

конструкции, гравитационной поляризацией бетона вследствие особенностей технологии укладки, а также изменением армирования конструкций.

Выводы. Анализ полученных результатов позволяет:

- подтвердить существенное влияние уровня напряжений в бетоне элемента конструкции на показания прибора реализующего метод ударного импульса;
- отметить значительное влияние на результаты измерений насыщенности элемента конструкции арматурой, особенностей технологии бетонирования и изменчивости состава бетона;
- рекомендовать, при направленной модификации, существующий метод как один из возможных методов реализации системы автоматизированного мониторинга состояния строительных конструкций.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Особенности применения приборов неразрушающего контроля при оценке жилых зданий и сооружений / Савицкий Н.В., Бауск Е.А., Лаухин Д.В., Иванова Л.Н. // Сб. научн. тр.: Строительство. Материаловедение Машиностроение, Вып. №25 Дн-ск.:ПГАСА, 2003. -С42-46.
2. Джонс Р. Фэкзоару Неразрушающие методы испытаний бетонов Пер. с румынск.- М.: Стройиздат, 1974.- 292с.
3. Исследование параметров взаимодействия «прибор – бетон» при определении прочностных характеристик бетона / Колохов В.В., Савицкий Н.В., Бородин А.А.// Сб. научн. тр.: Строительство. Материаловедение Машиностроение, Вып. №43 Дн-ск.:ПГАСА, 2007.- С210-213.
4. ДСТУ-Н Б В.2.5 – 37:2008. Інженерне обладнання будинків і споруд. Настанова з проектування, монтування та експлуатації автоматизованих систем моніторингу та управління будівлями і спорудами.
5. ДБН В.1.2 – 5:2007 Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Науково-технічний супровід
6. ДСТУ Б В.2.6 – 25-2003: Конструкции зданий и сооружений. Автоматизированные системы технического диагностирования строительных конструкций
7. ДБН А.2.2 – 3 - 2004 Состав, порядок разработки, согласования и утверждения проектной документации для строительства
8. РД ЭО 0624 - 2005 Руководящий документ «Мониторинг строительных конструкций АЭС» основные положения

УДК 624.04+699.841+550.341

ОЦІНКА НАДІЙНОСТІ ТА ЕФЕКТИВНОСТІ СЕЙСМОЗАХИСТУ МОСТІВ

к.т.н., доц. В.М. Косяк

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

При виборі типу і конструкції пристроїв для сейсмогасіння та сейсмоізоляції елементів споруд, зокрема мостів, з урахуванням нелінійного і випадкового характеру сейсмічного навантаження, доцільно застосовувати елементи теорії надійності.

Міст може бути представлений у вигляді сукупності структурних елементів, кожен з яких має відповідний рівень надійності за різними ознаками. Об'єднання окремих структурних елементів(послідовне, паралельне, змішане) до єдиної системи здійснюється на основі логічних зв'язків. Реакція кожного з елементів системи на сейсмічний вплив може бути визначена як сукупність функцій $X_{nk} = F_{nk}(x_1, x_2, \dots, x_l; z_1, z_2, \dots, z_j)$, де

F_{nk} -детермінована функція випадкових аргументів $x_l; z_j$. Всі аргументи мають нормальний закон розподілу з відомими математичним $n(x_l)$, $n(z_j)$ очікуванням і дисперсією $D(x_l)$, $D(z_j)$. Пошук функцій $F_{nk}(x_1, x_2, \dots, x_l; z_1, z_2, \dots, z_j)$ полягає у встановленні залежностей між характеристиками системи (споруди), параметрами сейсмічного впливу і функціями відгуку.

Оцінка надійності мосту з обраним видом сейсмосахисту виконується з урахуванням обчислених ймовірностей надійної роботи кожного із структурних елементів та способу їх об'єднання в систему. На основі аналізу впливу дисперсії кожного параметра на дисперсію відгука можуть бути відібрані основні та випадкові параметри і характеристики. Врахування тільки основних величин суттєво зменшує об'єм розрахунків.

