

Денис ХОХЛІН¹,

канд. техн. наук, старш. наук. співроб.

ORCID: 0000-0002-0128-8515

Костянтин МІЛЦЬКИЙ²,

аспірант

ORCID: 0009-0008-8170-1680

¹ДП «Науково-дослідний інститут будівельного виробництва
імені В.С. Балицького», м. Київ

²Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ

ЗАСТОСУВАННЯ ОЦІНКИ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЖИТЛОВИХ І ГРОМАДСЬКИХ БУДІВЕЛЬ ДЛЯ ДІАГНОСТИКИ ТА МОНІТОРИНГУ ЇХ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ

Розглянута значна кількість проведених досліджень динамічних характеристик різного типу споруд та їх конструкцій в різному стані. Відмічено, що виділення конкретних загальнозастосовуваних значень періодів (частот) коливань, які б дозволили однозначно характеризувати стан конструктивної системи певного виду, є проблематичним, бо динамічні характеристики залежні від занадто багатьох факторів. При цьому застосування усереднених результатів достатньо великої групи різних формул експериментальних залежностей періодів коливань від основних параметрів споруди може надавати досить точне значення очікуваного періоду коливань будівлі. Важливо також оцінювати вплив можливих змін маси споруди. Визначено, що для житлових і громадських будівель вплив можливої зміни мас протягом експлуатації на частоту власних коливань може бути оцінений у приблизно 5%. У випадку вимірювання базової (стартової) частоти власних коливань добудованої, але не введеної в експлуатацію споруди, слід застосувати поправочний коефіцієнт 0,95 для порівняння з подальшими вимірюваннями вже в процесі експлуатації. Зазначено, що вимірювання характеристик горизонтальних коливань є показовими та чутливими насамперед щодо стану вертикальних несучих конструкцій, жорсткість яких найбільше впливає на період таких коливань. Вимірювання характеристик натурних коливань у горизонтальних напрямках будуть найбільш ефективними для оцінки зміни стану споруд з жорсткою конструктивною системою та рамних каркасів без вертикальних в'язів, а також параметрів вертикальних коливань великопролітних конструкцій перекриття та покриття. Згідно розглянутих досліджень зменшення частоти коливань жорстких кам'яних житлових та громадських будівель, суттєво пошкоджених деформаціями основи або землетрусом (в т.ч., аж до аварійного стану), складо приблизно 0,57...0,89 в залежності передусім від висоти будівлі та ступеня пошкодження.

На основі експериментальних даних запропоновано таблиці орієнтовних значень допустимих коефіцієнтів зниження початкової (відносно початку експлуатації) частоти власних коливань будівель громадського та житлового призначення з жорсткою конструктивною системою для категорій технічного стану та для аналогічних будівель з залізобетонною гнучкою конструктивною системою. Запропоновані подальші заходи щодо експлуатації будівлі на основі

оцінки категорії технічного стану за результатами вимірювання частот власних коливань будівлі. Запропоновано та розглянуто розвиток методів оцінювання динамічних характеристик будівель для діагностики технічного стану споруд, пошкоджених позапроектними впливами, в т.ч. удосконалення організаційно-методологічного інструментарію обстеження з метою підвищення ефективності відновлення пошкоджених об'єктів.

Ключові слова: *житлова або громадська будівля, власні коливання, частота, технічний стан, технічне обстеження, моніторинг, організаційно-методологічний інструментарій, позапроектні впливи.*

Вступ. Загальновідомим явищем у сфері сейсмостійкості є явище збільшення періоду коливань споруд за умови розвитку пошкоджень в них при землетрусів та відповідної деградації жорсткості [1]. Наочним прикладом врахування цього явища є застосування ‘pushover’ розрахунку з побудовою нелінійного графіку спектру несучої здатності споруди, що є інтегральним відображенням зменшення жорсткості конструктивної системи по мірі накопичення пошкоджень і нелінійних деформацій при збільшенні загального сейсмічного навантаження [2]. Період коливань напряму залежить від жорсткості системи споруда-основа [1]. Так само у загальному випадку жорсткість конструктивної системи та окремих конструкцій напряму залежить від їх геометричних параметрів, характеристик матеріалів та наявності пошкоджень, отже, технічного стану [3]. Таким чином, через жорсткість системи наявна пряма залежність між періодом коливань і технічним станом, що дає змогу діагностувати та проводити моніторинг узагальненого (інтегрального) технічного стану конструктивної системи шляхом виміру характеристик її власних коливань.

