

10. Новожилов М. Г. Открытые горные работы / М. Г. Новожилов. - М.: Недра, 1965. - 553 с.
11. Хохряков В. С. Открытые горные работы / В. С. Хохряков. - М.: Гостоптехиздат, 1963. - 360 с.
12. Фридман Б. Э. Разработка россыпных месторождений гидромеханизацией / Б. Э. Фридман. - М.: Металлургиздат, 1957. - 217 с.
13. Белан А. Е. Технико-экономические расчеты водопроводных систем на ЭВМ / А. Е. Бе-

лан, Л. Д. Хоруджий. - К.: Вища школа, 1979. - 192 с.

14. Брагин Б. Ф. Проектирование сооружений и систем трубопроводного и інших видів транспорту / Б. Ф. Брагин, Ф. Д. Маркунтович, Н. Б. Чернецька. - Луганськ: Вид-во СНУ ім. В. Даля, 2004. - 208 с.

Поступила 10.03.2015



УДК 622.012.2:69.059

Производство

**Б. М. Андреев /д. т. н./, Д. В. Бровка /к. т. н./,
В. В. Хворост /к. т. н./**
ДВНЗ «Криворізький національний університет»

Визначення надійності та обґрунтування параметрів об'єктів на поверхні шахт з урахуванням переходу на полегшені огорожувальні конструкції

Викладено концепцію надійності несучих конструкцій на поверхні шахт та виробничої безпеки як складової частини промислової безпеки. Наведено основні терміни та визначення надійності, відзначено основні небезпеки стану прогонових споруд шахто-видобувних підприємств. Розглянуто основні положення теорії надійності. Наведено математичні формулювання, що використовуються при оцінці та розрахунку основних властивостей і параметрів надійності технічних об'єктів. Виконано аналіз напружено-деформованого стану прогонових споруд за умови переходу їх на полегшені огорожувальні конструкції. (Л. 2. Бібліогр.: 6 назв.).

Ключові слова: надійність, об'єкти, шахта, огорожувальні конструкції

The concept of reliability of the bearing constructions on the surface of mines and production safety as a component of industrial safety is stated. The main terms and determination of reliability are provided, the main dangers of condition theory of superstructures of mine extracting enterprises are specified. Fundamental principles of the theory of reliability are considered. Mathematical formulations used at an assessment and calculation of critical parameters and parameters of reliability of technical objects are provided. The analysis of the intense deformed condition of superstructures is made upon their transition to the facilitated protecting designs.

Key words: reliability, objects, mine, walling

Окреслення проблеми та її зв'язок з практичними завданнями

Основні питання, які вивчає теорія надійності, – відмови технічних елементів об'єктів поверхні; критерії та кількісні характеристики надійності; методи аналізу та підвищення надійності елементів і об'єктів у цілому на етапах проектування, виготовлення, експлуатації та реконструкції; методи випробувань на надійність; методи оцінки ефективності підвищення надійності.

У конкретних галузях техніки досліджуються прикладні питання надійності. При цьому ви-

рішується питання про найбільш раціональне використання загальної теорії надійності в конкретній області техніки і ведеться розробка таких нових положень, методів і прийомів, які відображатимуть специфіку певного напрямку. У практиці вітчизняного шахтного будівництва значний внесок у розвиток проектування прогонових споруд зроблений науково-дослідними, проектно-конструкторськими і навчальними організаціями: ДП ДПІ «Кривбаспроект», інститут «Механобрчормет», ДПІ «Ленінградський Промбудпроект», Ленінградське відділення

ЦНШПСК, ДПІ «Уральський ПромбудНДІпроект», ДПІ «Харківський ПромбуднДІпроект та ін. Ними створено перші методики розрахунку прогнотних споруд.

У джерел сучасної школи проектування прогнотних споруд лежать праці таких відомих вітчизняних інженерів і вчених, як: М. Є. Лініцький, Б. В. Горенштейн, А. Г. Марголін, Л. М. Ізюмська та ін.

