

## ПРОЄКТУВАННЯ ЗАСОБІВ ЗАХИСТУ ВІД ВІБРАЦІЇ

### ПАРАМЕТРИ ТА ВИДИ ВІБРАЦІЇ, ЇЇ ДІЯ НА ОРГАНІЗМ ЛЮДИНИ

Під *вібрацією* розуміють механічні коливання твердого тіла. Найпростішим видом таких коливань є гармонійні коливання, при яких відбувається почергове наростання та спадання в часі (за синусоїдальним законом) значень рухомої точки чи механічної системи.

Вібрації виникають, зазвичай, при роботі машин та механізмів, які мають неврівноважені і незбалансовані частини, що обертаються чи здійснюють зворотно-поступальний рух. До такого устаткування належать оброблювальні верстати, штампувальні та ковальські молоти, електро- та пневмоперфоратори, електроприводи, насосні установки, компресори, механізований інструмент та ін. При роботі даного устаткування вібрація відіграє негативну роль. У той же час, вібрацію застосовують і для інтенсифікації виробничих процесів, наприклад, при ущільненні бетонних сумішей, роздрібнюванні та сортуванні інертних матеріалів, розвантажуванні та сортуванні сипучих матеріалів.

Вібрація характеризується абсолютними та відносними параметрами. До основних абсолютних параметрів належать: *вібропереміщення* ( $s$ ) — миттєве значення кожної з координат, які описують положення тіла, чи матеріальної точки під час вібрації; *амплітуда вібропереміщення* ( $A$ ) — найбільше відхилення точки, яка коливається з певною частотою, від положення рівноваги,  $m$ ; *віброшвидкість* ( $v$ ) — кінематичний параметр, що дорівнює швидкості переміщення (перша похідна вібропереміщення) точки, яка коливається з певною частотою,  $m/c$ ; *віброприскорення* ( $a$ ) — кінематичний параметр, що дорівнює прискоренню переміщення (друга похідна вібропереміщення) точки, яка коливається з певною частотою,  $m/c^2$ ; *період вібрації* ( $T$ ) — найменший інтервал часу, через який під час періодичної вібрації повторюється кожне значення величини, яка характеризує вібрацію,  $s$ ; *частота вібрації* ( $f$ ) - величина, обернено пропорційна періоду вібрації, яка показує кількість коливань за одиницю часу точки під час вібрації,  $Гц$ . Оскільки абсолютні параметри, що характеризують вібрацію змінюються в широких межах, то на практиці частіше використовують відносні параметри — рівні, які визначаються відносно опорного (порогового) значення відповідного параметра і вимірюються в децибелах ( $дБ$ ). Стандартні опорні значення наступні: амплітуди вібропереміщення  $A_0 = 8 \cdot 10^{-12} m$ ; віброшвидкості  $V_0 = 5 \cdot 10^{-8} m/c$ ; віброприскорення  $a_0 = 3 \cdot 10^{-4} m/c^2$ . Найчастіше для оцінки вібрації використовують логарифмічний рівень віброшвидкості  $L_v$ , який визначається за формулою:

$$L_v = 20 \lg v/v_0 \text{ (дБ)}, \quad (2.25)$$

де  $v$  — абсолютне значення віброшвидкості,  $m/c$ ;  $V_0$  — опорне значення віброшвидкості,  $m/c$ .

За способом передачі на тіло людини розрізняють загальну та місцеву (локальну) вібрацію. Загальна вібрація передається на тіло людини, яка сидить або стоїть, переважно через опорні поверхні — сидіння, підлогу. Локальна вібрація передається через руки працюючих при контакті з ручним механізованим інструментом, органами керування машинами та обладнанням, деталями, які

обробляються і т. п. Можлива також одночасна дія загальної та локальної вібрації. Наприклад, при роботі на дорожньо-будівельних машинах на руки передається локальна вібрація від органів керування, а на все тіло — від машини через сидіння.

