

В. В. ХВОРОСТ¹, канд. техн. наук, доц., Криворізький національний університет

ВПЛИВ ДИНАМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ НА МІЦНІСТЬ І СТІЙКІСТЬ КОНСТРУКТИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ, РОЗТАШОВАНИХ НА ПОВЕРХНІ ШАХТ ГІРНИЧО-МЕТАЛУРГІЙНОГО КОМПЛЕКСУ КРИВБАСУ

Проаналізовано загальні вимоги до динамічного розрахунку будівель і споруд поверхні шахт.

Існуюча нормативна база з управління безпекою будівельних об'єктів не повною мірою справляється з покладеними на неї завданнями, а норм, що регламентують ризик аварії будівель, немає взагалі. Використання в будівництві методики нормування, заснованої на коефіцієнтах надійності, теоретично забезпечує безпеку будівельних конструкцій. Однак, досвід експлуатації конструкцій показує, що надійність є необхідним, але не достатньою умовою безпеки.

Встановлено, що в 80% випадків причиною будівельних аварій є грубі людські помилки, що допускаються при проектуванні, виготовленні та монтажі несучих конструкцій, які при невигідному сполученні з непередбачуваними факторами природно-кліматичного і техногенного характеру стають причинами обвалень споруджуваних і вже побудованих будівель і споруд.

Сучасний рівень розвитку техніки характеризується широкою механізацією і автоматизацією виробничих процесів, оснащенням промислових підприємств новітніми верстатами і машинами, а також точної вимірювальної апаратурою для контролю технологічних операцій. Все це підвищує значення динамічного розрахунку як основи заходів по боротьбі з коливаннями проєктованих будівельних конструкцій.

Зменшення коливань конструкцій при роботі машин часто необхідно не тільки для забезпечення довговічності самих конструкцій, а й для ліквідації шкідливої дії коливань на людей, обслуговують виробництво, а також на технологічні операції, нерідко відрізняються високою точністю. Сучасний динамічний розрахунок несучих конструкцій будівель переслідує саме ці цілі. Його першочерговим завданням є оцінка інтенсивності очікуваних коливань ще до зведення споруди та перевірка допустимості цих коливань з точки зору їх впливу на людей, виробничі процеси та будівельні конструкції. Можна вважати, що завдання динамічного розрахунку виконані, якщо очікувані коливання виявляються допустимими з усіх зазначених точок зору. В іншому випадку необхідно зменшити коливання способом, найбільш доцільним і економічним при даних конкретних умовах.

Ця остання завдання вирішується на основі аналізу результатів динамічного розрахунку, що дозволяють виявити причини коливань підвищеної інтенсивності. Ефективність заходів щодо зменшення коливань повинна бути перевірена динамічним розрахунком і в подальшому використана для оцінки ризику надійності будівельного об'єкта в цілому.

Основні цілі динамічного розрахунку конструкції полягають у забезпеченні, по-перше, її несучої здатності і, по-друге, допустимих величин амплітуд її коливань.

У відповідності з цими цілями в завдання динамічного розрахунку конструкції входить визначення внутрішніх динамічних зусиль в її елементах і переміщень, зумовлених динамічними деформаціями її елементів. З огляду цього основного завдання, визначення частот власних коливань конструкції виступає як завдання, їй підпорядкована, проте надзвичайно важлива: не знаючи частот власних коливань, неможливо більш-менш надійно оцінити величини амплітуд внутрішніх зусиль і переміщень. Крім цього, знання частот власних коливань конструкції має й самостійне значення, дозволяючи усвідомити причини виникнення порівняно великих коливань і відповідно з цим вказати ефективні заходи, які ведуть до їх зменшення [2].

Якщо в результаті динамічного розрахунку конструкції з'ясується, що несуча здатність її забезпечена, а розрахункові значення амплітуд коливань конструкції не перевищують допустимих, то мета динамічного розрахунку досягнута. Якщо в результаті динамічного розрахунку виявляється, що несуча здатність конструкції перевершена внаслідок появи в ній динамічних зусиль або що розрахункові значення амплітуд динамічних переміщень перевищують

допустимі значення, тоді виникає завдання вибрати ефективний та економічний спосіб зменшення коливань конструкції.

