

## **ПРО НАДІЙНІСТЬ ПРОМИСЛОВО-ГОСПОДАРСЬКИХ СПОРУД В РАЙОНАХ З ПІДВИЩЕНИМ СЕЙСМІЧНИМ РИЗИКОМ**

Бицань Є.М.

Інститут геофізики ім С.І. Субботіна НАН України  
м. Київ, Україна

**АНОТАЦІЯ:** Питання про надійність споруд в районах з підвищеним сейсмічним ризиком в значній мірі визначається за допомогою математичної моделі взаємодії сейсмічної хвилі з фундаментом споруди.

**АННОТАЦИЯ:** Вопрос о надежности сооружений в районах с повышенным сейсмическим риском в значительной мере определяется с помощью математической модели взаимодействия сейсмической волны с фундаментом сооружения.

**ABSTRACT:** Reliability of buildings in areas with high seismic risk level is largely defined with the help of the mathematical model of relation of seismic wave with the building foundation.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** Надійність, відмова, сейсмічна хвиля, сейсмостійкість.

Надійність великих промислово-господарських споруд в районах з підвищеним сейсмічним ризиком являється однією з найважливіших прикладних задач будівельної механіки. Під надійністю розуміють здатність певної промислово-господарської споруди (системи) виконувати свої задані функції на протязі певного зумовленого часу при заданих умовах експлуатації [1]. Неможливість системи виконувати свої функції називають відмовою. Причиною відмови є вихід нормативних параметрів системи за певні границі, що робить неможливим виконувати її функції.

Надійність залежить від структури об'єкта і його параметрів. Найважливішою задачею надійності є дослідження довговічності

(безаварійності) роботи системи. Для цього потрібно проаналізувати роботу всіх елементів системи і з'ясувати, від яких факторів залежить працездатність системи протягом заданого (гарантованого) часу. Історично про надійність почали говорити в 50-х роках XX століття, але ці питання були актуальними з давніх часів. Йшлося перш за все про довговічність споруд, що включала в собі як технологічні питання, пов'язані з властивостями матеріалів, з яких зводились споруди, так і всі інші питання, що відносилися до техніки будівництва, які до цього часу зберігають багато таємниць. Ще слід зауважити, що розмова про довговічність набула особливого теоретичного аспекту після розробок основ теорії пружності і її прикладних варіантів - опору матеріалів та будівельної механіки.

Надійність являється якісною абстрактною характеристикою, що не є фізичним параметром і не може бути вимірена ніяким приладом. Надійність може бути підрахована за допомогою певного алгоритму для визначення шуканої характеристики досліджуваного об'єкта. Розробка цього алгоритму і є метою дослідження задачі про надійність промислового об'єкта. Гарантія працездатності споруди дається за допомогою математичної моделі промислово-господарської системи, за допомогою якої прогнозується зміна нормативних параметрів на протязі розрахункового терміну роботи споруди. Сутність надійності проявляється в безвідмовності, довговічності і ремонтоздатності промислово-господарських споруд.

Поняття безвідмовності, довговічності і надійності промислово-господарських споруд тісно пов'язані між собою. Вони являються взаємодоповнюючими в тому розумінні, що ймовірність відмови  $\gamma_1$  і ймовірність безвідмовної роботи  $\gamma_2$  задовольняють такому співвідношенню:

$$\gamma_1 + \gamma_2 = 1.$$

Вимога до надійності полягає в тому, що повинні враховуватись всі можливі ситуації. Можуть бути непередбачувані ситуації, що враховуються за допомогою теорії ризику шляхом введення коефіцієнтів запасу. Відмови можуть бути випадковими або закономірними в залежності від того чи прогнозовані вони самими умовами експлуатації промислово-господарських об'єктів і можуть бути враховані технологічно, чи ні - мають випадковий непередбачуваний характер. В першому випадку відмова залежить від умов і режиму експлуатації, коли певні елементи промислово-господарського об'єкту мають гарантійний термін роботи менший від терміну роботи цього об'єкта в цілому, що вимагає планової