Питаннями будівельного проектування конвеєрних галерей зі сталевими конструкціями прогнотних споруд і опор займалися дослідні інститути та їх провідні співробітники: ДПІ «Ленпроектстальконструкція» (Є. С. Олександрівська, Ю. С. Плішкін, А. С. Файнітейн, Ю. С. Зорін, В. А. Крупський, Ю. Н. Мірвіс, М. Б. Солодар), «Ленпромбудпроект» (В. Ф. Хрущов, А. Ф. Відяєв), ДПІ «Дніпропроектстальконструкція» (А. Є. Любін, А. Г. Роздольський, А. Ф. Сафронков, В. А. Шевченко), ЦНШПромбудівель (Н. А. Ушаков), Донецький ПромбудНДІпроект (В. Д. Вейсбейн).

Завдяки проведеним дослідженням і накопиченому практичному досвіду будівництво та реконструкція прогнотних споруд широко та з високою ефективністю впроваджувалися в гірничодобувну промисловість. Незважаючи на це, простежується тривалий застій у динаміці розвитку техніко-економічних показників будівництва прогнотних споруд, не спостерігається розвиток і вдосконалення технологічних схем ведення робіт і реконструкції, не відбувається модернізація обладнання, що суперечить тенденції розвитку шахтного будівництва у світових гірничодобувних країнах. При цьому визначається перспективний напрям розвитку технології реконструкції галерей, який полягає у заміні старих залізобетонних огорожувальних конструкцій на сучасні полегшені матеріали.

Постановка завдання

Одним з основних понять теорії надійності є поняття відмови (об'єкта, елемента, системи) [6].

Відмова об'єкта – подія, яка полягає в тому, що об'єкт повністю або частково перестає виконувати задані функції. При повній втраті працездатності виникає повна відмова, при частковій – часткова.

Робота будь-якої технічної системи може характеризуватися її ефективністю [5] (рис. 1), під якою розуміється сукупність властивостей, що визначають здатність системи виконувати при її створенні певні завдання.

Відповідно до ДБН В.1.2-14-2009 [4] під надійністю розуміють властивість об'єкта зберігати в часі у встановлених межах значення всіх параметрів, що характеризують здатність виконувати необхідні функції в заданих режимах і умовах застосування, технічного обслуговування, ремонтів, зберігання і транспортування.

Таким чином сформульовані основні поняття:

1. Надійність – властивість об'єкта зберігати в часі здатність виконувати необхідні функції.
2. Виконання необхідних функцій має відбуватися при значеннях параметрів у встановлених межах.
3. Здатність виконувати необхідні функції має зберігатися в заданих режимах і умовах.
4. Об'єкт має зберігати здатність виконувати необхідні функції в різних фазах: при робочій експлуатації, технічному обслуговуванні та ремонті.

Найважливішою динамічною характеристикою прогнотної споруди галереї є частота власних поперечних коливань. При динамічних розрахунках галерей можна враховувати тільки першу частоту власних коливань, середнє ймовірне значення якої може бути визначене за формулою:

