

УДК 624.042

д.т.н., професор В.В.Кулябко, А.В.Банах,
Запорізька державна інженерна академія

ДИНАМІЧНА ДІАГНОСТИКА ОБ'ЄКТІВ МІСЬКОЇ ЗАБУДОВИ ЯК ПЕРЕДУМОВА ЇХ БЕЗПЕЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

(стаття підготовлена на підставі матеріалів доповіді на науково-практичній конференції «Проблеми і перспективи розвитку міст України», м. Ужгород, 20-23 травня 2010 року)

Динамічна діагностика об'єктів міської забудови як передумова їх безпечної експлуатації. Розглянуто проблеми, що виникають при формуванні динамічних моделей будівель та їх розрахунках. Показано можливість використання динамічної діагностики будівель для коригування їх розрахункових моделей. Проаналізований вплив уточнених розрахунків будівель на їх безпечну експлуатацію.

Постановка проблеми. Проблеми коректного моделювання процесів динаміки, проведення розрахунків і натурних випробувань будівельних конструкцій і споруд виникають при проектуванні, реконструкції, обстеженні та діагностиці стану об'єктів міської забудови.

Часто вони пов'язані з необхідністю зменшення рівня вібрації конструкцій з метою підвищення комфорту людей, що знаходяться на них, поліпшення умов роботи технологічного устаткування, а також зниження динамічних напружень і вірогідності виникнення явища втоми при роботі будівельних конструкцій на витривалість. Причому останніми роками обстеження і оперативна діагностика стану існуючих будівельних конструкцій стають одними з основних робіт із-за необхідності безаварійної експлуатації споруд в складних умовах, або термін служби конструкцій у яких закінчується або вже стік.

Одним із способів вирішення цієї проблеми може стати метод динамічної діагностики, що дозволяє за типом неруйнівних методів контролю проводити інтегральний аналіз і моніторинг технічного стану конструкції на будь-якому етапі її експлуатації.

Достовірність динамічних моделей і розрахунків якнайкраще оцінюється шляхом коректного проведення натурних динамічних випробувань споруди. У дослідженні розглядаються методики проведення специфічних натурних і лабораторних динамічних випробувань з коригуванням розрахункових моделей, що дозволяє наблизити характеристики моделі до реальних динамічних характеристик об'єктів. Вони застосовуються як своєрідний варіант методів неруйнівного контролю у якості способу діагностики поточного стану

конструкцій.

Актуальність проблеми. Останніми роками актуальність перерахованих вище завдань зросла з таких причин:

- посилення (при переході до міжнародних стандартів ISO) вимог до завдань віброзахисту по комфортності приміщень, призначених для перебування людей, техніки та устаткування;

- підвищення потужностей технологічного устаткування та швидкостей руху транспорту;

- збільшення розмірів і гнучкості будівель і споруд, у зв'язку з чим спостерігається зростання динамічних навантажень на споруди при дії сейсміки, вітру, транспорту і тому подібного.

При зміні жорсткісних, дисипативних та інерційних властивостей конструкцій та підсистем і середовищ, які примикають до них, експлуатованих тривалий час в несприятливих умовах, помітно змінюються і відповідні динамічні властивості споруди. Потрібні методики, що дозволяють коректно визначати (за допомогою комп'ютерних розрахунків та віброустаткування), фіксувати, прогнозувати, аналізувати або змінювати ці властивості.

Зв'язок з науковими або практичними завданнями. Дослідження виконані відповідно до Постанови Кабінету Міністрів України № 409 від 05.05.1997 р. «Про забезпечення надійності та безпечної експлуатації будівель, споруд та інженерних мереж», відповідно до якого забезпечується проектування, будівництво, експлуатація будівель і споруд, а також проведення комплексної паспортизації об'єктів міської забудови.

Аналіз досліджень і публікацій. Питаннями моделювання будівель і споруд з урахуванням динамічних дій, способів їх обліку і передачі, подробиці опису моделей, включаючи стадію їх експлуатації і реконструкції, займалися О.С.Городецький, І.Д.Євзеров, А.В.Перельмутер та інші [1...2]. Значно менше досліджена вібродіагностика будівельних конструкцій, будівель і споруд. У той же час, багато великих зарубіжних наукових конференцій (наприклад, Симпозіум IABSE у Сан-Франциско, США, 1995 р. – по продовженню терміну служби конструкцій; конференції IABSE і RILEM у Словаччині в 1995 і 1997 рр. – по діагностиці бетонних конструкцій; по сталевих конструкціях в Кракові, Мальме та ін.) останнім часом усе більшу увагу приділяють питанням діагностики та моніторингу стану існуючих експлуатованих конструкцій.

