зсувонебезпеки, карстів тощо. Отже актуальними є питання дослідження будівель і споруд в таких умовах. І землетруси, і значні нерівномірні деформації основи (ЗНДО) створюють значний навантажувальний ефект на конструктивну систему з відповідним напружено-деформованим станом (НДС) з високим ризиком руйнування конструкцій або будівель в цілому. Тому логічним є розгляд можливості небезпечного їх комбінування. Крім цього корисним і актуальним є розгляд теми оцінки зміни динамічних характеристик конструктивних систем під впливом розглядуваних деформацій з метою оцінки стану існуючих будівель або перевірки адекватності їх розрахункових моделей.

Окремі спроби розгляду впливу комбінації сейсміки та різноманітних видів ЗНДО зустрічалися на території екс-СРСР, що представлено, наприклад, в роботах [1 – 5 та ін.]. Серія досліджень [5 – 9 та ін.], проведена Київським зональним науково-дослідним інститутом експериментального проектування (КиївЗНДІЕП) з 1982 по 2009 роки з перервами була найбільш комплексною за даною тематикою. Хоча при цьому залишились нерозглянутими та нерозкритими велика кількість питань і проблем. Наприклад, інші джерела значних нерівномірних деформацій основи крім просідаючих ґрунтів, врахування нормативної заборони суміщення особливих (аварійних) впливів в одному сполученні навантажень, розробка прикладних інженерних методів розрахунку, більш ґрунтовний теоретичний розгляд проблеми та її рішень, розробка універсального комплексу заходів захисту об'єктів в залежності від їх класу відповідальності, оцінка динамічних характеристик деформованих будівель тощо. У зв'язку з цим автором проводиться комплекс досліджень з метою вирішення перерахованих прогалин, частина результатів яких представлена в даній статті.

Метою статті є розгляд частини результатів досліджень автору щодо будівель в умовах можливого послідовного впливу ЗНДО та сейсмічних навантажень, присвячених динамічним характеристикам таких будівель після впливу деформацій основи.

При виникненні ЗНДО будівель з жорсткою конструктивною системою (умовна балка-стінка на пружньо-пластичній основі) суттєві додаткові зусилля визивають розвиток та накопичення деформацій і пошкоджень конструкцій, в першу чергу, тріщиноутворення. При цьому спостерігаються явища деградації як міцності, так і жорсткості конструктивної системи [4,6,8]. Відповідно до зниження жорсткості конструкцій будуть зменшуватися й залежні від них періоди власних коливань будівлі.

Для дослідження особливостей динамічних характеристик будівель, що зазнали пошкоджень від ЗНДО та розробки додаткових рекомендацій щодо врахування основи та впливу ЗНДО у розрахунках проведені натурні вимірювання динамічних характеристик відповідних будівель у м. Києві (по вул. Саксаганського, 70/16 та по вул. Гончара, 67). Загалом отримані наступні результати щодо основної форми коливань: по вул. Гончара, 67 вздовж поперечної та повздовжньої осей, відповідно, 2,5...2,6 Гц

($T=0,385\dots0,400$ с) та $2,8\dots2,9$ Гц ($T=0,345\dots0,357$ с); по вул. Саксаганського, 70/16 вздовж поперечної та повздовжньої осей, відповідно, $2,8\dots3,0$ Гц ($T=0,333\dots0,357$ с) та $3,3\dots3,5$ Гц ($T=0,286\dots0,303$ с). Також з врахуванням всіх особливостей та характеристик розглянутих будівель в ПК ЛИРА-САПР 2015 були реалізовані їх просторові скінчено-елементні моделі.

Для додаткової оцінки отриманих натурними вимірюваннями та моделюванням динамічних характеристик досліджуваних будівель використані емпіричні залежності для основних періодів коливань з [10-14]. Для цього використані наступні параметри будівель (в дужках наведені відповідно для будівель за адресою по вул. Гончара, 67 та по вул. Саксаганського, 70/16): кількість поверхів N (5 пов., 4 пов.); висота від рівня підлоги підвалу H (21,8 м та 16,9 м); висота над основою в футах h_n (76,8 ф. та 58,7 ф.); габарит вздовж напрямку коливання b (13,4(81,2) м та 24,1(29,0) м); параметр деформованості будівлі z (1 для недеформованих будівель, >1 для деформованих ($\sim 1,5$)); коефіцієнт врахування основи $c=45/R$, де R – розрахунковий опір ґрунта основи ($c=45/160=0,28$ та $c=45/350=0,13$).