Залежно від джерела виникнення загальна вібрація підрозділяється на: транспортну, яка діє на операторів (водіїв) транспортних засобів (автомобілі, трактори); транспортно-технологічну, яка діє на операторів машини з обмеженою рухливістю та таких, що рухаються тільки по спеціально підготовлених поверхнях виробничих приміщень, промислових майданчиків та гірничих виробок (екскаватори, промислові та будівельні крани, автотранспортувачі, авто- та електрокари); технологічну, яка діє на операторів стаціонарних машин або передається на робочі місця, що не мають джерел вібрації (метало- і деревооброблювальні верстати, ковальсько-пресувальне устаткування, насосні станції, бурові вишки).

Загальну технологічну вібрацію за місцем дії поділяють на такі типи:

—на постійних робочих місцях виробничих приміщень підприємств;

—на робочих місцях складів, їдалень, побутових, чергових та інших виробничих приміщень, де немає джерел вібрації;

—на робочих місцях заводууправлінь, конструкторських бюро, лабораторій, обчислювальних центрів, медпунктів, конторських приміщень, робочих кімнат та інших приміщень для працівників розумової праці.

За джерелом виникнення локальну вібрацію поділяють на таку, що передається від:

—ручних машин або ручного механізованого інструменту, органів керування машинами та устаткуванням;

—ручних інструментів без двигунів (наприклад, рихтувальні молотки) та деталей, які обробляються.

За часовими характеристиками загальні та локальні вібрації поділяються на: постійні, для яких величина віброприскорення чи віброшвидкості змінюється менше ніж у два рази (менше  $6 \text{ дБ}$ ) за робочу зміну; непостійні, для яких вищеперераховані параметри вібрації змінюються не менше ніж у два рази ( $6 \text{ дБ}$  і більше) за робочу зміну. В свою чергу, непостійні вібрації поділяються на:

—коливні, рівні яких безперервно змінюються в часі;

—переривчасті, коли контакт з вібрацією в процесі роботи переривається, причому довжина інтервалів, під час яких має місце контакт, становить більше  $1 \text{ с}$ ;

—імпульсні, що складаються з одного або кількох вібраційних впливів (наприклад, ударів), кожен довжиною менше ніж  $1 \text{ с}$ , при частоті їх дії менше ніж  $5,6 \text{ Гц}$ .

Класифікація виробничої вібрації наведена на рис. 2.23.

При дії вібрації на організм людини спостерігаються зміни в діяльності серцевої та нервової систем, спазм судин, зміни у суглобах, що призводить до обмеження їх рухомості. При нетривалій дії вібрації працівник передчасно втомлюється, при цьому його продуктивність праці знижується. Тривала дія вібрації може спричинити професійне захворювання — вібраційну хворобу. Під час розвитку цієї хвороби з'являється оніміння, відчуття повзання мурашок, біль у суглобах тощо. Слід зазначити, що ефективне лікування вібраційної хвороби

можливе лише на ранній стадії її розвитку. Особливо небезпечна вібрація робочих місць з частотою, яка є резонансною з частотою коливання окремих органів чи частин тіла людини, що може призвести до їх механічного пошкодження. Для більшості внутрішніх органів людини частота власних коливань становить 6—12 Гц. Ступінь та характер впливу вібрації на організм людини залежить не лише від виду та параметрів, а також і від напрямку її дії. Тому вібрація поділяється залежно від осей ортогональної системи координат  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ , вздовж яких вона діє (рис. 2.24). Особливо чутливий організм людини до вертикальної загальної вібрації (вздовж осі  $Z$ ), коли коливання передаються від ніг до голови.