Нині потрібна розробка методик, різноманітних по застосуванню, але однотипних по методу, для створення науково обґрунтованих адекватних динамічних розрахункових моделей «джерела вібрації – механізми передачі – приймачі вібрації». Практично відсутні методики, необхідні для конструктивного обговорення способів зміни механізмів передачі вібрації при

проектуванні віброзахисту; методики спільного розгляду коливань механічних моделей людини і конструкцій (відомі лише оцінки динамічних реакцій фрагментів тіла, отримані на автономних вібростендах амплітудно-частотні характеристики) і тому подібне.

Мета дослідження полягає в обґрунтуванні можливості розробки (на основі динамічних розрахунків, що спеціально проводяться, і випробувань) методів моделювання, розрахунків, випробувань, діагностування, паспортизації і моніторингу стану будівельних конструкцій, споруд і територій з оцінкою віброекологічної і сейсmodинамічної ситуації і визначенням необхідних способів зниження вібрації об'єктів.

Основний матеріал. Дуже доцільним інтегральним способом поточної перевірки і оцінки жорсткості, інерційності, енергопоглинаємості (дисипативності), наявності дефектів і тому подібне, є динамічна діагностика. Вона проводиться після технічного обстеження конструкцій (включаючи неруйнівні методи контролю при огляді споруди), і полягає в проведенні циклу спеціалізованих динамічних розрахунків і випробувань конструкцій в натурних умовах їх експлуатації з наступною динамічною паспортизацією об'єкту (на день проведення випробувань з реєстрацією частот і форм основних тонів власних коливань); логарифмічних декрементів коливань, а також амплітуд коливань і реакцій з фіксацією найбільш важливих параметрів.

Варіанти подібних методик вже застосовуються в Україні, причому підходи кожної із спеціалізованих організацій в деяких принципових моментах не співпадають один з одним, а доповнюють і складають одну цілу методику або, точніше, – напрям, який доки не відбитий в нормативних документах.

Одним з перспективних напрямів в динаміці споруд стає комп'ютерне моделювання взаємодії (активного і пасивного) тіла людини (передусім, – опорно-рухового апарату) і конструкцій або пристроїв. Наприклад, при розрахунку і прогнозуванні вібродози, що отримується робітниками за зміну на елементах робочих майданчиків або підмостях, на монтажних люльках, а також при визначенні частотних спектрів, що викликають дискомфорт у людей, що знаходяться на конструкції.

Проблема впливу вібрації будівель і споруд на організм людини розглядається у світлі вимог стандартів ISO, а також вітчизняних ДБН і ДСТУ. У нормах передбачено запобігання при коливаннях конструкцій шкідливих дій вібрації на людину, зниження дискомфорту і відчуття небезпеки. Виходячи з фізіологічних вимог обмежуються прогини конструкцій (тільки у вертикальній площині, незалежно від виду конструкції, згинної жорсткості і так далі). В той же час, в стандартах ISO вводиться 5 меж (фізіологічних критеріїв) по рівню і дозі (часу дії) швидкостей і прискорень. Аналогічний ГОСТ (1990 р.) по

вібробезпеці робочих місць використовував ці ж підходи, чомусь виключивши обмеження по найбільш важливих для великих споруд низькочастотних діапазонах.

Одним з авторів обґрунтована необхідність виділення окремого напрямку, який названий віброекологією. Дослідження пов'язані з розробкою основних понять і визначень віброекології будівель і споруд. Аналізуються реакції людини на певні режими вібрації. Оцінюються по різних методиках допустимі рівні коливань. Запропонований спосіб теоретичного аналізу завантаженості та взаємодії біомеханічної моделі людини з легкою опорною будівельною конструкцією. Вводиться поняття і форма спеціального документу (віброекологічного паспорта конструкції, приміщення), реєструючого відповідні властивості споруд і приміщень. Розглянуті приклади виміру, оцінки і аналізу цих властивостей.