Із зазначеного випливає, що динамічний розрахунок будівельних конструкцій не тільки не протиставляється проектуванню заходів щодо зменшення коливань, але сам покликаний служити цій меті. Необхідність і доцільність здійснення тих чи інших способів зменшення коливань може бути встановлено в результаті динамічного розрахунку конструкції, а ефективність цих заходів може бути перевірена повторним динамічним розрахунком конструкції. Проте найчастіше до заходів щодо зменшення коливань звертаються зазвичай тоді, коли їх нагальна необхідність виявлялася в процесі тривалої експлуатації споруди та виникнення дефектів в конструктивних елементах.

Стан конструкції, при досягненні якого подальша її експлуатація не є можливою з тих чи інших міркувань, прийнято називати граничним. У даний час розрізняють три основних граничних стани будівельних конструкцій.

Перше - граничний стан характеризується досягненням конструкцією межі її несучої здатності, тобто або межі міцності, або плинності, або межі витривалості, або межі стійкості, в результаті чого конструкція втрачає здатність чинити опір зовнішнім (статичним і динамічним) впливів або отримує такі великі залишкові зміни форми, при яких її подальша експлуатація неможлива.

Друге - граничний стан характеризується такими величинами пружних деформацій або переміщень від статичних і динамічних навантажень, при яких конструкція, що не досягла першого граничного стану, все ж перестає відповідати своєму призначенню, і її експлуатація повинна бути припинена або перервана надалі до виправлення конструкції.

Третє - граничний стан характеризується появою в конструкції тріщин такого розкриття або розвитку, при якому подальша експлуатація конструкції, яка ще не досягла першого граничного стану, стає неможливою внаслідок втрати необхідних від неї спеціальних властивостей.

У ці загальні характеристики граничних станів укладаються, як ми бачимо, і характеристики граничних станів конструкцій, що піддаються впливу, крім статичних, також динамічних навантажень, або, інакше кажучи, хто вагається конструкцій. Однак перший і другий граничні стани коливань конструкцій вимагають більш конкретного визначення. Оскільки межа витривалості менше межі статичної міцності і нерідко може бути менше межі текучості, а втрата динамічної стійкості може наступити раніше втрати статичної стійкості, динамічна несуча здатність (витривалість і динамічна стійкість) може нерідко мати вирішальне значення при визначенні характеру першого граничного стану коливань конструкцій.

Однак питання про те, яка з меж - статичної чи динамічної міцності - є домінуючою при визначенні несучої здатності конструкції, вирішується залежно від співвідношення між величинами статичного й динамічного навантажень, що діють на конструкцію, а також від співвідношення між межами статичної та динамічної міцності матеріалу конструкції.

Конструкції, в яких забезпечена несуча здатність на статичні навантаження, мають зазвичай і достатньою статичною жорсткістю. Випадки, коли статичні деформації конструкції, що не представляють небезпеки відносно її міцності, є причиною порушення нормальних умов виробництва або його припинення, є порівняно рідкісними.

Інакше йде справа з другим граничним станом для коливань конструкцій, яке має бути визначено як такий стан, коли амплітуди коливань (переміщень) конструкції досягають величин, при яких виключається можливість подальшої експлуатації або для виробничого процесу створюються ненормальні умови.

Відомі два види другого граничного стану коливань конструкцій:

граничний стан, при якому коливання конструкції роблять шкідливий вплив на людей;

граничний стан, при якому коливання конструкції роблять шкідливий вплив на виробничий процес.

Друге граничний стан може часто обмежувати можливість експлуатації коливається конструкції, на якій працюють люди або розташовані чутливі до коливань установки, хоча в конструкції ще далеко не досягнуто перших граничний стан.