Метод «вільних коливань» або мікросейсмічних коливань є різновидом динамічних випробувань будівель і споруд та відрізняється від інших насамперед вимірюванням фонових або мікросейсмічних коливань будівлі та поверхні ґрунту поруч [4]. Важливими перевагами даного методу зазвичай є відносна низька трудомісткість робіт, відсутність необхідності у широкому доступі до конструкцій споруди та зручність для моніторингу стану системи «конструктивна система – основа» та її окремих складових.

Отже, актуальним є розвиток методів використання оцінки динамічних характеристик з метою діагностики та моніторингу технічного стану, в т.ч. для розширення можливостей для більш детального дослідження наслідків позапроектних впливів. Це має забезпечити системність та відтворюваність оцінки технічного стану, враховуючи специфіку руйнувань, спричинених вибуховими, ударними чи термічними навантаженнями, і розширити організаційно методологічний інструментарій технічного обстеження.

Матеріали і методи досліджень. Використання та підґрунтя методу «вільних коливань» (мікросейсмічних коливань) періодично висвітлюється у літературі [4-10] найперше в світлі динамічних випробувань найбільш відповідальних будівель і споруд з метою оцінки їх технічного стану, якості виконання будівельних робіт, а також на сейсмонезбезпечних територіях. Представлені далі узагальнення та аналіз методу «вільних коливань» виконані саме на основі наведених джерел.

Визначення закономірностей зміни жорсткостей та періодів власних коливань будівель в цілому та окремих їх конструкцій в залежності від розвитку пошкоджень дозволяє за виміряними динамічними характеристиками оцінювати ступінь

пошкодженості та ослаблення різноманітних частин в системі «будівля-основа», в т.ч. від позапроектних (ударних, вибухових, термічних тощо) впливів, а також локалізувати осередки їх розвитку. На основі особливостей загальновідомих діаграм деформування матеріалів (крім ідеально крихких) під навантаженням зрозуміло, що зниження жорсткості конструкцій є ознакою їх перевантаження, що відбулося раніше (з частковим порушенням структури матеріалу), або діючого. Можуть бути також й немеханічні пошкодження від хімічної та біологічної агресії, циклів заморожування-розморожування та інших явищ [3, 11, 12]. Дані явища зазвичай відображаються на конструкціях у вигляді втрати перерізів, внутрішніх пошкоджень та порушень мікроструктури матеріалу, що також відображається у зниженні жорсткості конструкцій. Таким чином, натурні вимірювання динамічних характеристик конструктивних систем та їх елементів є універсальним способом оцінки їх технічного стану та отримали певний розвиток в загальному організаційно-методологічному інструментарії обстеження та моніторингу будівель і споруд. При цьому важливо мати базові значення динамічних характеристик, заснованих або на попередніх стартових вимірюваннях, або на розрахунках за допомогою моделей будівлі без врахування пошкоджень і дефектів.

Поточний стан впровадження практичного використання таких вимірювань для діагностики будівель і споруд в Україні можливо відслідкувати завдяки згадуванню у будівельних нормах і стандартах. Грунтовне застосування динамічних випробувань для оцінки технічного стану можна зустріти в окремих спеціалізованих нормативних документах, наприклад, в сфері транспортного будівництва [13] чи сейсмостійкого будівництва [14]. Водночас найбільш загальні документи, що регламентують обстеження (діагностику), взагалі не згадують можливість застосування вимірювання динамічних характеристик [15] або торкаються цього досить поверхнево [3]. Отже, актуальною є розробка положень і методик вимірювання динамічних характеристик з метою широкого застосування в оцінці та моніторингу технічного стану будівель масового будівництва в умовах сучасної України, зокрема, таких як житлові та громадські, а також їх відображення у діючих нормах та стандартах.

Методи досліджень полягають у використанні аналізу загальної та спеціальної будівельної літератури та нормативних документів; узагальненні результатів натурних динамічних випробувань споруд; методів якісної та кількісної обробки отриманих результатів дослідження.

Мета роботи. Метою даної роботи є визначення особливостей застосування вимірювання динамічних характеристик житлових і громадських будівель для оцінки та моніторингу їх технічного стану та розширення організаційно-методологічного інструментарію для технічного обстеження загалом.