Досліджені варіанти і дані нові технічні рішення по деяких видах демпферів, гасителів, вібротехнологіям, а також по способах зниження шкідливого впливу вібрації. Інтегральна динамічна діагностика конструкцій при їх монтажі та експлуатації, паспортизація і моніторинг стану споруд, зонінг територій – багато великих зарубіжних фірм останнім часом усе більшу увагу приділяють цим питанням – діагностиці і моніторингу стану існуючих експлуатованих конструкцій. У нинішній момент часу вимірюються експлуатаційні значення власних частот, форм і логарифмічних декрементів просторових коливань, а також амплітуди вимушених коливань. Потім вони зіставляються з еталонними значеннями, вказаними в первинному паспорті, теоретичними і експериментальними. Це дає можливість інтегрально діагностувати стан будівельних конструкцій і забезпечувати надійність будівель і споруд. Діагностика конструкцій є складовою частиною експлуатації споруд і вимагає дуже малих витрат не рідше за один раз у 3...5 років на залучення спеціалізованих організацій для інструментальних вимірів, геодезичної зйомки і тому подібне.

Відомо, що кожне натурне обстеження або випробування споруди вимагає особливого обґрунтування при виборі апаратури, схем розміщення датчиків, при обробці результатів. У матеріалах Єврокоду EN-1991 вказано, з одного боку, що можливе «проекування за допомогою випробувань». З іншого боку, відсутні взагалі які-небудь дані по випробуваннях (окрім випробувань на втому). Динамічна діагностика може ефективно застосовуватися при будівництві та експлуатації будівель і споруд, оскільки були створені методики проведення специфічних натурних динамічних випробувань, спрямованих на визначення основних динамічних характеристик несучих конструкцій (необхідних як для уточнення виду і параметрів моделей, так і для складання

діагностичних паспортів).

Останнім часом були запропоновані нові інженерні методики проведення динамічної інтегральної діагностики, моніторингу (спостереження, аналіз і прогноз) стану і паспортизації – для споруд і конструкцій, а також зонінга – для територій.

Пропонується комплексне використання комп'ютерних моделей і способів динамічних випробувань конструкцій будівель і споруд. Практично усі основні динамічні характеристики вільних і вимушених коливань об'єкту є надзвичайно важливими його властивостями, що дають інтегральну інформацію про жорсткісні, інерційні та дисипативні параметри натурального об'єкту у момент проведення його обстеження і випробувань. Результати теоретичних і експериментальних досліджень (натурних або лабораторних динамічних випробувань) конструкцій будівель і споруд для вирішення завдань поточної діагностики конструкцій запропоновано оформляти у вигляді особливого динамічного паспорта конструкції на конкретний момент часу.

Розроблені форми динамічного, сейсмодинамічного, вібротехнологічного та віброекологічного паспортів, які об'єднують результати розрахунків і випробувань. Періодична паспортизація дозволяє широко застосовувати запропонований комплексний підхід не лише при проектуванні, розрахунках та здачі в експлуатацію нових об'єктів, але і при моніторингу експлуатованих конструкцій і споруд. Це, зокрема, сприяє прискореному проведенню обстеження відповідальних і виявленню аварійних об'єктів. Створені також методики проведення передпроектної паспортизації споруд і зонінгу (районування) територій, що враховують особливості моніторингу при транспортній і промисловій сейсміці.

Так, на особливо важливих і унікальних об'єктах доцільно організувати: постійні натурні спостереження і надання технічної допомоги при експлуатації; уточнення метеорологічного і сейсмометричного мікрорайонування та відповідних навантажень (зонінг); вивчення реакції конструкцій на реальні дії; виявлення явищ динамічної, гідро- або аеропружній нестійкості; виявлення динамічних чинників, що викликають дискомфорт персоналу або жителів на всьому протязі будівництва і експлуатації споруди, водіїв і пасажирів екіпажів, пішоходів на транспортних спорудах, а також негативні дії на біосферу.

Коректність моделей виключає помилки при проведенні комплексної динамічної діагностики споруд або ґрунтових основ (наприклад, резонансним методом, вібратором).

Крім того, можна висловити припущення, що найближчими роками велику роль гратиме динамічна інтегральна діагностика і динамічний моніторинг стану будівель і споруд. Це відноситься і до безаварійної експлуатації

конструкцій, і до зниження несприятливих наслідків можливих катастроф (надзвичайних ситуацій, вибухів, терористичних актів), і до підвищення термінів служби будівель і споруд.