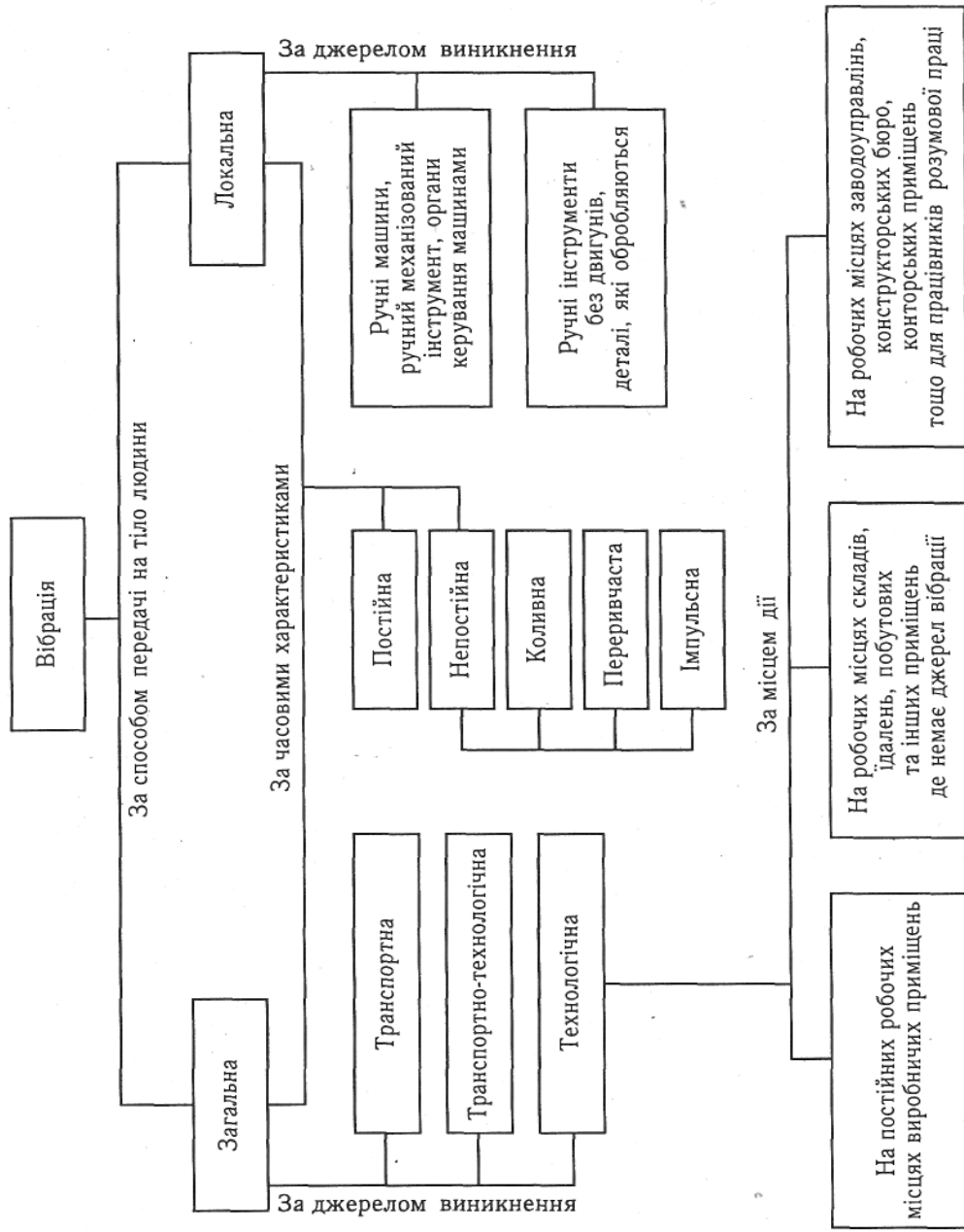


Рис. 2.23. Класифікація виробничої вібрації

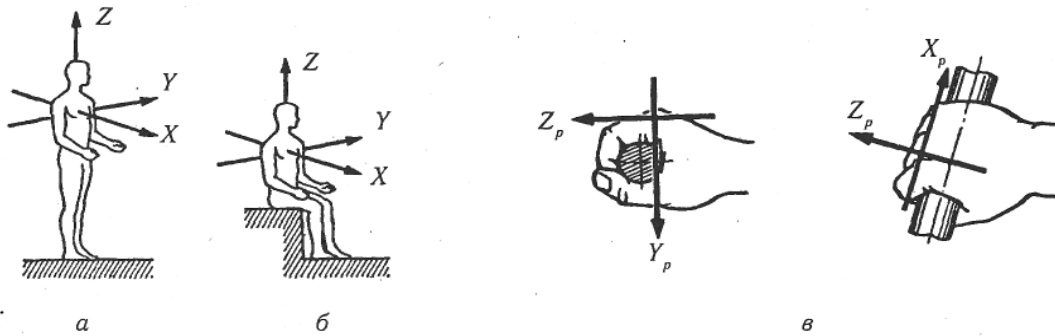


Рис. 2.24. Напрямок координатних осей при дії загальної (а, б) та локальної (в) вібрації:  
а — положення стоячи; б — положення сидячи

## НОРМУВАННЯ ВІБРАЦІЇ

Розрізняють гігієнічне та технічне нормування вібрації. При гігієнічному нормуванні регламентуються відповідні умови щодо захисту від вібрації людини, а при технічному — щодо захисту машин, устаткування, механізмів і т. п. від дії вібрації, яка може призвести до їх пошкодження чи передчасного виходу з ладу. Основними нормативними документами з охорони праці стосовно вібрації є ГОСТ 12.1.012-90 та ДСН 3.3.6.039-99.

Дія вібрації на організм людини залежить від таких її характеристик: інтенсивності, спектрального складу, тривалості впливу, напрямку дії. Гігієнічна оцінка вібрації, що діє на людину у виробничих умовах здійснюється за допомогою таких методів:

- частотного (спектрального) аналізу її параметрів;
- інтегральної оцінки по спектру частот параметрів, що нормуються;
- дози вібрації;

При частотному (спектральному) аналізі параметрами, що нормуються є середні квадратичні значення (квадратний корінь із середнього арифметичного квадрата значення в певному інтервалі часу) віброшвидкості  $v$  та віброприскорення  $a$ , або їх логарифмічні рівні у  $дБ$  в діапазоні октавних смуг із середньгеометричними частотами:

- 1,0; 2,0; 4,0; 8,0; 16,0; 31,5; 63,0  $Гц$  — для загальної вібрації;
- 8,0; 16,0; 31,5; 63,0; 125,0; 250,0; 500,0; 1000,0  $Гц$  — для локальної вібрації.

Гігієнічні норми в логарифмічних рівнях середніх квадратичних значень віб-

рошвидкостей для октавних смуг частот наведені на рис. 2.25.

При використанні методу інтегрованої оцінки по спектру частот параметром, що нормується, є коректоване значення віброшвидкості чи віброприскорення ( $U$ ), що вимірюється за допомогою спеціальних фільтрів, або обчислюється за формулами, наведеними в ДСН 3.3.6.039-99.

