

РОЗВИТОК КОНСТРУКТИВНИХ ФОРМ ЕЛЕМЕНТІВ МОСТІВ ДЛЯ РОБОТИ В УМОВАХ СЕЙСМІЧНИХ ВПЛИВІВ

Розглянуто напрямки розробки структурних форм інженерного забезпечення безпеки проєктованих і експлуатованих залізничних мостів і зменшення витрат на їх відновлення після сейсмічного впливу, викликаного природними причинами або діяльністю людини.

Рассмотрены направления разработки структурных форм инженерного обеспечения безопасности проектируемых и эксплуатируемых железнодорожных мостов и уменьшение расходов на их восстановление после сейсмических воздействий, вызванных естественными причинами или деятельностью человека.

The article considers directions of development of structural forms of engineering provision of safety of railway bridges being designed and operated and reduction of their renewal costs after seismic impacts, resulting from natural causes or human activity.

Вступ

Зростання сейсмічної активності на планеті, яке спостерігається в останні 25 років, потребує нового етапу розробки інженерних рішень, спрямованих на забезпечення збереженості і нормальної експлуатації штучних споруд при землетрусах. У багатьох країнах світу існують спеціальні програми дослідження роботи штучних споруд які зазнають сейсмічних впливів. Основна увага приділяється новому будівництву із застосуванням заходів, які зменшують сили інерції сейсмічного навантаження, і відновленню робочого стану споруд, які зазнали дії землетрусів. Сьогодні розробляються нові норми сейсмічного будівництва країн Європи (EC8), Німеччини (EDIN 4149-02), Росії (Федеральна цільова програма «Сейсмічна безпека території Росії») і України (проект ДБН В.1.1-...-2004 «Будівництво в сейсмічних районах України») з рекомендаціями щодо вибору технічних заходів при розробці проєктів підвищення сейсмостійкості будівель і споруд.

Сейсмостійкість транспортних споруд залежить від правильного вибору будівельного майданчика з урахуванням геологічних умов, якісного виконання загальнотехнічних і сейсмічних розрахунків на основі вихідної сейсмологічної інформації. Важливе значення має обґрунтований вибір конструктивної схеми споруди, компоновки її елементів, призначення властивостей матеріалів для виготовлення елементів споруди, а також якість виконання будівельних робіт.

Вибір рішення щодо захисту конструкцій від руйнування при землетрусах залежить від сейсмічності району і здійснюється за одним з трьох основних напрямків:

– при рідких руйнівних землетрусах першочерговою задачею є збереження життя людей і цінного обладнання;

– при землетрусах середньої сили – обмеження пошкоджуваності конструкцій;

– при відносно слабких, але часто повторюваних землетрусах головне призначення антисейсмічних заходів полягає у забезпеченні нормальної експлуатації споруд.

В останні 15–20 років в багатьох країнах світу реалізовані на практиці принципово нові технічні рішення щодо спеціального сейсмозахисту будівель та інженерних споруд.

Систематизація способів сейсмозахисту штучних споруд

Рациональність типу сейсмозахисту штучних споруд залежить від величини зовнішніх сил і власних динамічних властивостей елементів конструкцій.

Способи сейсмозахисту можна розділити за принципом роботи на групи, які подані у вигляді структурної діаграми на рис. 1.



Рис. 1. Структурна діаграма способів сейсмозахисту штучних споруд

У країнах з високим рівнем сейсмічної небезпеки (Японія, США, Нова Зеландія) найпоширенішими є традиційні методи сейсмозахисту споруд від сейсмічних впливів. Перевага при виборі технічних рішень надається спорудам з просторово-планувальними схемами, форма яких запобігає виникненню крутильних коливань (квадрат, круг, правильний багатокутник) і чітко визначеними властивостями будівельних матеріалів – із зниженою власною вагою, виготовлених в заводських умовах з застосуванням вібрації, розчинів з вмістом спеціальних домішок, які збільшують зчеплення з основним матеріалом. Особлива увага приділяється питанням забезпечення просторової жорсткості споруди, а також уникненню місць різкої зміни жорсткості елементів.

Активний спосіб спеціального сейсмозахисту є доцільним для захисту унікальних споруд в регіонах з можливістю виникнення руйнівних землетрусів. Використання такого способу передбачає включення додаткових джерел енергії і елементів, які регулюють роботу таких джерел, що потребує значних матеріальних затрат на улаштування і експлуатацію споруд.

Альтернативним варіантом до активного сейсмозахисту є застосування пасивних методів: сейсмогасіння та сейсмоізоляції. Такі методи є оптимальними для штучних споруд, експлуатація яких передбачається в районах з очікуваними землетрусами середньої сили.