В умовах економічного післякризового підйому визначальними технологіями відродження величезної кількості занедбаних і покинутих будівельних об'єктів (при проведенні їх повного або часткового обстеження, реконструкції, підсилення) можуть стати прискорена технічна діагностика і моніторинг стану конструкцій. Тут перевагу для великих і конструктивно яскраво виражених споруд доцільно віддавати інтегральній динамічній діагностиці.

Від реалізації таких пропозицій можна буде отримати економічний і соціальний ефект, який полягатиме в зменшенні ушкодженості або руйнувань споруд, а також у зменшенні рівня вібрації в приміщеннях (отже, – і в зменшенні негативного впливу вібрації на людину і устаткування).

Останніми роками в Україні дещо удосконалився механізм паспортизації будівель і споруд в частині додавання до паспортів будівель і споруд інформації про фактичний стан усіх основних будівельних конструкцій. При цьому мається на увазі проведення, наприклад, діагностики конструкцій експлуатованих виробничих будівель і споруд відповідно до державних будівельних норм ДБН 362-92. Але нині практично відсутні зручні інженерні методики і нормативи по діагностиці та оцінці залишкового ресурсу конструкцій споруд (з цегли, бетону, сталі). Немає коректних розрахункових програм, приладів та інструментарію, немає спеціально навченого технічного персоналу.

Із-за великого об'єму неправильно експлуатованих або неграмотно реконструйованих споруд на практиці найчастіше обмежуються тільки аналізом стану найбільш аварійних або відповідальних конструкцій, та й то, як правило, – тільки вибіркоvim обстеженням, що не перевищує за обсягом 10...20 % (за ДБН) від кількості конструкцій цього типу на обстежуваній споруді. Це, природно, підвищує вірогідність аварій. Також дуже багато є об'єктів, важкодоступних з яких-небудь причин (наприклад, напівзаглиблених в ґрунт) для візуальних оглядів і діагностики.

Як приклад наведемо первинний динамічний паспорт споруди (див. рис. 1). Від коректності динамічних розрахункових моделей залежить увесь ефект динамічної діагностики. Тому перевага при розрахунках повинна надаватися нелінійним просторовим динамічним моделям.

Для отримання адекватної моделі будівельного об'єкту пропонується скористатися наступною методикою: детальна розрахункова модель (наприклад, методу кінцевих елементів) будівлі або споруди тестується після

розрахунку на відповідність власних динамічних характеристик даним, отриманим при динамічній діагностиці. При невідповідності розрахункова модель коригується до тих пір, поки розбіжності між розрахунковими і фактичними параметрами будуть зведені до прийнятного рівня.

До основних парадоксів динаміки споруд можна віднести, наприклад, складність прогнозування реакції споруди при стандартному заході щодо підсилення конструкцій шляхом підвищення їх жорсткості (амплітуди вимушених коливань при моногармонійній дії можуть збільшитися, якщо одна з частот власних коливань наблизиться до резонансної зони). Усереднювання різноманітних по виду і величинам дисипативних властивостей усіх підсистем до довільно призначеного параметра може на порядок змінити розрахункову амплітуду вимушених коливань в порівнянні з виміряною експериментально. До великих якісних і кількісних відмінностей результатів приведе також зневага можливістю ковзання і розриву зв'язків у вузлах і з'єднаннях підсистем, заміна складних видів сухого тертя спрощеними і так далі.

Вільні коливання	Вимушені коливання															
<p>Теорія</p> <table border="1"> <tr> <td>1.3</td> <td>1.9</td> <td>2.3</td> </tr> <tr> <td colspan="3">Гц</td> </tr> </table> <p>Експеримент</p>	1.3	1.9	2.3	Гц			<p>Теорія</p> <table border="1"> <tr> <td>2.5</td> <td>3.8</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td colspan="3">Гц</td> </tr> </table> <p>Експеримент</p> <table border="1"> <tr> <td>$y=0.36\text{мм}$</td> <td>$y=0.17\text{мм}$</td> <td>$y=0.06\text{мм}$</td> </tr> </table>	2.5	3.8	10	Гц			$y=0.36\text{мм}$	$y=0.17\text{мм}$	$y=0.06\text{мм}$
1.3	1.9	2.3														
Гц																
2.5	3.8	10														
Гц																
$y=0.36\text{мм}$	$y=0.17\text{мм}$	$y=0.06\text{мм}$														
<p><u>Теоретичні значення</u> $f_1=1,3\text{Гц}$; $f_2=1,9\text{Гц}$; $f_3=2,3\text{Гц}$;</p> <p><u>Експеримент</u> $f=2,5\dots 2,9\text{Гц}$; Логарифмічний декремент коливань: $(=0,27\dots 0,32)$.</p>	<p><u>Теоретичні значення</u> $f=2,5\text{Гц}$; $y=0,4\text{мм}$;</p> <p><u>Експеримент</u> $f=2,5\dots 2,9\text{Гц}$; $y=0,36\text{мм}$; $f=3,8\dots 4,2\text{Гц}$; $y=0,17\text{мм}$; $f=8,7\dots 10,2\text{Гц}$; $y=0,059\text{мм}$</p>															