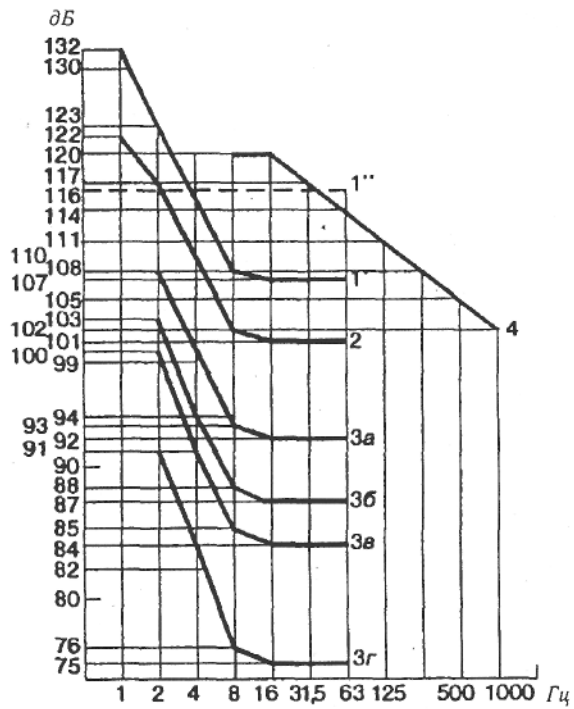


Рис. 2.25. Гігієнічні норми вібрації:  
 1—3 — загальна вібрація: 1' — вертикальна транспортна; 1'' — горизонтальна транспортна; 2 — транспортно-технологічна; 3а — технологічна у виробничих приміщеннях; 3б — у службових приміщеннях на суднах; 3в — у виробничих приміщеннях, де немає джерел вібрації; 3г — у приміщеннях адміністративно-управлінських та для розумової праці; 4 — локальна вібрація

При дії непостійної вібрації (крім імпульсної) параметром, що нормується, є вібраційне навантаження (доза вібрації, еквівалентний коректований рівень), одержане робітником протягом зміни та зафіксоване спеціальним приладом або обчислене для кожного напрямку дії вібрації ( $X, Y, Z$ ) за формулою:

$$D = \int_0^t U^2(t) dt \quad (2.26)$$

або

$$L_{кор.екв} = L_{кор} + 10 \lg(t/t_{зм}) \quad (2.27)$$

де  $U(t)$  — коректоване по частоті значення параметра вібрації в момент часу  $t$ ,  $m/c^2$  або  $m/c$ ;

$t$  — час дії вібрації, год;

$t_{зм}$  — тривалість зміни, год.

При дії імпульсної вібрації з піковим рівнем віброприскорення від 120 до 160 дБ, параметром, що нормується є кількість вібраційних імпульсів за зміну (годину), в залежності від тривалості імпульсу (таблиця в ДСН 3.3.6.039-99).

Гігієнічні норми вібрації, що діє на людину у виробничих умовах встановлені для тривалості 480 хв. (8 год). При дії вібрації, яка перевищує гранично допустимий рівень, сумарний час її дії протягом робочої зміни повинен бути меншим. У табл. 2.6 наведено допустимий сумарний час дії локальної вібрації в залежності від перевищення її гранично допустимого рівня.

Таблиця 2.6

**Допустимий сумарний час дії локальної вібрації в залежності від перевищення її гранично допустимого рівня**

Перевищення гранично допустимого рівня	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Допустимий сумарний час дії	38	30	24	19	15	12	95	76	60	48	38	30

### ЗАХОДИ ТА ЗАСОБИ ЗАХИСТУ ВІД ВІБРАЦІЇ

Заходи та засоби захисту від вібрації за організаційною ознакою поділяються на колективні та індивідуальні (рис. 2.26). Колективні заходи та засоби віброзахисту можна підрозділити за такими напрямками:

- зниження вібрації в джерелі її виникнення;
- зменшення параметрів вібрації на шляху її поширення від джерела;
- організаційно-технічні заходи;
- лікувально-профілактичні заходи.

Зменшення вібрації в джерелі її виникнення досягається

шляхом застосування таких кінематичних та технологічних схем, які усувають чи мінімально знижують дію динамічних сил. Так, вібрація ослаблюється при заміні кулачкових та кривошипних механізмів на механізми, що обертаються з рівномірною швидкістю, механічних приводів — на гідравлічні і т. п. Зменшення вібрації досягається також статичним та динамічним зрівноважуванням механізмів та об'єктів, що обертаються. Слід зазначити, що дія динамічних сил може посилитись внаслідок спрацювання окремих механізмів, появи зазорів та люфтів, поганого зчеплення деталей, що призводить до посилення вібрації. При проектуванні устаткування важливо передбачити недопущення резонансних режимів його роботи. Це досягається раціональним вибором маси та жорсткості коливальної системи або частоти змушувальної сили.