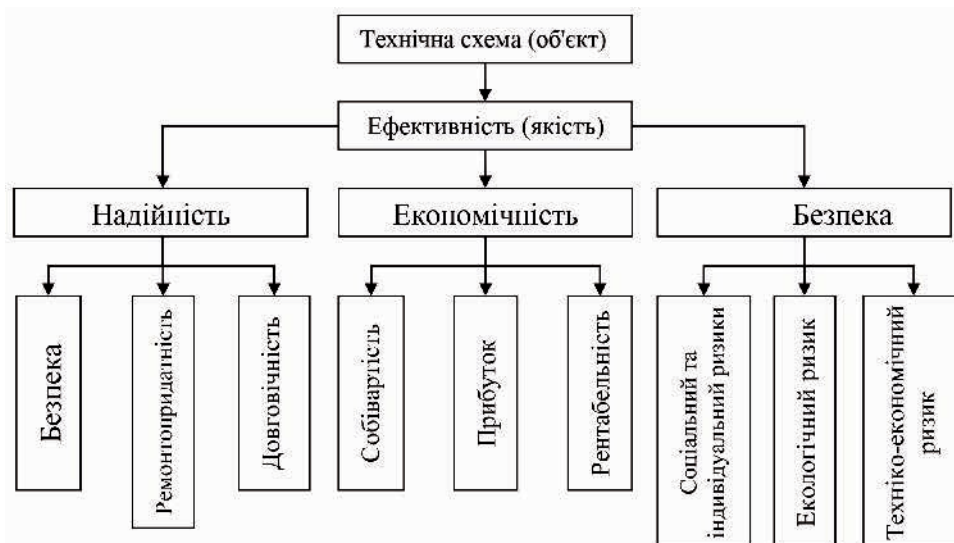


Рис. 1. Основні властивості технічних систем

$$\theta = \alpha \frac{\beta}{l} \sqrt{\frac{Ehq_1}{R_o q_2}}, \quad (1)$$

де α – коефіцієнт, який для галерей з розташуванням транспортера по низу ферм дорівнює 9, а по верху – 10,5; β – коефіцієнт, який дорівнює 1 при розрахунку середньої прогонової споруди і за монограмою – крайньої прогонової споруди з консоллю; q_2 – розрахункова вага прогонової споруди з усіма навантаженнями, які мають масу, за винятком навантажень від натовпу, просипу і деталей; q_1 – розрахункова вага прогонової споруди з усіма тимчасовими навантаженнями, які мають масу; R_o, E – розрахунковий опір і модуль пружності матеріалу поясів головних ферм; h, l – розрахункова висота і довжина прогону головних ферм.

При розрахунку несучих конструкцій на дію періодичних навантажень точність розрахунку суттєво залежить від точності вихідних даних. Оскільки вихідні дані (конструктивні схеми, навантаження, жорсткості елементів і стиків, маси) для будівельних конструкцій задаються з порівняно невеликою точністю, похибка при розрахунку на резонанс може в багато разів перевищити звичайні для інженерних розрахунків межі, особливо при малих значеннях коефіцієнта непружного опору. Тому при розрахунку на гармонійні й періодичні навантаження обов'язково має враховуватися можлива похибка у визначенні власних частот, а також можливість зміни власних частот конструкцій у процесі експлуатації будівлі або споруди. Ця похибка враховується введенням частотних зон, усередині яких перебуває розрахункове значення власної частоти.

Ширина резонансної зони (область θ_1' , θ_1'' значень нижчої частоти власних вертикальних коливань прогонової споруди) становить:

$$\theta_1' = 0,9 \theta_{1min}, \theta_1'' = 1,1 \theta_{1max}; \quad (2)$$

де θ_{1min} і θ_{1max} – відповідно, мінімальне і максимальне значення нижчої власної частоти вертикальних коливань прогонової споруди.

Значення θ_{1min} і θ_{1max} відповідають найменшій і найбільшій масі прогонової споруди.

Викладення матеріалу і результатів дослідження

Заміна огорожувальних конструкцій спричиняє зниження постійних навантажень на відповідні елементи галереї, такі як: перекриття, покриття та стіни. Для того щоб простежити, як зміни навантажень будуть впливати на міцність й динамічні характеристики галереї, теоретичні дослідження проводилися в декілька етапів.

У результаті заміни залізобетонних конструкцій на полегшені постійне навантаження на сті-

ни зменшилося на 33,7 %, що, у свою чергу, призвело до зниження маси прогону галереї на 8 %. Решта навантажень залишилися без змін. При заміні перекриття постійне навантаження зменшилося на 53,3, а маса прогону – на 16 %. Коли замінили покриття галереї, тоді знизилася постійне навантаження на 14,93, а маса на 16,5 %. На останньому етапі проводилася заміна всіх огорожувальних конструкцій, що в кінцевому результаті знизило масу прогону на 40,5 %.

Отже, полегшені огорожувальні конструкції залежно від їх жорсткості й маси збільшують величину власних вертикальних коливань на 5...36 %.

З результатів проведених досліджень випливає, що в галереях з довжиною прогону 24 і 30 м систематичні резонансні коливання виключено навіть при повній заміні огорожувальних конструкцій. Небезпечним є прогін завдовжки 18 м, в якому може реалізуватися резонансний режим. Виходячи з цього, розрахунки на міцність, стійкість і витривалість необхідно виконувати тільки для цього прогону.

Подальші дослідження проведені за допомогою комп'ютерного моделювання міцнісних і динамічних характеристик прогонових споруд.

Розрахунок виконано за допомогою проектно-обчислювального комплексу SCAD. Комплекс реалізує скінчено-елементне моделювання статичних і динамічних розрахункових схем, перевірку стійкості, вибір невідповідних поєднань зусиль, підбір арматури залізобетонних конструкцій, перевірку несучої здатності сталевих конструкцій.