Для обчислених величин власних частот і нормативних спектрів відгуку визначаються ймовірнісні характеристики складових інерційних навантажень для сейсмічних впливів відомої бальності і фіксованому куті нахилу вектора прискорення.

Розрахункова модель сейсмічного впливу може бути записана у вигляді випадкової елементарної функції виду

$$W(t) = W(B_I, I) \cdot \sin(\omega_{i_{ni}} t) \cdot \sin(\omega_{i_{ni}} t / 2N_T) \quad (1),$$

де $W(B_I, I)$ - інтенсивність сейсмічного впливу в межах балу B_I ;

$\omega_{i_{ni}}$ - основна частота впливу ; N_T - кількість періодів основної частоти, загальна тривалість яких дорівнює половині періоду огинаючої. Інтенсивність сейсмічного впливу в межах заданого балу і основна частота вважаються

нормально розподіленими з відомими математичними очікуваннями $m[W(B_I)]$, $m(\omega_{i_{\bar{m}}})$ і дисперсіями $D[W(B_I)]$, $D(\omega_{i_{\bar{m}}})$.

Відгук системи для сейсмічного впливу з балом B_i є сукупністю функцій випадкових аргументів, які з точністю до складових другого порядку можуть бути записані в матричній формі (2):

$$|X| = |X(W, \omega_{\bar{m}}, \delta)| \approx m(|X|) + \left| \frac{\partial X}{\partial W} \right| \cdot [W - m(W)] + \left| \frac{\partial X}{\partial \omega_{\bar{m}}} \right| \cdot [\omega_{\bar{m}} - m(\omega_{\bar{m}})] + \left| \frac{\partial X}{\partial \delta} \right| \cdot [\delta - m(\delta)] \quad (2)$$

де $|X|$ - вектор-стовпчик функцій відгуку, $\left| \frac{\partial}{\partial |X|} \right|_m$ - матриця часних

похідних функцій відгуку, визначених чисельними методами, $\|X| - m(|X|\|$

- вектор-стовпчик різниці значень випадкових аргументів та відповідних математичних очікувань.

З урахуванням усіх можливих балів сейсмічного впливу, напрямів вектора прискорень і основних частот, ймовірність надійної роботи кожного структурного елемента системи визначається за формулою повної ймовірності:

$$P(X - X_{\bar{a}i} < 0) = \sum_{I=1}^9 P(B=B_I) \sum_{N=1}^{N_{\max}} P(\bar{\delta} = \bar{\delta}_N) \sum_{J=1}^{J_{\max}} P(\omega = \omega_J) P[(X_I - X_{\bar{a}i} < 0 |_{I,N,J}] \quad (3)$$

де $P[X_I - X_{\bar{a}i} < 0 |_{I,N,J}, \dots, P[W_{Z_I} - Z_{\bar{a}i} < 0 |_{I,N,J}]$ - умовні

ймовірності надійності підсистеми при фіксованих випадкових величинах, (бал, кут нахилу вектора прискорення основи, основної частоти), N_{\max}, J_{\max} - кількість інтервалів в діапазоні можливих значень випадкових величин при їх дискретизації.

Відмова будь-якого з основних параметрів системи призводить до відмови системи в цілому, тому надійність системи сейсмозахисту мосту визначається надійністю найбільш слабкого елемента.

Питання кількісної оцінки забезпечення надійності сейсмозахисту мостів та раціональних витрат матеріальних і трудових ресурсів на антисейсмічне підсилення набуло актуальності в середині 1980-х років. Для оцінки якості сейсмостійких споруд та визначення ефективності капіталовкладень використовуються поняття дефіциту сейсмостійкості, ймовірності безвідмовної та безпечної роботи, економічний та соціальний сейсмічні ризики.

Критерій дефіциту сейсмостійкості визначається як різниця між класом сейсмостійкості мосту (споруди) та розрахунковою бальністю території. Його використання утруднене необхідністю визначення розрахункової бальності відповідно рівню відповідальності споруди та рівню ймовірності проявлення розрахункових сейсмічних впливів. Кількісна величина дефіциту сейсмостійкості характеризує споруду фіксований момент часу, без

урахування її поведінки в майбутньому. Порівняно з показниками фізичного та морального зносу, які визначають термін експлуатації споруди, величина дефіциту сейсмостійкості може бути суттєво меншою.