Вимоги, спрямовані до забезпечення несучої здатності конструкцій, що знаходяться під впливом тільки статичних навантажень, виражаються, як відомо, нерівностями виду [2]

$$M_{cm} \leq M; Q_{cm} \leq Q; N_{cm} \leq N. \} \quad (1)$$

де $M_{ст}, Q_{ст}, N_{ст}$ - відповідно розрахункові вигинає момент, поперечна і нормальна сила в перерізі елемента конструкції від розрахункової статичного навантаження (тобто з урахуванням коефіцієнтів перевантаження); M, Q, N - граничні значення відповідних зусиль, що визначаються за розрахункового опору матеріалу (тобто з урахуванням коефіцієнта однорідності) та з урахуванням коефіцієнтів умов роботи конструкції. При цьому для бетону і кам'яної кладки за розрахункової опору приймається розрахунковий межа міцності, а для сталей і дерева - розрахунковий межа плинності.

Запас міцності забезпечується коефіцієнтами перевантаження, великими одиниці (у лівій частині), і коефіцієнтами однорідності матеріалу і умов роботи конструкції, меншими одиниці (у правій частині).

Якщо ж конструкція буде перебувати під впливом динамічних навантажень, в її елементах будуть діяти одночасно як постійні (статичні), так і змінні (динамічні) внутрішні зусилля. Розрахункові значення динамічних зусиль можна написати в наступному вигляді

$$M_{дин} = M_0 f_1(t); Q_{дин} = Q_0 f_2(t); N_{дин} = N_0 f_3(t). \} \quad (2)$$

де $M_{дин}, Q_{дин}, N_{дин}$ - амплітуди розрахункових динамічних зусиль; $f_1(t), f_2(t), f_3(t)$ - періодичні функції часу t , максимума яких дорівнює ± 1 .

Найбільше загальне зусилля буде представлятися сумою статичного зусилля і максимуму відповідного динамічного зусилля, взятого зі знаком статичного зусилля і рівного за абсолютною величиною його амплітуди.

Очевидно, що для тих, хто вагається конструкції, у всякому разі, необхідне виконання наступних умов

$$M_{cm} + M_0 \leq M; Q_{cm} + Q_0 \leq Q; N_{cm} + Q_0 \leq N. \} \quad (3)$$

Для пластичних матеріалів (сталь) при по дуже великих динамічних навантаженнях межа плинності виявляється менше межі витривалості, і умови (3) будуть достатніми.

Для крихких же матеріалів, а також для пластичних матеріалів при досить великих динамічних навантаженнях несуча здатність буде визначатися витривалістю матеріалу. У такому випадку необхідно є також виконання умов, щоб сумарні внутрішні зусилля в елементах конструкції не перевершували граничних зусиль, певних по розрахунковому межі витривалості.

Ці умови можна записати так

$$M_{cm} + M_0 \leq M_{вын}; Q_{cm} + Q_0 \leq Q_{вын}; N_{cm} + Q_0 \leq N_{вын}. \} \quad (4)$$

Умови (3) і (4), розглянуті спільно, є необхідними і достатніми для забезпечення несучої здатності коливних конструкцій. При цьому саме собою зрозуміло, що при складних напружених станах, яким відповідають комбінації зусиль у лівих частинах нерівностей (3) і (4) (наприклад, комбінації зусиль M і N - для стиснуто-зігнутих елементів), у правих частинах цих нерівностей повинні також стояти відповідні цим комбінаціям граничні зусилля.

Будівельні конструкції, наприклад несучі конструкції будівель, повинні розглядатися як системи з нескінченно великим числом ступенів свободи. Тому конструкція має велику кількість частот власних коливань (теоретично нескінченна). Сукупність частот власних коливань конструкції, розташованих в зростаючій послідовності називають спектром частот власних коливань конструкції. Частоту, що має на цьому спектрі порядковий номер k , називають k -й частотою або частотою i -го тону власних коливань. Першу частоту іноді називають основною частотою або частотою основного тону

$$0 \leq n_1 \leq n_2 \leq n_3 \leq \dots \leq n_n \leq \dots, \quad (5)$$

Для наочності спектр частот корисно зображувати графічно числовою віссю, на якій положення частот власних коливань конструкції відзначені перпендикулярними осі відрізками (рис. 1). При цьому першу частоту зручно приймати за одиницю, інакше кажучи, відкладати на числовій осі відносини n_k/n_1 .