Отримані результати розрахунків представлені в таблиці 1.

Таблиця 1

Отримані періоди першої форми власних коливань будівель в сек

Будівля (напрямок вимірюв.)	Отримані періоди коливань за основною формою, с				
	Натурні вимірювання	Середні за емпіричними формулами	Середні за емпіричними формулами з врахуванням пошкоджень	Найбільш точне розрахункове з врахуванням жорсткості основи	Найбільш точне розрахункове з додатковим закріплен. основи
По вул. Гончара, 67 (повздовжня вісь)	0,345... 0,357	0,312	0,350	0,348	-
По вул. Гончара, 67 (поперечна вісь)	0,385... 0,400	0,393	0,677	0,555	0,404 (защемлення в основі та збільшення Е кладки)
По вул. Саксаганського, 70/16 (повздовжня вісь)	0,286... 0,303	0,271	0,323	0,351... 0,361	0,304 (защемлення в основі та збільшення Е кладки)
По вул. Саксаганського, 70/16 (поперечна вісь)	0,333... 0,357	0,277	0,345	0,382... 0,401	0,332 (защемлення в основі)

Аналіз проведених вимірювань та результатів скінчено-елементного моделювання будівель в ПК ЛИРА-САПР 2015 дозволив визначити наступне:

- необхідні особливості врахування основи при динамічних розрахунках (без побудови масиву скінчених елементів ґрунту основи) кам'яних або інших жорстких будівель суттєво залежать від напрямку 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.

- обов'язковим є врахування ефектів підвищеної динамічної жорсткості основи у порівнянні з статичними значеннями. Підвищує точність розрахунків врахування збільшення жорсткості основи при наближенні до краю розвинутого в плані фундаменту.

- 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, а 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.

- 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.

- 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.

Також з метою визначення ступеню впливу зменшення жорсткості основи на основні динамічні характеристики будівель (періоди коливань за першими формами) виконано розрахункове дослідження з наступною варіацією конструктивних факторів: зв'язковий монолітний залізобетонний каркас (1, 5, 10 поверхів) та жорстка цегляна (1, 3, 5 поверхів) будівлі зі стандартними архітектурно-планувальними та конструктивними (для сейсмостійких будівель [15]) рішеннями. Результати розрахунків періодів коливань моделей узагальнено та наведено у таблиці 2. При цьому використані наступні умовні позначення варіантів розподілу коефіцієнтів жорсткості: БО – без ослаблення основи, ОС – ослаблення основи під серединою фундаменту, ОТ – ослаблення основи під торцем фундаменту, Ус – ослаблення основи у вигляді провалу-уступу під торцем фундаменту.