Оцінку якості сейсмозахисту (сейсмостійкості) споруд можна проводити за ймовірністю безвідмовної та безпечної роботи, яка визначається в залежності від загального часу експлуатації споруди T , поточного моменту експлуатації t , повторюваності землетрусів λ_S^J силою J балів на відповідній території за векторною формулою (4):

$$P = \sum_{J=J_{\min}}^{J_{\max}} P_J(T, t, \lambda_S^J) P_{1J} \quad (4)$$

Елементи векторів P і P_{1J} відповідають різним граничним станам, які

розглядаються під час аналізу. Для оцінки величини P_J може бути застосований закон розподілу Пуассона, причому ймовірність виникнення хоча б одного землетрусу силою J балів на протязі планованого строку експлуатації споруди визначається за формулою (5) в залежності від рівня відповідальності споруди, який впливає на вибір кількості струсів k_J^Y :

$$P_J(T, t, \lambda_S^J) = e^{-\lambda_S^J T (1 - \frac{t}{T})} \cdot \sum_{N(J)=1}^{k_J^Y} \frac{\left[\lambda_S^J T \left(1 - \frac{t}{T} \right) \right]^{N(J)}}{N(J)!} \quad (5)$$

Величини $P = \{P_{d3}, P_{d4}, P_{d5}\}$ та $P_{1J} = \{P_{d3,J}^{(1)}, P_{d4,J}^{(1)}, P_{d5,J}^{(1)}\}$

визначається за статистичними даними пошкоджень споруд при землетрусах, відповідно із шкалою MSK-64, заснованою на результатах пошкоджень руйнівних землетрусів, згрупованих в п'ять незалежних груп. Мінімальні пошкодження віднесені до групи $d1$, а максимальні (повне руйнування) - до групи $d5$. При оцінюванні пошкоджень враховуються ймовірності виникнення пошкоджень 3, 4 і 5 груп відповідно на протязі всього періоду експлуатації та при виникненні землетрусу силою J балів.

При заміні ймовірності руйнування елементів споруди або відмов на ймовірність загибелі людей, за формулою (4) можна визначити ймовірність безпечної роботи споруди. Недоліком використання показника надійності та безвідмовності є використання основного принципу збалансованого ризику для завдання допустимої ймовірності відмов, сформульованого Дж. Уїтгінсом [2] на початку 1970-х років, і розвинутого в роботах А.П. Синіцина [3], відповідно якому ймовірність відмови при сейсмічних впливах порівнюють з емпіричними ймовірностями виникнення інших видів ризику (аварійних ситуацій, катастроф природного та техногенного походження тощо). Крім

того, в деяких випадках за даною методикою складно оцінити економічні витрати на суттєве збільшення рівня надійності.

Основи аналізу економічного і соціального ризику – математичного очікування збитків від сейсмічних впливів та відсоток загибелі та травмування людей під час землетрусів, запропоновані в роботах академіка Л.В. Канторовича, зокрема в [4]. Економічний ризик може бути визначений за формулою (3) в залежності від середньорічної кількості $L(N)$ землетрусів силою N балів в місці локального розташування споруди (будівельного майданчика), збитків для споруди від землетрусу, який може відбутись в перший рік її експлуатації $D_0(K_S, N)$, строку експлуатації споруди T , та

коефіцієнта приведених витрат $f(\hat{e}, \hat{O}) = \left(\frac{1}{\hat{e}} - 1\right) \cdot (1 - (1 - \hat{e})^{\hat{O}})$, де

$\hat{e} = \frac{d + d^*}{1 + d}$, d - нормативне значення ефективності капітальних вкладень і

d^* - параметр, який визначає зниження вартості споруди (мосту, або його окремих елементів) в часі:

$$R = f(\hat{e}, \hat{O}) \cdot \sum_{N=N_{\min}}^{N_{\max}} D_0(K_S, N) \cdot L(N) \quad (6)$$