Спектр частот власних коливань (5) є важливою динамічною характеристикою конструкції. Маючи в своєму розпорядженні їм, можна відповісти на питання про те, за яких значеннях частоти динамічного навантаження можливі великі коливання конструкції. Як показано вище, це будуть значення, що збігаються з частотами власних коливань конструкції. Такі значення частот динамічного навантаження називаються критичними для даної конструкції.

Отже, спектр частот власних коливань конструкції є разом з тим спектром критичних значень частоти динамічного навантаження.

Практичний інтерес представляє також взаємне розташування частот власних коливань на спектрі, або структура частотного спектра конструкції. Залежно від виду конструкції структура її частотного спектра може бути різною. З цієї точки зору корисна наступна класифікація несучих конструкцій будівель.

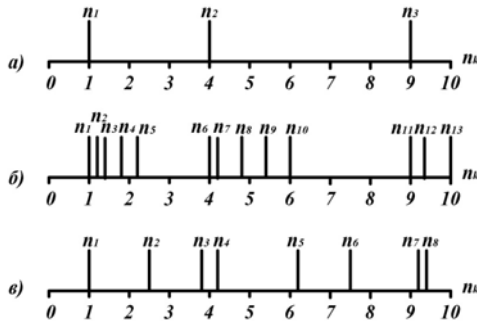


Рис. 1. Спектр частот власних коливань конструкції з нерухомими вузлами а - однопрогонових; б - нерозрізних рівнопрогонових; в - нерозрізних нерівнопрогонових.

Найважливішим наслідком неврахування властивостей конструкції при визначенні динамічного впливу машини за способом динамічного коефіцієнта було ігнорування явища резонансу. Тим часом теорія коливань в застосуванні до інженерної справи, особливо до кораблебудування і машинобудуванню, розглядала резонанс як безумовно небезпечне явище в роботі конструкції на динамічне навантаження.

Відображенням цього погляду і стало вимога про виключення можливості резонансу в спорудах [3]. Згідно цій вимозі, частота власних коливань конструкції n_1 повинна бути нижче або вище частоти динамічного навантаження n_0 не менше ніж на 20%

$$0.8n_1 \leq n_0 \leq 1.2n_1 \quad (6)$$

Запас в 20% призначений з міркувань, що розрахункове значення частоти власних коливань конструкції внаслідок невизначеності вихідних даних може відрізнитися від фактичного значення на $\pm 20\%$. Ця вимога була першим кроком у напрямку обліку динамічних властивостей конструкції при оцінці впливу на неї динамічного навантаження.

Область відносин частот, обмежена межами 0,8 і 1,2, звана резонансною зоною, представляє, таким чином, заборонену зону ($\beta = \infty$).

Задовольнити вимогу виключення можливості резонансу практично буває важко, а часто і неможливо, наприклад, коли мова йде про міжповерхових перекриттях, на яких поряд розташовуються машини з різними числами оборотів. У цьому випадку при зміщенні резонансної зони вліво або вправо (шляхом зменшення або збільшення частоти власних коливань перекриття) з метою виведення з неї числа обертів будь якої однієї машини в цю зону може потрапити число обертів іншої машини.

Ці труднощі поглиблюються внаслідок того, що перекриття володіють не однією частотою власних коливань, з якою слід практично вважатися, а цілим спектром таких частот, розташованих близько один до одного. Якщо n_1 - найнижча, а n_n - найвища із зазначених частот, то вимога виключення можливості резонансу накладення на частоту машини n_0 за аналогією з (6) умова

$$0.8n_1 \leq n_0 \leq 1.2n_n \quad (7)$$

Отже, послідовний розвиток вимоги виключення можливості резонансу машини з перекриттям призвів до заперечення можливості в багатьох випадках його практичного здійснення.

Загальні підстави динамічного розрахунок будівельних конструкцій сформулювати так.

Динамічні навантаження при визначенні амплітуд вимушених коливань конструкції повинні розглядатися незалежно від статичних навантажень.

Резонансні умови роботи конструкції можна розглядати як допустимі, якщо тільки перевірючий розрахунок конструкції на резонанс показує, що в цих умовах задовольняються вимоги щодо несучої здатності і амплітуд коливань конструкції.

Ступінь ймовірності появи резонансу між динамічним навантаженням і конструкцією встановлюється шляхом визначення частот власних коливань конструкцій і порівняння їх з частотами динамічного навантаження.