За результатами проведених досліджень встановлено, що власна частота коливань прогонової споруди перебуває в обернено пропорційній залежності від маси її елементів і довжини прогону. Подібна залежність спостерігається для прогонів завдовжки 18, 24 і 30 м.

Розбіжність отриманих параметрів з результатами теоретичних розрахунків за існуючою методикою не перевищує 10 %.

Отже, зіставивши значення частоти вимушених коливань з резонансним діапазоном, можна зробити висновок про те, що потрапляння в резонанс для прогонів 24 і 30 м не відбувається. У той же час резонанс реалізується в прогоні галереї завдовжки 18 м при зменшенні маси прогону на 40,5 %.

Також була встановлена залежність внутрішніх зусиль в елементах ферми від маси прогону. При розрахунку від статичної складової навантаження простежується пряма залежність внутрішніх зусиль від маси прогону. Зі зменшенням маси зусилля від статичного навантаження зменшуються. Що стосується динамічної скла-

дової навантаження, то тут простежується зворотна залежність. Величина динамічних зусиль в елементах ферми збільшується при зменшенні маси прогону, а при наближенні частоти вимушених коливань – до першої частоти вільних коливань, тобто при режимах, близьких до резонансу, навіть перевищує величину статичних зусиль.

Аналіз динамічного розрахунку показав, що в умовах резонансу зусилля в елементах зростають на 30 %. Це може призвести до аварійної ситуації, тому необхідно виконати перевірні розрахунки на міцність, стійкість і витривалість.

Експериментальні дослідження динаміки прогонової споруди виконані на діючій транспортній галереї.

Метою обстеження та випробування натурної споруди (галереї) динамічним експлуатаційним навантаженням є: реєстрація параметрів, що характеризують роботу конструкцій під навантаженням і порівняння їх з допустимими, що дає можливість перевірити умови експлуатації; на відміну від вимог, що висувуються до конструкцій, які сприймають лише статичне навантаження. При дослідженні динаміки споруди необхідно не тільки оцінити роботу за граничними станами, а й перевірити дотримання умов, специфічних для експлуатації конструкцій, схильних до коливань.

Основним джерелом вібрацій галереї є приводи конвеєрів. При роботі перелічених джерел вібраційних навантажень в елементах конструкцій будівель виникають вібраційні процеси, які складно моделювати, використовуючи сучасні моделі одночасного моделювання систем.

Для реєстрації кінематичних характеристик системи (прискорення, швидкість, переміщення) використовувалися акселерометр АП-100 і п'єзоакселерометр ПСЗ у комплексі з цифровим аналізатором спектра АС-6400, що працює в режимах «СПЕКТР», «ВІБРОМЕТР», «СИГНАЛ».

Застосування описаної вище апаратури, за допомогою якої отримують вже відцифровані результати реєстрації вібросигналу, дозволяє суттєво збільшити число вимірювань, а отже, і точність отриманих результатів досліджень.

У приладі АС-6400 передбачено можливість передавання записів результатів вимірювань з пам'яті приладу в персональний комп'ютер. При розрахунку елементів конструкції на динамічний вплив необхідно визначити спектри їх власних частот. У приладі, що використовувався, передбачено цю процедуру. Однак реєстрацію вільних коливань конструкції можна отримати тільки від великих зовнішніх впливів (наприклад, від сейсмічних коливань).

Можливість проведення порівняльних експериментів була надана ТОВ «Криворіжшахтобуд» на транспортній галереї до реконструкції. Огороджувальні конструкції, плити підлоги та покриття галереї до заміни являли собою збірні залізобетонні плити, стіни, виконані із залізобетонних тришарових панелей. Галерею обладнано стрічковим конвеєром.

При експериментальних дослідженнях динамічних процесів, що відбуваються в конструкції галереї в робочому режимі конвеєра за відсутності кускової руди на стрічці та за її наявності, реєструвалися коливання прогонових споруд.

Для ферм марки Ф1, Ф2, Ф3 і Ф4 було проведено вимірювання віброприскорень, вібропереміщень і спектр віброприскорень у вузлах. Вимірювання проводилося при холостому і робочому ході конвеєра.