Контакту працівника з віброоб'єктом, а відтак і шкідливої дії вібрації можна уникнути шляхом використання дистанційного керування, автоматичного контролю та сигналізації, а також застосування захисного огороження. Якщо цього досягти неможливо, то необхідно при контакті працівника з віброоб'єктом домогтися зменшення параметрів вібрації на шляху її поширення від джерела змушувальної сили. Це можна досягти за допомогою вібропоглинання, віброгасіння та віброізоляції.

Вібропоглинання (вібродемпфірування) полягає в штучному збільшенні втрат у коливальній системі, при цьому енергія вібрації перетворюється в теплову. На практиці для цього найчастіше використовують конструктивні матеріали з великим внутрішнім тертям (пластмаси, сплави марганцю та міді, магнієві сплави і т. п.) або наносять на поверхні, що вібрують, шар пружно-в'язких матеріалів, які збільшують внутрішнє тертя в коливній системі (покриття поверхонь, що вібрують, гумою та пружно-в'язкими мастиками на основі полімерів, мащення вузлів та з'єднань).

Динамічне віброгасіння полягає у збільшенні реактивного опору коливної системи. Засоби динамічного віброгасіння за принципом дії поділяється на ударні та динамічні віброгасники. Останні за конструктивною ознакою можуть бути пружинними, маятниковими, ексцентриковими та гідравлічними. Вони, зазвичай, являють собою додаткову коливну систему, яка встановлюється на агрегаті, що вібрує, масою  $M$  та жорсткістю  $C$  (рис. 2.27). Причому маса  $m$  та жорсткість  $c$  цієї системи підібрані таким чином, що в кожний момент часу збуджуються коливання, які знаходяться в протифазі з коливаннями агрегату. Недоліком динамічних віброгасників є те, що вони налаштовані на певну частоту, яка відповідає їх резонансному режиму коливання.