Рис. 1. Приклад первинного динамічного паспорта споруди

Крім того, однією з цілей при вирішенні цієї проблеми повинні стати певна уніфікація і стандартність в самих підходах до постановки завдань. Ця уніфікація може проводитися, починаючи з вибору динамічних моделей, складання диференціальних рівнянь руху, обліку всіх необхідних складних властивостей, явищ і динамічних ефектів.

У такому варіанті не вимагається вводити складний математичний апарат, використовуваний, наприклад, в методі кінцевих елементів. Проте точність отримуваних рішень може бути порівнянною з результатами методу кінцевих елементів, або навіть вище (у якісних ефектах).

Рекомендується дотримуватися наступної схеми діагностики і моніторингу

стану будівель і споруд:

1. Для кожної промислової і міської зони рекомендується передусім провести зонінг території з її картуванням і районуванням по віброекологічних, сейсmodинамічним та іншим подібним ознакам. Наприклад, створюється карта розташування конструкцій із збіглими термінами їх служби. Або за допомогою вібродинамічних вимірів, обстеження напрямів і амплітуд коливань земної поверхні (у різних точках території, на фундаментах споруд та інших характерних місцях) складається карта – додаток до сейсmodинамічного паспорту району (транспортних магістралей, промислових зон) і тому подібне.

2. Виділяються потенційно небезпечні (з позиції виникнення аварій та надзвичайних ситуацій) будівельні конструкції і споруди. Проводиться перша частина їх технічного обстеження – первинний візуальний огляд і вивчення технічної документації.

3. Складається динамічна модель споруди, що включає дії (на усї його підсистеми) від вітру, транспорту, сейсміки та устаткування; ґрунти та геологічні особливості території (механічні властивості та розташування шарів, наявність в ґрунтах хвилеводів, неоднорідностей та іншого). Показано, що облік кінцевої жорсткості основи може в 1,5...2 рази понизити частоти основних тонів власних коливань усїєї споруди.

В результаті робіт з випробувань і розрахунків складається остаточний динамічний (чи віброекологічний, сейсmodинамічний, вібротехнологічний і тому подібне) паспорт споруди. Якщо він первинний, то в ньому також описуються відповідні дані проекту, основних стадій монтажу і тому подібне. Якщо поточний, то проставляється дата моніторингу і умови його проведення, початкові дані розрахунків і випробувань.

Висновки: Таким чином, динамічна діагностика будівель і споруд міської забудови дозволяє отримати фактичні достовірні дані про динамічні характеристики цих об'єктів, що дозволяє дотримувати вимоги міцності і комфорту, а також забезпечує можливість безаварійної експлуатації будівель і споруд. Крім того, ці дані можуть використовуватися для коригування розрахункових динамічних моделей будівель і споруд з метою приведення у відповідність експериментальних і розрахункових параметрів, що дозволить отримувати адекватні моделі.

Література:

1. Городецкий А.С., Евзеров И.Д. Компьютерные модели конструкций. – К.: «ФАКТ», 2005. – 344 с.
2. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа / А.В.Перельмутер, В.И.Сливкер. – К.: ВПП «Компас», 2001. – 448 с.

Аннотация

Динамическая диагностика объектов городской застройки как предпосылка их безопасной эксплуатации. Рассмотрены проблемы, возникающие при формировании динамических моделей зданий и их расчете. Показана возможность использования динамической диагностики зданий для корректировки их расчетных моделей. Проанализировано влияние уточненных расчетов зданий на их безопасную эксплуатацию.

Summary

Dynamic diagnostics of urban buildings as pre-condition of their safe exploitation. Problems arising at forming of dynamic calculation models of buildings are considered. Possibility of the use of dynamic diagnostics for adjustment of calculation models of buildings is shown. Influence of the specified calculations on safe exploitation of buildings is analyzed.