Таблиця 2

Узагальнені результати визначення періодів коливань варіацій моделей

Констр. система	Кільк. пов.	Сер. жорст. основи	Схема ослабл. основи	Період за напрямом сейсмічного впливу та номером тону коливання						
				X1	X2	Y1	Y2	Z1	Z2	
Цегляна	1	Зменш.	БО	0,122	0,064	0,132	0,050	0,122	-	
			ОС	0,127	0,064	0,144	0,051	0,134	-	
			ОТ	0,139	0,064	0,140	0,050	0,139	-	
		Підвищ.	Ус	0,199	0,064	0,150	0,050	0,199	0,122	
			БО	0,068	0,060	0,070	0,061	0,078	0,063	
			ОС	0,068	0,060	0,080	0,072	0,081	0,064	
	3	Зменш.	ОТ	0,072	0,060	0,079	0,073	0,079	0,064	
			Ус	0,124	0,065	0,088	0,064	0,124	0,078	
			БО	0,221	0,125	0,278	0,086	0,168	-	
		Підвищ.	ОС	0,226	0,128	0,300	0,087	0,184	-	
			ОТ	0,236	0,128	0,292	0,086	0,176	-	
			Ус	0,306	0,182	0,310	0,086	0,306	0,182	
	5	Зменш.	БО	0,175	0,056	0,171	-	0,096	0,080	
			ОС	0,175	0,056	0,178	-	0,103	0,081	
			ОТ	0,177	0,056	0,177	-	0,099	0,082	
		Підвищ.	Ус	0,208	0,126	0,192	-	0,208	0,126	
			БО	0,362	0,092	0,479	0,096	0,208	-	
			ОС	0,368	0,092	0,516	0,097	0,226	-	
	3/6 каркас	1	Зменш.	ОТ	0,380	0,092	0,501	0,096	0,219	-
				Ус	0,458	0,237	0,530	0,096	0,458	0,237
				БО	0,300	0,092	0,303	0,091	0,121	0,097
			Підвищ.	ОС	0,300	0,092	0,314	0,091	0,129	0,099
				ОТ	0,304	0,092	0,312	0,091	0,125	0,099
				Ус	0,339	0,092	0,333	0,091	0,158	0,117
3/6 каркас	1	Зменш.	БО	0,103	0,046	0,115	0,049	0,102	-	
			ОС	0,107	0,046	0,126	0,049	0,111	-	
			ОТ	0,115	0,046	0,122	0,049	0,115	-	
		Підвищ.	Ус	0,047	-	0,128	0,049	0,153	0,102	
			БО	0,048	0,044	0,062	-	0,076	0,049	
			ОС	0,054	0,044	0,065	-	0,076	0,053	
	5	Зменш.	ОТ	0,056	0,044	0,064	-	0,076	0,049	
			Ус	0,049	0,042	0,069	0,069	0,093	0,076	
			БО	0,269	0,131	0,395	-	0,157	-	
		Підвищ.	ОС	0,275	0,133	0,425	-	0,172	-	
			ОТ	0,282	0,134	0,412	-	0,166	-	
			Ус	0,327	0,177	0,432	-	0,177	0,137	
	10	Зменш.	БО	0,218	-	0,255	-	0,108	0,065	
			ОС	0,221	-	0,265	-	0,111	0,084	
			ОТ	0,221	-	0,262	-	0,111	0,068	
		Підвищ.	Ус	0,240	-	0,275	-	0,125	0,107	
			БО	0,643	0,122	0,926	0,126	0,211	-	
			ОС	0,654	0,122	0,996	0,126	0,229	-	
	3/6 каркас	Зменш.	ОТ	0,664	0,122	0,968	0,126	0,222	-	
			Ус	0,735	0,122	1,012	0,126	0,245	0,190	
			БО	0,543	0,121	0,592	0,126	0,146	0,104	
		Підвищ.	ОС	0,549	0,121	0,616	0,126	0,149	0,111	
			ОТ	0,550	0,121	0,610	0,126	0,149	0,105	
			Ус	0,584	0,121	0,642	0,126	0,172	0,144	

Аналізуючи дані таблиці виявлено, що суттєве (більше 10...15%) підвищення періодів основних тонів власних коливань відбувається для малоповерхових жорстких будівель при зниженні жорсткості ділянок

основи до 65% від початкового (крім виникнення карстового або іншого провалу під торцем). При підвищенні гнучкості будівлі та для висших форм власних коливань вплив такого ослаблення є суттєво меншим або взагалі практично відсутній. Варіант з утворенням провалу під торцем будівлі (на відміну від інших розглянутих випадків нерівномірного ослаблення основи) показав значну зміну динамічних характеристик з суттєвою корекцією в багатьох випадках форм коливань, що вимагає врахування появи таких провалів у всіх випадках перевірочних розрахунків на сейсміку (у випадку відсутності тієї чи іншої термінової компенсації провалу). Хоча ступінь впливу провалу аналогічно зменшується для більш гнучких систем.

На основі викладеного вище можна зробити наступні висновки. 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. Обов'язковим є врахування ефектів підвищеної динамічної жорсткості основи у порівнянні з статичними значеннями. 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, а також включати в розрахунок всі елементи, що суттєво впливають на жорсткість конструктивної системи. 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. При використанні емпіричних формул для додаткової оцінки виконаних розрахунків періодів коливань будівель через їх моделювання рекомендується застосовувати набір наявних відповідних залежностей. Розвиток пошкоджень кам'яної будівлі від значних нерівномірних деформацій основи підвищує періоди її власних коливань, яке 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 пошкодженому від деформацій (наприклад, поперечному), а також для повноцінно відновлених конструкцій. Суттєве (більше 10...15%) підвищення періодів основних тонів власних коливань відбувається для малоповерхових жорстких будівель при зниженні жорсткості ділянок основи до 65% від початкового. При підвищенні гнучкості будівлі та для висших форм власних коливань вплив такого ослаблення є суттєво меншим або взагалі практично відсутній. Варіант з утворенням провалу під торцем будівлі показав значну зміну динамічних характеристик з суттєвою корекцією в багатьох випадках форм коливань, що вимагає врахування появи таких провалів у всіх випадках перевірочних розрахунків на сейсміку.