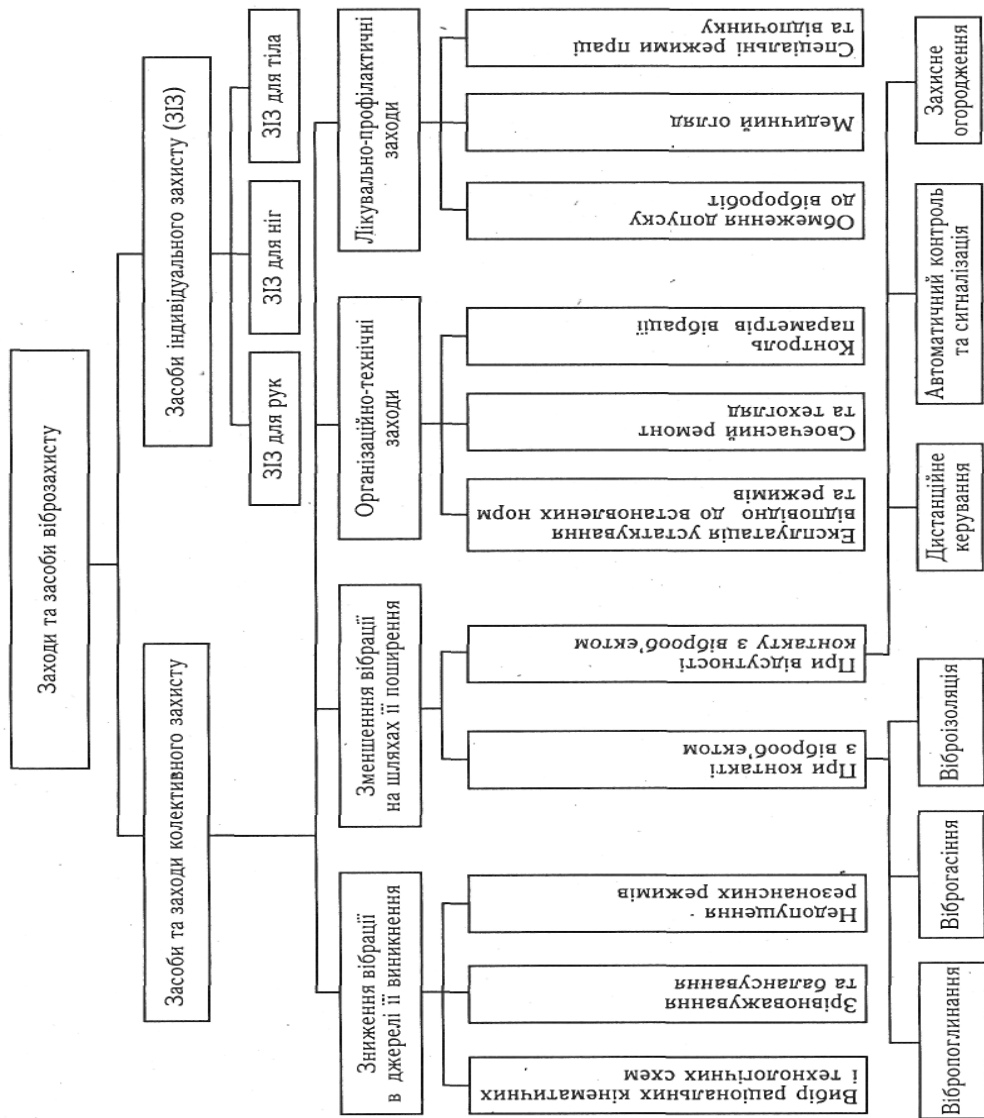


Рис. 2.26. Класифікація заходів та засобів віброзахисту

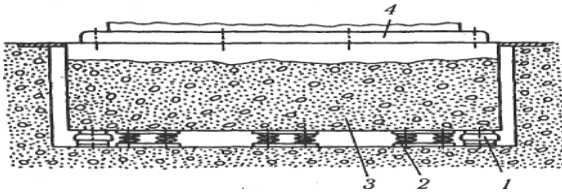


Рис. 2.27. Схема дії динамічного віброгасника

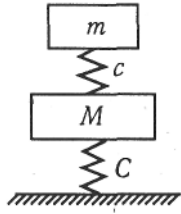


Рис. 2.28. Схема фундаменту під важкий металообробувальний верстат:  
/ — амортизатори, 2 — пружини, 3 — фундаментна плита, 4 — станина верстату

Для зниження вібрації застосовують також ударні віброгасники маятникового, пружинного і плаваючого типів. У них здійснюється перехід кінетичної енергії відносного руху елементів, що контактують, в енергію деформації з поширенням напружень із зони контакту по елементах, що взаємодіють. Внаслідок цього енергія розподіляється по об'єму елементів віброгасника, які зазнають взаємних ударів, викликаючи їх коливання. Одночасно відбувається розсіювання енергії внаслідок дії сил зовнішнього та внутрішнього тертя. Маятникові ударні віброгасники використовуються для гасіння коливань частотою 0,4—2,0 Гц, пружинні — 2—10 Гц, плаваючі — понад 10 Гц.

Віброгасники камерного типу призначені для перетворення пульсуючого потоку газу чи рідини в рівномірний. Такі віброгасники встановлюються на всмоктувальній та нагнітальній сторонах компресорів, на гідроприводах, водогонах і т. п.

Динамічне віброгасіння досягається також встановленням агрегату на масивному фундаменті (рис. 2.28). Маса фундаменту підбирається таким чином, щоб амплітуда його коливань не перевищувала допустимих значень.

Віброізоляція полягає у введенні в коливну систему додаткового пружного зв'язку, який перешкоджає передачі вібрації від об'єкта, що вібрує, до основи, суміжних конструкцій чи людини (рис. 2.29).