При аналізі спектрограми віброприскорень в області низьких частот вузла № 9 ферми Ф1 по осі В₂ встановлено, що коливання формуються на тих смугах частот, що і коливання конвеєра з частотою 5,63 Гц та амплітудою прискорень 0,0019 м/с² при незавантаженому конвеєрі. У проміжки часу від 0 до 1248,0 мс вібропереміщення вузла № 9 досягає максимального значення 34,36 мкм. Наявність вантажу на конвеєрі не змінила основну частоту коливань, але вплинула на величину амплітуди прискорень, значення якої зросло до $A = 0,0167$ м/с². У проміжки часу від 0 до 1635,2 мс вібропереміщення вузла № 9 досягає максимального значення 8,41 мкм. Те саме відбувається і у фермах Ф2, Ф3 і Ф4.

Аналіз амплітудних спектрів і графіків віброприскорень показує, що коливання у фермах формуються на низьких частотах (3–60 Гц).

Частоти коливань, отримані в результаті проведених експериментальних досліджень на діючій галереї, вписуються в діапазон частот, отриманих розрахунковим шляхом.

Порівняльний аналіз результатів теоретичних розрахунків з визначення динамічних характеристик прогонової споруди галереї з результатами експериментальних досліджень вказує на те, що: експериментальне значення частоти динамічного збурення від конвеєра трохи вище за розрахункове $35,4 > 31,4$ с⁻¹; середня розрахункова частота динамічного збурення від конвеєра для ферм Ф1, Ф2, Ф3, Ф4 і балок покриття та перекриття не потрапляє в першу резонансну зону, що виключає реалізацію резонансного режиму.

Подальші експериментальні дослідження вібрації ферм проводилися на прогонових спорудах транспортної галереї з полегшеними огорожувальними конструкціями.

Аналіз амплітудних спектрів і графіків віброприскорень показує, що коливання у фермах відбуваються на низьких частотах (3–100 Гц).

Згідно з отриманими результатами замірів ферм марки Ф1, Ф3 і Ф4 з полегшеними огороджувальними конструкціями, значення віброприскорення, віброшвидкості і переміщень не перевищують допустимих, що свідчить про надійну роботу конструкцій після полегшення.

Аналіз результатів замірів віброприскорень для прогону завдовжки 18 м (ферма Ф2) показав, що при роботі конвеєра істотно збільшується максимальне значення віброприскорення, віброшвидкості і переміщень як у вертикальному, так і поздовжньому напрямках. Збільшення віброприскорень у вертикальному напрямку становить 30–35 разів, а в поздовжньому напрямку – 6–9 разів, що свідчить про потрапляння частоти динамічного збурення від конвеєра в першу резонансну зону, що призводить до реалізації резонансного режиму.

З отриманих результатів досліджень випливає, що значення амплітуди прискорення для ферми Ф2 перевищує допустимі значення.

Аналіз результатів замірів показав, що максимальне значення віброприскорень перевищує на 10–15 % допустимі значення.

Закономірності, виявлені в результаті теоретичних, експериментальних досліджень і в комп'ютерному моделюванні, використано для розробки рекомендацій з визначення раціональних конструктивних параметрів прогонових споруд при переході на полегшені огороджувальні конструкції.

За результатами комп'ютерного моделювання виведено залежність верхньої та нижньої меж резонансної зони від поєднання статичних навантажень. Так, чим меншим є статичне навантаження, тим вищим є значення резонансних зон.

З метою спрощення перевірки потрапляння частоти збурення в першу резонансну зону ми ввели коефіцієнт K , який враховує вплив відношення мінімального до максимального поєднання навантажень q_1/q_2 на частоту власних коливань.

За результатами проведених досліджень опосередковано графік залежності меж резонансних зон від коефіцієнта K (рис. 2).

З графіка (рис. 2) видно, що при коефіцієнті, який відповідає полегшенню загальної маси прогону приблизно на 37,6 %, значення частоти вимушених коливань ω потрапляє в першу резонансну зону, тобто виникає резонанс.

У результаті проведених досліджень отримано ряд залежностей, завдяки яким значно спрощуються перевірки розрахунки на стадії проектування реконструкції прогонових споруд.