Виклад основного матеріалу. До сьогодні проведена значна кількість різноманітних досліджень динамічних характеристик різного типу споруд та їх конструкцій в різному стані [4-10]. Водночас слід відмітити, що виділення конкретних загальнозастосовуваних значень, наприклад, періодів коливань, які б дозволили однозначно характеризувати стан конструктивної системи певного виду, є проблематичним, адже динамічні характеристики залежні від занадто багатьох факторів (характеристики основи, фундаменту, матеріалів та геометричних параметрів конструкцій, архітектурно-планувальних рішень тощо). Наприклад, як визначено у дослідженнях, описаних в роботі [9], очікуваний період коливань однієї з досліджуваних будівель (перша форма коливань, напрям – поперек будівлі) за

експериментальними залежностями (всього використано 11 залежностей) склав 0,221...0,571 с, що складає діапазон 0,557...1,438 від відповідного середнього значення 0,397 с. Це пояснюється різноманітністю фактичних характеристик будівель та їх основ, для яких проводили вимірювання при складанні застосованих експериментальних залежностей за відносно однакових загальних габаритах. Варто відмітити, що усереднене значення розрахованих періодів коливань достатньо точно відображає фактично виміряний період коливань 0,393 с, тобто застосування достатньо великої групи різних формул експериментальних залежностей може надавати досить точне значення очікуваного періоду коливань будівлі.

Як видно з найбільш загальної формули періоду коливання одномасової (в т.ч. приведеної еквівалентної) системи (1) [1], крім жорсткості, на яку впливає технічний стан споруди, слід оцінити також вплив і можливих змін маси.

$$\omega^2 = k/m, \quad (1)$$

де $\omega = 2\pi v$ – циклічна частота коливань; v – частота коливань; k – горизонтальна жорсткість системи; m – маса системи.

Припускаючи, що постійні навантаження є умовною константою після зведення будівлі, можна оцінити діапазон зміни тимчасових статичних навантажень на основі узагальнених характеристичних значень у нормах згідно з призначенням споруди. Діапазон зміни тимчасових навантажень може бути прийнятий в межах відрізка [квазіпостійне значення, розрахункове граничне значення]. На основі значень розподілених навантажень на перекриття житлових і громадських будівель згідно [16] та приблизної постійної ваги будівлі, наприклад, з несучими залізобетонними або цегляними стінами, можна оцінити відповідний діапазон зміни маси типового поверху у межах приблизно 0,9...1,0 від суми (постійні навантаження + розрахункове граничне значення тимчасових навантажень). Це відповідає можливому впливу на результати вимірювання частоти коливань до приблизно 5% (згідно формули (1)).

Ще одним важливим фактором є те, що первинне вимірювання частоти власних коливань може відбуватися до введення будівлі в експлуатацію (але вже добудованої), тобто практично без тимчасових навантажень, що зменшує масу типового поверху в середньому приблизно на 10%, що відповідає збільшенню частоти на 5%. Отже, у випадку вимірювання базової (стартової) частоти власних коливань добудованої, але не введенної в експлуатацію споруди, даний фактор може бути врахований через поправочний коефіцієнт 0,95 для порівняння з подальшими вимірюваннями вже в процесі експлуатації. При цьому також додаткового дослідження та врахування потребує вплив таких чинників, як зменшена жорсткість конструкцій та їх вузлів, зведених невеликий термін тому, наприклад, через триваючий набір міцності бетону або будівельного розчину конструкцій, пластичні деформації тощо.

Слід зазначити, що вимірювання характеристик горизонтальних коливань є показовими та чутливими насамперед щодо стану вертикальних несучих конструкцій, жорсткість яких найбільше впливає на період таких коливань [1]. Це стіни, діафрагми та в'язі для споруд з жорсткою конструктивною системою та зв'язкових каркасів. Отже, розвиток пошкоджень у горизонтальних (прольотних) конструкціях та вертикальних конструкціях, що відіграють незначну роль при сприйнятті горизонтальних навантажень (наприклад, колонах зв'язкових каркасів), слабо впливає на зменшення частоти горизонтальних коливань та мас

відслідковуватися іншими заходами. Інакше кажучи, вимірювання характеристик натурних коливань у горизонтальних напрямках будуть найбільш ефективними та показовими для оцінки зміни стану споруд з жорсткою конструктивною системою (несучими стінами при переважній горизонтальній деформації зсуву) та рамних каркасів без вертикальних в'язів. Ефективним також має бути вимірювання параметрів вертикальних коливань великопролітних конструкцій перекриття та покриття, адже буде потребувати меншого обсягу вимірів у порівнянні з оцінкою стану відповідних конструкцій з невеликими прольотами.