Значного ефекту гасіння сейсмічних коливань можна досягти шляхом використання спеціальних демпферів з підвищеними дисипативними параметрами, які сприяють розсіюванню енергії за рахунок роботи в'язкого або сухого тертя, сил пластичного деформування. Одним з широко застосовуваних засобів сейсмозахисту штучних споруд є динамічні гасителі коливань (ДГК) великої та малої маси, які забезпечують перехід механічної енергії коливань конструкції до спеціального гасника. ДГК детально досліджені, в спеціалізованій літературі [1–5] обґрунтована ефективність їх застосування для захисту значної кількості споруд і широкого спектра навантажень. Відкритим залишається напрямком вдосконалення ДГК малої маси (не більше 5% ваги споруди). Проблема точної настройки параметрів таких ДГК полягає в тому, що частота і демпфірування коливань змінюється при експлуатації і при виникненні пошкоджень споруди при землетрусах. Досягти ефективної роботи ДГК можливо за рахунок збільшення маси гасника, до складу якого введена частина споруди [6–8].

Суть сейсмоізоляції полягає у використанні спеціальних конструктивних елементів, які знижують інерційні сейсмічні навантаження шляхом зниження основного тона коливань споруди. Способи сейсмоізоляції штучних споруд розділяються на стаціонарні (за наявності або відсутності повертаючої сили), в яких динамічні характеристики не змінюються під час землетрусу, і адаптивні, характеристики яких «приспосовуються» до сейсмічного впливу. Різновидом адаптивних систем є «системи з в'язями, що виключаються», які містять спеціально передбачені «зайві» елементи, першочергове руйнування яких при сейсмічних впливах зменшує жорсткість і власні частоти коливань конструкції, чим забезпечує їх збереженість. Другим напрямком адаптивних систем є «системи з в'язями, що включаються», які містять елементи, включення жорсткості яких в момент сейсмічного впливу призводить до різкого збільшення частоти коливань конструкції. Мета застосування обох типів адаптивного захисту – виведення частот автоколивань конструкцій з частотного спектру сейсмічних коливань ґрунту основи. Загальні принципи розрахунку і конструювання споруд з адаптивними системами сейсмічного захисту сформульовані д-ром техн. наук, проф. Я. М. Айзенбергом у [9] і розвинуті Л. Ш. Килимником у роботах [10; 11]. До адаптивних систем сейсмозахисту можуть бути віднесені системи з сейсмоізолюючим ковзним поясом, де граничним станом є відносне посунання ізолюваних частин споруди, яке підлягає поверненню до вихідного положення після землетрусу. Типовим прикладом такої конструкції є зсувна опорна частина мосту на фрикційно-рухомих болтових з'єднаннях.

Розробка технічних рішень для захисту конструкцій мостів від сейсмічних впливів

Прикладом активної системи сейсмозахисту може бути авторська конструкція сейсмостійкої опори, захищена патентом України на корисну модель [12], схема якої для випадків відсутності і наявності сейсмічних впливів зображена на рис. 2. Суть технічного рішення полягає в тому, що сейсмостійка опора містить два металевих листи, один з яких закріплений нерухомо до будівельної конструкції, а другий виконаний у вигляді піддону, кожен з двох металевих листів обладнаний електромагнітними пристроями, які з'єднані з керівним комп'ютером, датчиками положення опори та сейсмодатчиками, розміщеними в глибині ґрунту, які передають сигнали на комп'ютер.

Сейсмостійка опора моста працює таким чином: при відсутності сейсмоколивань будівельна конструкція 1 опирається на металевий лист будівельної конструкції 2 і піддон 3; під час виникнення сейсмоколивань вони фіксуються сейсмодатчиками 6 і передаються на комп'ютер 7, який подає сигнал на силову електропідстанцію 8 для вмикання електромагнітних пристроїв 4. Під дією магнітних полів, вздовж магнітних силових ліній 10 будівельна конструкція 1 з листом 2 піднімається над піддоном 3 та контролюється датчиками положення опори 5, які подають сигнали відхилення опори від середини площини під-

дону та від вертикального положення. Сигнали поступають до комп'ютера, який вирішує завдання демпфірування сейсмоколивань, передає рішення через силову підстанцію 8 на відповідні електромагнітні пристрої 4, які корегують положення будівельної конструкції 1. Після зникнення сейсмоколивань будівельна конструкція плавно знижується і встановлюється на піддон. Сейсмодатчики 6 розташовані в ґрунті на розрахунковій глибині по периметру будівельної конструкції та на значній відстані від неї - залежно від структури ґрунту та жорсткісних характеристик будівельної конструкції.