Висновки і напрямок подальших досліджень

1. Встановлено, що у галерей з довжиною прогонів 24, 30 м значення частоти від динамічного збурення конвеєра не потрапляє всередину резонансної зони. Небезпечним є прогін завдовжки 18 м, в якому при повній заміні огороджувальних конструкцій реалізується резонанс.

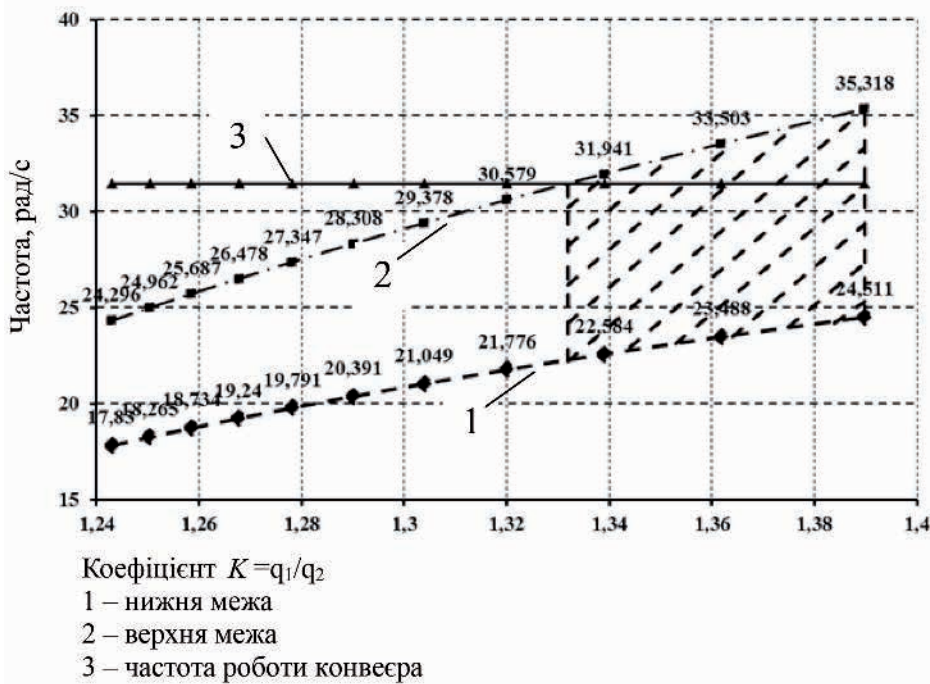


Рис. 2. Залежність меж резонансної зони від коефіцієнта K

2. Доведено, що відношення напружень від динамічних і статичних навантажень, що враховується коефіцієнтом динамічності прогонової споруди, знаходиться в лінійній залежності від відношення максимального поєднання навантажень цієї споруди до мінімального і не має перевищувати 1,7, що необхідно враховувати при розрахунку зусиль в елементах прогонової споруди для визначення її міцності, стійкості і довговічності.

3. Встановлено, що застосування введеного коефіцієнта K значно спрощує проектування реконструкції прогонових споруд на початковій стадії ще при зборі навантажень.

Бібліографічний список

1. Руководство по проектированию транспортерных галерей / М. Е. Липницкий, Б. П. Пасынков, А. Д. Ним [и др.] // Ленинградский промстройпроект, Уралпромстройниипроект и др. – М.: Стройиздат, 1979. – 131 с.

2. Пособие к СНиП 2.09.03-85. Пособие по проектированию конвейерных галерей. – М.: Стройиздат, 1989.

3. СН 245-71 Санитарные нормы проектирования промышленных предприятий. – М. Стройиздат, 1972 г.

4. ДБН В.1.2-14-2009. Общие принципы обеспечения надёжности и конструктивной безопасности зданий, сооружений, строительных конструкций и оснований / Минрегионстрой Украины, 2009

5. Диллон Б. Инженерные методы обеспечения надёжности систем / Б. Диллон, Ч. Сингх. – М.: Мир, 1984. – 318 с.

6. Томаков В. И. Прогнозирование техногенного риска с помощью «Деревьев отказов»: учебн. пособие / В. И. Томаков. – Курск: Курск. гос. техн. ун-т, 1997. – 99 с.

Поступила 31.08.2015