Рівень допустимого ризику, який призначається відповідно рівню розвитку суспільства (в різних країнах може бути різним) з використанням принципу збалансованості ризиків, має бути зафіксований в будівельних нормах. В технічній літературі [5], [6] зустрічаються таблиці відповідності величини руйнування споруд, рівнів ризику і матеріальних збитків – платіжні матриці, які призначені для оцінки середніх збитків від землетрусів. Незважаючи на значний розкид чисельних значень складових платіжних матриць, сейсмічний ризик може бути прийнятий як показник якості сейсмостійкої споруди.

Розрахунковий показник ефективності капітальних вкладень в антисейсмічне підсилення може бути визначений за формулою (7) без урахування надійнісних критеріїв – ймовірності відмов та ризиків. Значення показника E залежить від розміру капітальних вкладень K на сейсморезистентності, річного прибутку P_0 від експлуатації споруди, приведенного до першого року експлуатації, коефіцієнтів приведення прибутку $v_A(\hat{e}, \hat{O})$ та збитків $v_D(\hat{e}, \hat{O})$ за фактором часу, тривалості відновлювальних робіт $t(K_S, N)$ після землетрусу силою N балів для споруди з розрахунковим класом сейсмостійкості K_S .

$$E = -K + P_0 \cdot \left[v_A(\hat{e}, \hat{O}) - v_D(\hat{e}, T) \cdot \sum_{N=N_{\min}}^{N_{\max}} t(K_S, N) \cdot L(N) \right] - v_D(\hat{e}, T) \cdot \sum_{N=N_{\min}}^{N_{\max}} D_0(K_S, N) \cdot L_I(T) \quad (7)$$

При $K=0$ величина E характеризує прибуток від експлуатації споруди, максимальне значення $E(K)$ визначає доцільний об'єм капітальних вкладень на антисейсмічне підсилення об'єктів.

Всебічна оцінка надійності та ефективності сейсмозахисту мостів, потребує також врахування взаємозв'язків між елементами транспортної мережі, де розміщена споруда, з усіма ієрархічними складовими та розгляду розрахункових моделей, які містять математичні описи впливів окремих елементів (зокрема рівня їх ушкоджень та наслідків відмов) на цілісну систему. В багатьох країнах для робіт з визначення якісної оцінки поточного стану об'єкту за єдиним чисельним значенням використовують інтегральний показник - кваліметричний індекс. Його отримують на основі статистичної обробки експертних висновків, виконаних для єдиної морфологічної моделі з різними рівнями деталізації властивостей.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Окамото Ш. Сейсмостойкость инженерных сооружений. – М., Стройиздат, 1980. – 342 с
2. Дж. Уиггинс. Принцип сбалансированного риска: новый подход к нормам проектирования зданий в сейсмических районах//Гражд. Стр-во. – 1972. - №8. – С. 21-29.
3. Сеницын А.П. Расчет конструкций на основе теории риска. – М.: Стройиздат, 1985. – 304 с.
4. Канторович Л.В., Кейлис-Борок В. И., Молчан Г.И. Сейсмический риск и принципы сейсмического районирования//Вычисл. И статист. Методы интерпретации сейсм. данных. вычисл. сейсмология. – Вып. 6. – М.: Наука, 1974. – С. 3-20.
5. Инструкция по оценке сейсмостойкости эксплуатируемых мостов на сети железных и автомобильных дорог. – Ашхабад: Ылым, 1988. – 106 с.
6. Айзенберг Я. М. Модели сейсмического риска и методологические проблемы планирования мероприятий о смягчении сейсмических бедствий//Сейсмостойкое стр-во. Безопасность сооружений. – 2004. - №6. - С.31-38.
7. Косяк В.М. Оцінка надійності систем сейсмозахисту мостів//Збірник матеріалів Міжнародної науково-практичної конференції «Транспортні зв'язки. Проблеми та перспективи». – ДІТ. – 2008 р. – С. 57.