заміни, або планового ремонту цих елементів. Ще слід зауважити на необхідність постійного моніторингу деформацій в найважливіших елементах споруди з метою не пропустити небезпечну ситуацію внаслідок виникнення деформацій, що перевищують критичні значення. Параметри промислово-господарських об'єктів визначаються з певними похибками і носять випадковий характер, внаслідок чого границі для параметрів, що визначають їхні допустимі значення, які гарантують безвідмовну роботу споруди, підраховуються і оцінюються за допомогою імовірнісних методів. Вони мають певну специфіку, а тому треба чітко уявляти можливості цих методів, внаслідок чого існує дві сторони застосування імовірнісних і статистичних методів - переоцінка ролі статистичних методів і їх недооцінка. Сутність проблеми в тому, що статистичні методи доцільно застосовувати у випадку масових подій. В задачах будівельної механіки, задачах сейсмостійкості маємо місце з конкретним об'єктом, а тому не мають місце масові події. Можна сказати, що надійність являється багатоланцюговим елементом, що залежить від цілого комплексу подій і можна говорити не про надійність роботи системи в цілому, а про надійність роботи певних ділянок роботи промислового об'єкту. Промислово-господарська споруда ускладнюється зі збільшенням кількості її складових, і є сенс розбивати її на окремі блоки, замінюючи зв'язок між ними певними зусиллями і досліджуючи надійність роботи кожного з цих блоків окремо. В цьому випадку для дослідження надійності треба дослідити ланцюжок - надійність, відмова, ризик, коефіцієнт запасу всіх блоків промислово-господарського об'єкту.

Одним з найважливіших питань є сейсмостійкість споруди (об'єкта). Основною задачею сейсмостійкості є дослідження механічних (хвильових) процесів в середовищі, де розташовані промислово-господарські споруди [2, 3]. Все зводиться до визначення критичної величини сейсмічного імпульсу, породженого сейсмічною хвилею, що характеризується особливостями, що залежать від властивостей середовища, в якому вони поширюються, силою землетрусу, відстанню до епіцентру і поглинаючими властивостями середовища. Інформація про величину сейсмічного імпульсу (удару) необхідна для знаходження напруг і деформацій в елементах промислово-господарських споруд. Головна складність проблеми полягає в тому, що сейсмічні хвилі неможливо описати аналітично, що необхідно при розв'язанні динамічної задачі будівельної механіки. Врахування випадкового характеру сейсмічної хвилі вимагає застосування методів теорії ймовірності. Складність проблеми викликана тим, що про природу землетрусу і механізм взаємодії сейсмічної хвилі і споруди маємо дуже мало

достовірної інформації і неможливо її отримати в необхідній мірі на даний час. Задача зводиться до статистичного аналізу взаємодії сейсмічної хвилі на споруду і визначення ймовірності виходу споруди з експлуатації, чим і займається теорія надійності. Імпульс не повинен перевищувати критичних значень в тому плані, що викликані ним деформації і напруги повинні бути меншими від критичних значень, що викликають незворотні руйнування в елементах споруди. Ще потрібно враховувати остаточні деформації від землетрусів, їхнє накопичення після серії сейсмічних імпульсів.

В розрахунковій моделі виділяється важливий момент взаємодії сейсмічної хвилі з фундаментом, так що в моделі можна виділити три моменти - прогнозування величини сейсмічного імпульсу (в першу чергу його енергії), діючого на промислово-господарський об'єкт, взаємодія сейсмічної хвилі з фундаментом і розв'язання динамічної задачі теорії пружності (будівельної механіки) для споруди. Розрахункова модель має бути максимально простою, щоб можна було застосовувати як можна простіші математичні методи і водночас повинна досить адекватно відповідати реальній споруді з тим, щоб розрахункові величини були близькими до фактичних, що входить до характеристики інженерного розв'язку. Ще слід зауважити, що розрахункова модель ідеалізує роботу елементів конструкції, замінюючи їх як можна простішими, внаслідок чого коефіцієнти рівнянь якої задаються неточно. Причина може бути різна. Можна вважати, що коефіцієнти мають випадковий характер і внаслідок цього будуть непередбачуваними, але близькими до заданих. За допомогою математичної моделі аналізується взаємодія сейсмічних хвиль і промислово-господарських споруд і визначаються напруження і деформації в елементах системи з метою визначення критичних значень параметрів системи - перш за все граничні значення зміщень, напружень і деформацій в елементах системи, що викликані певними критичними навантаженнями, і ймовірність виникнення цих критичних значень внаслідок дії сейсмічних навантажень, по суті ймовірність граничних (критичних) значень сейсмічних зусиль, причому критичними можуть бути не лише величини цих сил (амплітуди), а і частоти. Отримавши критичні значення напруг і деформацій, можна зробити висновок про надійність споруди, звідки випливає необхідність контролю над цими параметрами, а тим самим ставиться питання про створення системи контролю за критичними параметрами, тобто створення постійно діючого моніторингу над критичними параметрами. Перевищення критичних значень параметрів споруди приводить до її руйнування. Одним із найважливіших питань, що розв'язуються за допомогою математичної

моделі - вияснення причин, які приводять споруду до руйнування. Руйнування споруди може статися внаслідок перевищення критичних значень нормативних параметрів в споруді, маючи на увазі крім статичних і динамічних величин і їхні статистичні характеристики. Закон руйнування - один із найважливіших елементів математичної моделі. Руйнування споруди може відбутись внаслідок перевершення критичних зусиль в споруді. Неспівпадання розрахункових і спостережуваних значень параметрів системи являється підставою для введення коефіцієнту запасу, що повинен гарантувати споруду від руйнування, і що приводить до подорожчання споруди.