При застосуванні визначення вимірювання динамічних характеристик в процесі обстеження будівель, пошкоджених позапроєктними впливами, пропонується враховувати наступні особливості, важливі для порівняння з результатами минулих вимірювань та розрахунків динамічної моделі будівлі:

- можливу суттєву зміну структури конструктивної системи (наприклад, втрату несучих конструкцій), що впливає на динамічні характеристики будівлі (в першу чергу, при створенні розрахункової динамічної моделі пошкодженої будівлі та плануванні вимірювань);

- можливу зміну (як правило, зменшення) мас на різних ділянках конструктивної системи, наприклад, фактичну відсутність частини тимчасових навантажень та власної ваги відсутніх конструкцій.

Згідно досліджень, наведених у статті [9], зменшення частоти коливань кам'яної житлової будівлі, пошкодженої значними нерівномірними деформаціями основи до аварійного стану (чи близького до нього) окремих конструкцій у порівнянні з непошкодженими, склало приблизно 0,89. Аналогічні натурні вимірювання кам'яних будівель, що зазнали пошкоджень, наведених у [10], показали зниження частоти першої форми власних коливань до стану наявності пошкоджень та деформацій (не аварійних) згідно залежності:

$$k_{\text{деф}} = 0,0092h + 0,635, \quad (2)$$

де $k_{\text{деф}}$ – коефіцієнт зниження частоти коливань при деформованому стані; h – висота будівлі (вимірювання відбувалися в межах висот 8...20 м).

Аналогічна залежність для зниження частоти першої форми власних коливань до аварійного стану:

$$k_{\text{ав}} = 0,01h + 0,49, \quad (3)$$

де $k_{\text{ав}}$ – коефіцієнт зниження частоти коливань при аварійному стані; h – висота будівлі (в тих самих межах).

В деяких формулах визначення очікуваного періоду власних коливань вплив деформованості будівлі оцінюється збільшуючим коефіцієнтом $c = 1,5$ [9], що відповідає зменшенню частоти з коефіцієнтом $1/c = 0,67$.

Подібне дослідження щодо двоповерхового рамонного залізобетонного каркасу [8], що передбачало його доведення до руйнування від коливань на сейсмоплатформі. При цьому послідовно вимірювалися частоти власних горизонтальних коливань за першими 2-ма формами, які зменшилися з 1,90 до 0,68 Гц (на момент руйнування) для першої форми ($k_{\text{ав}} = 0,36$) та з 5,59 до 2,54 Гц ($k_{\text{ав}} = 0,45$).

На основі представлених результатів можливо попередньо запропонувати таблицю орієнтовних значень допустимих коефіцієнтів зниження початкової (відносно початку експлуатації) частоти власних коливань (перша форма) будівель

громадського та житлового призначення з жорсткою конструктивною системою для категорій технічного стану згідно [3] (табл. 1) та для перших двох форм горизонтальних коливань для аналогічних будівель з залізобетонною гнучкою конструктивною системою (табл. 2). При цьому застосований певний запас (більші значення коефіцієнтів) щодо експериментальних значень.

Таблиця 1

Допустимі коефіцієнти зниження початкової (відносно початку експлуатації) частоти власних коливань будівель громадського та житлового призначення з жорсткою конструктивною системою для категорій технічного стану [3]

Категорія технічного стану	Допустимий коефіцієнт зниження частоти для будівлі висотою, м	
	≤ 8	≥ 20
Кам'яні будівлі (1-а форма коливань вздовж або поперек)		
Нормальний (справний)	$\geq 0,95$	$\geq 0,95$
Задовільний (працездатний)	$\geq 0,90$	$\geq 0,90$
Непридатний до нормальної експлуатації (обмежено працездатний)	$\geq 0,75$	$\geq 0,80$
Аварійний	$< 0,75$	$< 0,80$

Примітка: Для будівель з проміжною висотою коефіцієнти слід брати за інтерполяцією.