Віброізоляція є єдиним ефективним способом зменшення вібрації, що передається на руки від ручного механізованого інструмента. Для цього держак відокремлюється від корпусу інструмента/що вібрує, за допомогою пружного елемента (рис. 2.30).

Пружні елементи, що вводяться в коливну систему (віброізолятори, амортизатори) можуть бути пружинні, гумові, гідравлічні, пневматичні та комбіновані (рис. 2.31).

Комплекс лікувально-профілактичних заходів захисту від вібрації передбачає: попередній та періодичні медичні огляди; заборону допуску до вібраційних робіт осіб молодших 18 років та таких, що мають відповідні

протипокази у стані здоров'я; лікувальну гімнастику та масаж рук; спеціальні режими праці та відпочинку. Так, якщо допустимий сумарний час дії локальної вібрації більший за необхідний технологічний час праці за зміну, то він повинен довільно розподілятися у межах робочої зміни з додержанням двох регламентованих перерв (перша — 20 хвилин за 1—2 години від початку роботи, друга — 30 хвилин через 2 години після обідньої перерви) та обідньої перерви не менше ніж 40 хвилин.

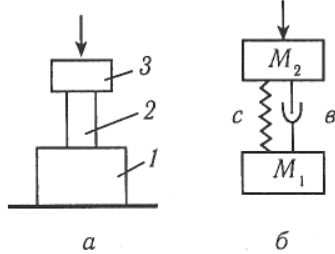


Рис. 2.29. Принципова (а) та розрахункова (б) схеми віброізованої системи: 1 — віброізований об'єкт масою  $M_1$ ; 2 — віброізолятор з пружністю  $c$  та коефіцієнтом опору  $v$ ; 3 — об'єкт, що вібує, масою  $M_2$

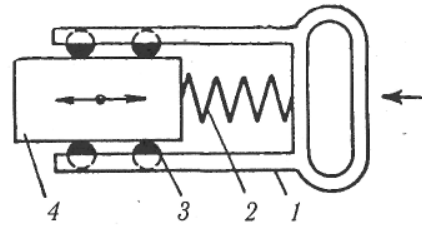


Рис. 2.30. Віброізований держак: 1 — держак; 2 — пружина; 3 — підшипник; 4 — корпус

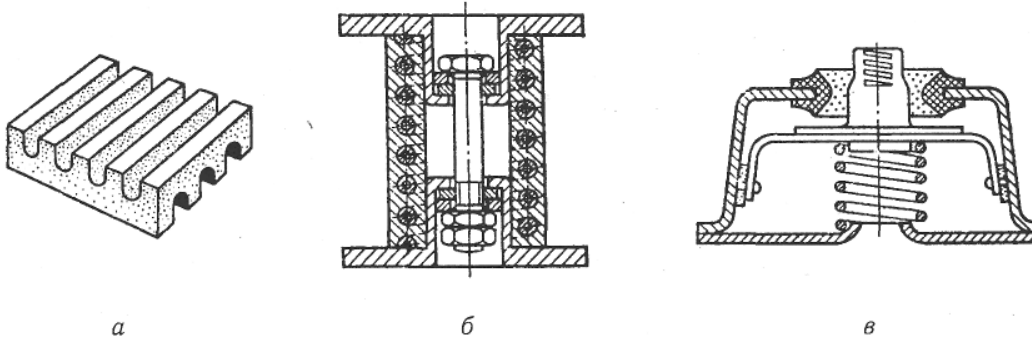


Рис. 2.31. Віброізоляційні амортизатори: а — ребриста гума; б — пружинний амортизатор запресований у гумову масу; в — комбінований (пружинно-гумовий) амортизатор

Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ) від вібрації за місцем контакту працівника з об'єктом, що вібує підрозділяються: ЗІЗ для рук (рукавиці, рукавички, прокладки); ЗІЗ для ніг (спеціальне взуття, підметки, коврики, наколінники); ЗІЗ для тіла (нагрудники, пояси, спеціальні костюми).