Причини відмов доцільно поділити на кілька груп. Перша група пов'язана з особливостями технологічних процесів і її можна залишити осторонь. Друга група стосується механічних питань щодо міцності і довговічності промислово-господарської споруди і пов'язана з постановкою і розв'язанням динамічної задачі будівельної механіки. Параметри задачі задаються з похибками. Це не тільки механічні властивості матеріалів, а і інформація про зовнішні сили, діючі на споруду.

Важливе значення мають оцінки точності. Мова може іти про точність математичної моделі, що залежить від багатьох факторів. Перш за все мова іде про врахування всіх моментів, від яких залежить розв'язок динамічної задачі теорії пружності - крайові умови, механічні параметри, нехтування величинами, вплив яких має однаковий порядок з похибками механічних параметрів. Точність математичної моделі визначає точність визначення зміщень, напруг і деформацій, що являються одними з найважливіших нормативних параметрів, за допомогою яких можна робити висновки про надійність промислово-господарської споруди. Ще слід зауважити, що питання точності розв'язку динамічної задачі будівельної механіки досить багатогранне. По-перше - похибки внаслідок неточності механічних параметрів матеріалів. По-друге - похибки внаслідок спрощень в математичній моделі. Сумарні похибки можуть бути досить значними – наприклад, розрахункові власні частоти споруди можуть істотно відрізнятись від експериментально отриманих [4].

Ще зауважимо, що будь-яка конструкція в процесі експлуатації зазнає певного ризику. Ризик включає велике коло питань, які можна розбити на три групи: ризик, викликаний природними факторами, ризик, пов'язаний з діяльністю людини - людський фактор, і ризик, викликаний господарською діяльністю. До першої групи відносяться задачі сейсмостійкості. Друга група питань зводиться до побудови математичної моделі, що аналізує всі ризики, які враховуються при побудові інженерного розв'язку. Зауважимо, що розраховані за допомогою математичної моделі

напруження і деформації не співпадають з реальними. Теорія ризику підраховує ризики для різних варіантів розрахунків з тим, щоб вибрати оптимальний, для якого ризик буде мінімальним. Зовнішні сили оцінюються за своїми максимальними значеннями і внаслідок цього конструкція стає більш габаритною і дорогою. Теорія ризику має на меті зменшити вартість споруди, не зменшуючи ні в якому разі її надійність. Це досягається шляхом зменшення механічних параметрів системи, не зменшуючи критичних значень її параметрів. Третя група пов'язана з господарською діяльністю, і враховує ймовірність негативного впливу цих об'єктів на роботу досліджуваного об'єкта. Ризик підраховується для подій, що можуть відбутися з певною ймовірністю. Ризик пов'язаний з витратами на будівництво і залежить від великого комплексу причин, перш за все від призначення, умов роботи і часу експлуатації господарського комплексу. Ризик підраховується для невідомих і випадкових елементів (подій), що впливають на роботу досліджуваного об'єкта, причому випадковою подією вважатимемо таку прогнозовану подію, яка може наступити з певною ймовірністю на відміну від події, яка не розглядається як можливою.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Половко А.М. Основы теории надежности / Половко А.М. - М.: Наука, 1976. – 277 с.
2. Болотин В.В. Статистические методы в строительной механике / Болотин В.В. – М.: Стройиздат, 1965. – 280 с.
3. Медведев С.В. Инженерная сейсмология / Медведев С.В. – М.: Стройиздат, 1978. – 204 с .
4. Карапетян Б.К. Колебания сооружений, возведенных в Армении / Карапетян Б.К. – Ереван: Айастан, 1967. - 172 с .

## REFERENCES

1. Polovko A.M. Foundations of the reliability theory / Polovko A.M. – М.: Nauka, 1976. – 277 p.
2. Bolotin V.V. Statistical methods in structural mechanics / Bolotin V.V. – М.: Strojisdat, 1965. – 280 p.
3. Medvedev S.V. Earthquake engineering / Medvedev S.V. – М.: Strojisdat, 1965. – 280 p.
4. Karapetjan B.K. Oscilation of buildings constructed in Armenia / Karapetjan B.K. – Jerevan: Ajastan, 1967. - 172 p.

Стаття надійшла до редакції 24.09.2014 р.