Таблиця 2

Допустимі коефіцієнти зниження початкової (відносно початку експлуатації) частоти власних коливань будівель громадського та житлового призначення з залізобетонною гнучкою конструктивною системою для категорій технічного стану [3]

Категорія технічного стану	Допустимий коефіцієнт зниження частоти для форм коливань вздовж або поперек	
	1 форма	2 форма
Нормальний (справний)	$\geq 0,90$	$\geq 0,90$
Задовільний (працездатний)	$\geq 0,85$	$\geq 0,85$
Непридатний до нормальної експлуатації (обмежено працездатний)	$\geq 0,70$	$\geq 0,75$
Аварійний	$< 0,70$	$< 0,75$

Наведені у табл. 1 та 2 значення є попередніми та потребують подальшої корекції й уточнення в міру накопичення нових експериментальних даних та досвіду динамічного моніторингу технічного стану будівель, а також з врахуванням, що дані коефіцієнти отримані в основному за результатами вимірів після землетрусів або динамічних випробувань, що створювали ситуацію

загального пошкодження конструктивної системи (а не окремих ділянок або конструкцій). При цьому є сенс у подальшій диференціації коефіцієнтів для різних архітектурно-будівельних рішень (габаритів, форм, матеріалу конструкцій, конструктивних рішень тощо).

Важливим є накопичення експериментальних даних щодо впливу стану різних ділянок системи «основа-будівля» на динамічні характеристики споруди (наприклад, частоти за різними формами коливань). Також варто враховувати, що визначення динамічних характеристик будівель є додатковим/допоміжним заходом щодо оцінки поточного технічного стану. Тобто його застосування не відміння проведення стандартних заходів нагляду за технічним станом (огляди, технічне обстеження, інший моніторинг тощо), а надає додаткові дані, що збільшують ефективність такого нагляду (особливо щодо прихованих частин і ділянок системи «основа-будівля»).

Додатковим питанням є планування подальших заходів на основі результатів вимірювання частот власних коливань будівлі. Першочергово призначається категорія технічного стану (КТС) згідно таблиць 1-2 (призначається попередньо, остаточно КТС може бути призначена лише на основі повного обстеження), а у подальшому на її основі можуть бути призначені наступні заходи:

- для нормального (справного) стану – продовження нормального режиму експлуатації, якщо відсутні інші ознаки гірших категорій технічного стану (виявлених іншими заходами нагляду); для визначення технічного стану пошкодженої позапроектними впливами будівлі обов'язково проводиться детальне технічне обстеження;

- для задовільного (працездатного) – зменшення терміну до наступного планового обстеження, якщо відсутні інші ознаки гірших категорій технічного стану (виявлених іншими заходами нагляду); для визначення технічного стану будівлі після дії позапроектних впливів обов'язково проводиться детальне технічне обстеження, при цьому результати динамічних вимірювань і розрахунків можуть надати додаткову інформацію щодо пошкодженості будівлі в цілому та локалізувати основні ділянки пошкоджень;

- для непридатного до нормальної експлуатації (обмежено працездатного) – позапланове обстеження протягом року, якщо відсутні інші ознаки аварійного технічного стану (виявлених іншими заходами нагляду); у випадку пошкодження будівлі позапроектними впливами – заходи та застосування результатів аналогічно як для задовільного технічного стану, при цьому слід враховувати, що з великою ймовірністю наявні несучі конструкції у аварійному стані (навіть якщо вони не діагностуються візуально) та потрібні відповідні заходи безпеки (в т.ч. при проведенні обстеження);

- для аварійного – негайне позапланове технічне обстеження; у випадку пошкодження будівлі позапроектними впливами рекомендується негайна зупинка експлуатації та вживання відповідних заходів безпеки (в т.ч. при проведенні обстеження).

Висновки:

1. Виділення конкретних загальнозастосовуваних значень, наприклад, періодів коливань, які б дозволили однозначно характеризувати стан конструктивної системи певного виду, є проблематичним, адже динамічні характеристики залежні від занадто багатьох факторів (характеристики основи,

фундаменту, матеріалів та геометричних параметрів конструкцій, архітектурно-планувальних рішень тощо).