1. Инструкция по проектированию бескаркасных жилых домов, строящихся с комплексом защитных мероприятий на просадочных грунтах в сейсмических районах Молдавской ССР. – К.: КиевЗНИИЭП, 1982. – 43 с. 2. Матвеев И.В. Сочетание воздействий просадки оснований и сейсмики в расчетах зданий / И.В. Матвеев, В.И. Кравченко // Строительная механика и расчет сооружений. – М.: Стройиздат, 1990. – №4/1990. – С. 28-32. 3. Основы конструирования и обеспечения карсто-сейсмоустойчивости многоэтажных зданий: Учебное пособие для вузов / А. И. Сапожников. – Астрахань: АИСИ, 2001. – 108 с. 4. Банах В.А. Учет деформированной схемы зданий в расчетных моделях при расчете на сейсмические воздействия / В.А.Банах, А.В.Банах // Будівельні конструкції. – К.: НДІБК, 2006. – Вип. 64. – С. 132-139. 5. Кусбекова М.Б. Особенности проектирования объектов в сейсмических районах на просадочных грунтах / М. Б. Кусбекова // Подготовка инженерных кадров в контексте глобальных вызовов XXI века: Труды Междунар. науч.-практ. конф. (IV том). – Алматы: КазНТУ имени К.И. Сатпаева, 2013. – С. 27-30. 6. Провести научно-исследовательские работы и разработать предложения по выбору рациональных конструктивных решений в жилых зданиях, строящихся в условиях одновременного воздействия сейсмики и просадки и подготовить задание на их разработку: Отчёт о НИР (заключ.) / КиевЗНИИЭП. – К., 1984. – 91 с. – Тема № 12Б/1-Е; Арх. № 3403-0. 7. Разработка рекомендаций по обеспечению эксплуатационной надёжности эксплуатируемых и вновь проектируемых жилых зданий юго-западного микрорайона г. Измаил. Этап II, часть 2: Отчёт о НИР (заключ.) / КиевЗНИИЭП. – К., 1990. – Т.1: Рекомендации по защите эксплуатируемых жилых зданий II этапа на период их дальнейшей эксплуатации в юго-западном микрорайоне г. Измаила. – 113 с. – Тема № 271н/88; Арх. № 4743-0. 8. Хохлін Д. О. Конструктивний захист житлових будинків масових серій, що експлуатуються в умовах просідаючих ґрунтів сейсмонезбезпечних територій : дис. ...канд. техн. наук : 05.23.01 / Хохлін Денис Олексійович. – К., 2009. – 204 с. 9. Хохлін Д.О. Житлові будівлі масових серій в умовах просідаючих ґрунтів сейсмонезбезпечних територій України / Д.О. Хохлін // Сборник научных трудов «Состояние современной строительной науки – 2010». – Полтава: Полтавский ЦНТЭИ, 2010. – С. 159-167. 10. Немчинов Ю.И. Сейсмостойкость зданий и сооружений. В двух частях / Ю.И. Немчинов. – Киев: ФОРМ Гудименко С.В., 2008. – 480 с. 11. Мартемьянов А.И. Инженерный анализ последствий землетрясений 1946 и 1966 г.г. в г.Ташкенте (по материалам обследования жилых и гражданских зданий) / А.И. Мартемьянов. – Ташкент: Фан, 1967. – 198с. 12. Абдурашидов К.С. Натурные исследования колебаний зданий и сооружений и методы их восстановления / К.С. Абдурашидов. – Ташкент: Фан, 1974. – 216 с. 13. Сейсмостойкие конструкции зданий: Справочник проектировщика / [Курмаев А.М.]. – Кишинев.: Картя Молдовеняскэ, 1989. – 453 с. 14. Поляков С.В. Сейсмостойкость зданий с несущими кирпичными стенами / С. В. Поляков, С. М. Сафаргалиев. – Алма-Ата : Казахстан, 1988. - 185 с. 15. Будівництво у сейсмічних районах України: ДБН В.1.1-12:2014. – Офіц. вид. – [На заміну ДБН В.1.1-12:2006; Чинні від 2014-10-01]. – К.: Укрархбудінформ: Мінрегіон України, 2014. – 110 с.