При цьому має враховуватися важлива обставина, що розрахункове визначення частоти власних коливань конструкції не може дати фактичного значення частоти, але лише нижній і верхній межі деякого діапазону, в якому вона укладена.

Якщо встановлено, що частота динамічного навантаження потрапляє в резонансну зону, конструкція перевіряється на резонанс.

При цьому для забезпечення надійності визначення амплітуд резонансних коливань конструкції застосовується метод їх оцінки.

На закінчення необхідно відмітити, що обґрунтування принципової можливості допущення резонансу в будівельних конструкціях було б неправильно тлумачити як заперечення бажаності його виключення там, де це можливо. Навпаки, у всіх випадках, коли є можливість виключення резонансу, а її здійснення не зустрічає утруднень і виправдовується економічно, слід нею скористатися.

Список літератури

1. **Сорокин Е.С.** Динамический расчет несущих конструкций зданий / Е.С. Сорокин. М.: Госстройиздат, 1958. - 120 с.
2. **Сорокин Е.С.** Динамический расчет несущих конструкций зданий / Е.С.Сорокин. – Москва: Госстройиздат, 1956. – 340 с.
3. Справочник инженера проектировщика промсооружений, т. II и IV. Госстройиздат, 1934.

Рукопис подано до редакції 12.01.14

УДК 528.8.042: 622.2

В.Д. СИДОРЕНКО, д-р техн.наук, проф., М.В. ШОЛОХ, канд.техн.наук, доц.,
О.С. НАМІНАТ, М.П. СЕРГЄЄВА, Криворізький національний університет
В.Я. КОВТУН, керівник НВП «УКРКОВІД», головний інженер ДП «УКРГЕОДЕЗМАРК»
ПАТ «КІЇВМЕТРОБУД», корпорація «УКРМЕТРОТУНЕЛЬБУД»,
Ю.Л. СЕРЕБРЯННИЙ, генеральний директор,
Є.П. ВОЛЧКО, канд.техн.наук, землевпорядник НВФ «ДОКА»

СУЧАСНІ МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ПРОСТОРОВОГО ПОЛОЖЕННЯ ОБ'ЄКТІВ ГІРНИЧОГО ВІДВОДУ

Розглянуто методику виконання просторового зображення автодороги «Техбаза - кладовище «Західне» методом лазерного 3D-сканування в рішенні задач геоінформаційного забезпечення інфраструктури гірничо-видобувного підприємства.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Застосування сучасних технологій, що базуються на використанні передових програмних розробок і обладнання, вимагає детального вивчення в області дослідження параметрів і їх точності. Насамперед, це пов'язане з тим, що не всі сучасні засоби вимірювання включені в діючі інструкції із проведення маркшейдерських і геодезичних робіт [1]. Розробка технологій польових вимірювань і камеральна обробка даних на об'єктах гірничо-видобувної промисловості залишаються актуальними. Зокрема, маркшейдерські зйомки є трудоємним завданням, що обумовлене високою навантаженістю технологічними елементами виробничих цехів, значною кількістю інженерно-технічних споруд на об'єктах гірничої промисловості, а також необхідністю оперативного проведення маркшейдерського забезпечення гірничих робіт.

Аналіз досліджень та публікацій. Теоретичні основи технології лазерного сканування викладені в роботах [2], де розглядається впровадження технології наземного лазерного сканування в рішенні задач геоінформаційного забезпечення інфраструктури гірничо-видобувного підприємства.

У нормативних документах застосування технології наземного лазерного сканування як методу отримання маркшейдерсько-геодезичних вимірів згадується тільки в [1]. Насправді технологія наземного лазерного сканування може бути використана для рішення багатьох завдань маркшейдерсько-геодезичного забезпечення на об'єктах гірничої промисловості, відповідаючи при цьому по точністним параметрам необхідним нормам і правилам, а по продуктивності перевершуючи раніше існуючі методи маркшейдерської зйомки.

Постановка завдання. Оцінка відповідності точності технології тривимірного наземного лазерного сканування діючим нормативним документам при рішенні завдань маркшейдерсько-