2. При проведенні динамічного моніторингу слід оцінювати вплив можливих змін маси досліджуваної системи. Для житлових і громадських будівель вплив можливої зміни мас протягом експлуатації на частоту власних коливань може бути оцінений у приблизно 5%. У випадку вимірювання базової (стартової) частоти власних коливань добудованої, але не введеної в експлуатацію споруди, для порівняння з подальшими вимірюваннями вже в процесі експлуатації слід застосувати поправочні коефіцієнти, що враховують зменшені навантаження (відповідно, маси системи), а також можливість меншої жорсткості конструкцій та їх вузлів.

3. Вимірювання характеристик натурних коливань у горизонтальних напрямках будуть найбільш ефективними та показовими для оцінки зміни стану споруд з жорсткою конструктивною системою (несучими стінами при переважній горизонтальній деформації зсуву) та рамних каркасів без вертикальних в'язів. Ефективним також має бути вимірювання параметрів вертикальних коливань великопролітних конструкцій перекриття та покриття, адже буде потребувати меншого обсягу вимірів у порівнянні з оцінкою стану відповідних конструкцій з невеликими прольотами.

4. Згідно розглянутих досліджень зменшення частоти коливань жорстких кам'яних житлових та громадських будівель, суттєво пошкоджених деформаціями основи або землетрусом (в т.ч., аж до аварійного стану), склало приблизно 0,57...0,89 в залежності насамперед від висоти будівлі та ступеня пошкодженості.

5. На основі отриманих даних попередньо запропоновано таблиці орієнтовних значень допустимих коефіцієнтів зниження початкової (відносно початку експлуатації) частоти власних коливань будівель громадського та житлового призначення з жорсткою конструктивною системою для категорій технічного стану та для аналогічних будівель з залізобетонною гнучкою конструктивною системою.

6. Запропоновані подальші заходи щодо експлуатації будівлі на основі оцінки категорії технічного стану за результатами вимірювання частот власних коливань будівлі (з певними застереженнями), в т.ч. за умови наявності пошкоджень від позапроектних впливів.

7. Подальший розвиток методів оцінювання динамічних характеристик будівель і споруд є надзвичайно актуальним напрямом, що відкриває можливості для поглибленої діагностики та моніторингу їхнього технічного стану. Застосування таких методів дозволяє більш детально досліджувати вплив позапроектних навантажень і встановлювати закономірності змін жорсткості конструктивних систем у процесі деградації конструкцій і матеріалів. Це, своєю чергою, створює передумови для формування системного та відтворюваного підходу до оцінювання технічного стану об'єктів, який враховує специфіку пошкоджень, спричинених вибуховими, ударними, сейсмічними чи термічними впливами. Удосконалення та розширення такого підходу сприятиме розвитку організаційно-методологічного інструментарію технічного обстеження будівель, що забезпечить більш комплексне та обґрунтоване прийняття рішень щодо їх подальшої експлуатації або відновлення та прискорить післявоєнне відновлення.

Список літератури:

1. Немчинов Ю.И., Марьенков Н.Г., Хавкин А.К., Бабики К.Н. Проектирование зданий с заданным уровнем обеспечения сейсмостойкости: монография. К.: Гудименко С.В., 2012. 384 с.
2. Anil K. Chopra A modal pushover analysis procedure for estimating seismic demands for buildings. *Earthquake engineering and structural dynamics*. 2002. № 31. P. 561-582.
3. Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінювання їхнього технічного стану. Механічний опір та стійкість: ДСТУ 9273:2024. [На заміну ДСТУ-Н Б В.1.2-18:2016; Чинні від 01.09.2024]. К.: ДП «УкрНДНЦ», 2024. 74 с.
4. Мурашко А.В., Кобский В.Н., Арсирій А.Н., Безушко Д.И. Сравнительный анализ методов испытаний зданий динамическими нагрузками. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*. 2014. Вип. 53. С. 258-268.
5. Мар'єнков М.Г. Експериментально-теоретичні методи оцінки сейсмостійкості будівель: автореф. дис. докт. техн. наук.: 05.23.01. Одеса, 2013. 38 с.
6. Савин С.Н., Ситников И.В. Результаты динамического мониторинга конструкций большого пролета из сборного железобетона. *Будівельні конструкції*. 2011. Вип. 74. Т. 2. С. 424-432.
7. Золотков А. Сейсмостойкость монолитных зданий. Картя Молдовой, 2000. 284 с.
8. Chaudat T., Pilakoutas K., Papastergiou P., Ciupala M.A., 2006. Shaking table tests on reinforced concrete retrofitted frame with carbon fibre reinforced polymers (CFRP). 1st ECEES, Geneva, p. 634.
9. Хохлін Д.О. Оцінка динамічних характеристик будівель після впливу значних нерівномірних деформацій основи. *Будівельні конструкції: теорія і практика*. 2018. Вип. 2. С. 73-79.
10. Абдурашидов К.С. Натурные исследования колебаний зданий и сооружений и методы их восстановления. Ташкент: Фан, 1974. 216 с.
11. Makarenko V., Voytovych O., Makarenko Yu., Gots V., Savenko V., Vladimirov O., Stogniy O., Azutov V. Study of the influence of a corrosive environment on long-term fatigue of steel sewer structures. *Problems of Water supply, Sewerage and Hydraulic*. 2023, 36-44. DOI: 10.32347/2524-0021.2023.43.36-44..
12. Корохов В., Бусарова Н. Об особенностях коррозии дымогарных труб водогрейных котлов и их защите. *MOTROL – Motoryzacja i Energetyka Rolnictwa*, 2014, Vol.16-5, p. 31-38.
13. ДБН В.2.3-6:2009. Мости та труби. Обстеження і випробування. [Чинний від 2010-03-01]. Вид. офіц. К.: Мінрегіонбуд України, 2009. 43 с.
14. ДБН В.1.1-12:2014. Будівництво у сейсмічних районах України. [На заміну ДБН В.1.1-12:2006; Чинні від 2014-10-01]. Вид. офіц. К.: Укрархбудінформ: Мінрегіон України, 2014. 110 с.
15. ДБН В.1.2-14:2018. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд. [На заміну ДБН В.1.2-14:2009; Чинні від 01.01.2019]. Вид. офіц. К.: Укрархбудінформ, 2018. 30 с.
16. ДБН В.1.2-2:2006. Навантаження і впливи. [На заміну СНиП 2.01.07-85*; Чинні від 2007-01-01]. Вид. офіц. К.: Укрархбудінформ: Мінбуд України, 2006. 75 с.

Denis KHOKHLIN, Kostiantyn MILITSKYI

Application of residential and public building dynamic characteristic assessment for diagnostics and monitoring of their technical condition

A significant number of studies of dynamic characteristics for different types of buildings and their structures in different states have been reviewed. It is noted that the allocation of specific generally applicable values of the oscillation periods (frequencies), which would allow to unambiguously characterizing the state of a structural system of a certain type, is problematic, because the dynamic characteristics depend on too many factors. At the same time, the use of averaged results of a sufficiently large group of different formulas of oscillation period experimental dependences on the main parameters of the structure can provide a fairly accurate value of the building oscillation expected period. It is also important to assess the impact of possible changes in the mass of the structure. It was determined that for residential and public buildings, the impact of a possible change in mass during operation on the frequency of natural oscillations can be estimated at approximately 5%. In the case of measuring the basic (starting) natural oscillation frequency of a completed but not commissioned building, a correction factor of 0.95 should be applied for comparison with subsequent measurements already during operation. It is noted that measurements of horizontal vibration characteristics are indicative and sensitive, first of all, to the state of vertical load-bearing structures, the rigidity of which most affects the period of such vibrations. Measurements of the characteristics of natural vibrations in horizontal directions will be most effective for assessing changes in the state of structures with a rigid structural system and frame structure without vertical ties, as well as the parameters of vertical vibrations of large-span floor and roof structures. According to the studies considered, the reduction in the vibration frequency of rigid stone (as a rule) residential and public buildings, significantly damaged by deformations of the foundation or earthquake (including up to an emergency state) was approximately 0.57...0.89, depending, first of all, on the building height and the damage degree. Based on experimental data, tables of approximate values of permissible reduction coefficients of the initial (relative to the beginning of operation) natural vibration frequency of public and residential buildings with a rigid structural system for technical condition categories and for similar buildings with a reinforced concrete flexible structural system are proposed. Further measures for the operation of the building are proposed based on the assessment of the technical condition category based on the results of measuring the building natural vibration frequencies. The development of methods for assessing the dynamic characteristics of buildings for diagnosing the technical condition of structures damaged by off-design influences, including the improvement of organizational and methodological tools for inspection with the aim of increasing the efficiency of recovering damaged objects, is proposed and considered.

Keywords: residential or public building, natural vibrations, frequency, technical condition, technical inspection, monitoring, organizational and methodological tools, off-design impacts.