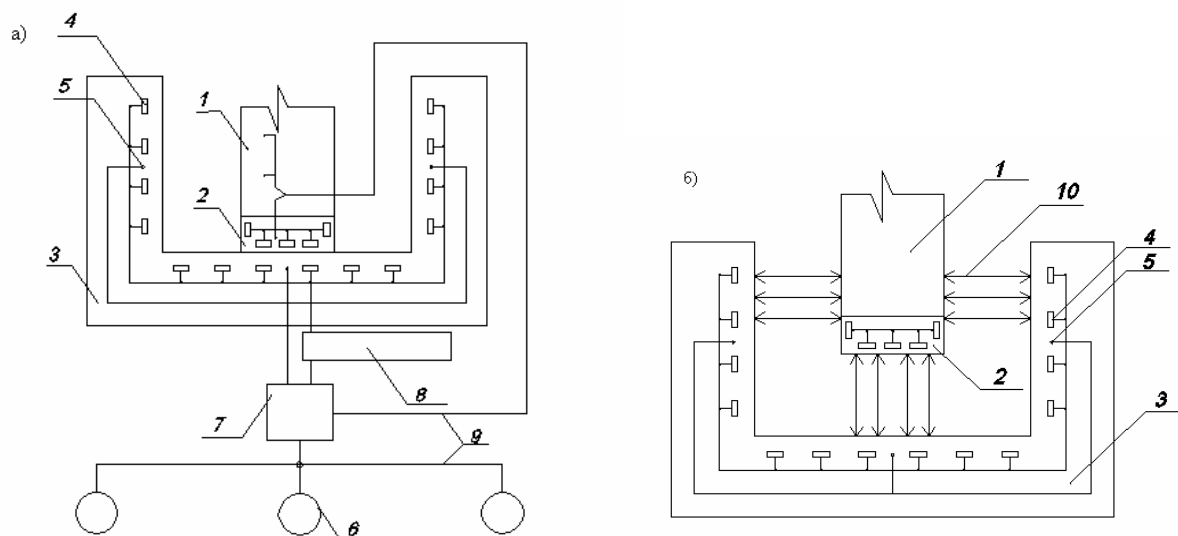


Рис. 2. Сейсмостійка опора:
а – випадок відсутності сейсміпливів; б – випадок наявності сейсміпливів

Результатом застосування такої конструкції є забезпечення сейсмостійкості будівельних конструкцій завдяки використанню керованого електромагнітного демпфірування під час сейсмічних коливань.

У напрямку адаптивних систем сейсмоізоляції автором статті розроблені кілька технічних рішень [13–15], спрямованих на забезпечення збереженості основних елементів мостів при руйнівному впливі сейсмічних навантажень, а також на підвищення ефективності ремонтно-відновлювальних робіт.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Коренев Б. Г. Справочник по динамике сооружений / Б. Г. Коренев и др. – М.: Стройиздат, 1972.
2. Б. Г. Коренев. Оптимальные параметры динамического гасителя колебаний при воздействии типа сейсмического / Б. Г. Коренев, В. С. Поляков // Сейсмостойкое строительство. – 1977. – № 3. – С. 37–42.

3. В. С. Поляков. К вопросу об эффективности динамического гасителя колебаний при сейсмических воздействиях // Строительная механика и расчет сооружений. – 1980. – № 5. – С. 49–53.
4. Резников Л. М. Эффективность динамических гасителей колебаний при нестационарных случайных воздействиях / Л. М. Резников, Г. М. Фишман // Строительная механика и расчет сооружений. – 1981. – № 1. – С. 56–59.
5. Савинов О. А. О применении динамического гасителя колебаний // Труды НИС ЛО Треста глубинных работ. – Л.–М.: Госиздат строит. литературы. – 1940. – Вып. 2. – С. 30–35.
6. Савинов О. А. К анализу сейсмозащитных свойств воздушной завесы / О. А. Савинов, С. И. Шейнина // Известия ВНИГ им. Б. Е. Веденеева. – 1980. т. 140. – С. 84–89.
7. Сахарова В. В. Использование пролетного строения для гашения сейсмических колебаний опор мостов / В. В. Сахарова, А. А. Симкин, А. А. Никитин, А. М. Уздин // Экспресс-информация ВНИИИС, сер. 14. Сейсмостойкое строительство. 1982. – Вып. 4. – С. 14–18.

8. Сахарова В. В. Динамический гаситель колебаний опор мостов // ВНИИС, сер. 14. Сейсмостойкое строительство. – 1979. – Вып. 6. – С. 6–8.
9. Рекомендации по проектированию зданий с включающимися связями // ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко. – М.: 1988.
10. Килимник Л. Ш. Методы целенаправленного проектирования в сейсмостойком строительстве. – М.: Наука, 1985.
11. Килимник Л. Ш. О проектировании сейсмостойких зданий и сооружений с заданными параметрами предельных состояний // Строительная механика и расчет сооружений. – 1975. – Вып. 2. – С. 40–44.
12. Косяк В. М. Декларацийний патент України на рисну модель / В. М. Косяк, Б. М. Бондаренко, О. Б. Бондаренко, В. В. Беліков. // «Сейсмостійка опора». Оubl. бюл. № 12 від 15.12.2004
13. Казакевич М. И. Декларацийний патент України на винахід / М. И. Казакевич, В. Н. Косяк // № 69109 «Сейсмостійкий фундамент». Оubl. бюл. № 8 від 16.08.2004.
14. Косяк В. Н. Декларацийний патент України на винахід № 69110 «Сейсмостійка опора». Оubl. бюл. № 8 від 16.08.2004.
15. Бондаренко Б. М. Декларацийний патент України на винахід № 70627 / Б. М. Бондаренко, В. Н. Косяк, Н. Б. Бондаренко // «Сейсмостійка опора». Оubl. бюл. № 10 від 15.10.2004.

Надійшла до редколегії 23.06.2005.