

3.3. ODDZIAŁYWANIE DRGAŃ NA CZŁOWIEKA

Ze względu na czasowy charakter, drgania działające na człowieka dzielimy na wstrząsy i drgania właściwe, które zwykle nazywamy drganiami. Wstrząsy zaś to takie drgania niskoczęstotliwościowe, na które organizm może reagować czynnie poprzez pracę układu mięśniowo-szkieletowego. Reakcja na drgania może być tylko bierna, gdyż układ nerwowy oraz narząd równowagi i mięśnie człowieka nie są zdolne reagować na każdy impuls oddzielnie. Przy drganiach o częstotliwości mniejszej od 2 Hz ciało człowieka zachowuje się jak jednolita masa. Pierwsza częstość rezonansowa wynosi 4 Hz lub 6 Hz dla pozycji siedzącej oraz 5 lub 12 Hz dla pozycji stojącej - zależnie od indywidualnej budowy człowieka. Wymuszenia o częstotliwości 3÷4 Hz pobudzają do silnych drgań narządy jamy brzusznej, zaś maksimum tych drgań występuje przy częstotliwości 5÷8 Hz. W bliskim sąsiedztwie tych częstotliwości występuje rezonans klatki piersiowej (7÷8 Hz). Rezonans narządów głowy występuje w okolicy 20÷30 Hz, zaś gałek ocznych 60÷90 Hz [11, r. 44]. Doskonałym uzupełnieniem tej charakterystyki drganiowej ciała człowieka jest tab. 3.2 zaczerpnięta z [46, r. 4].

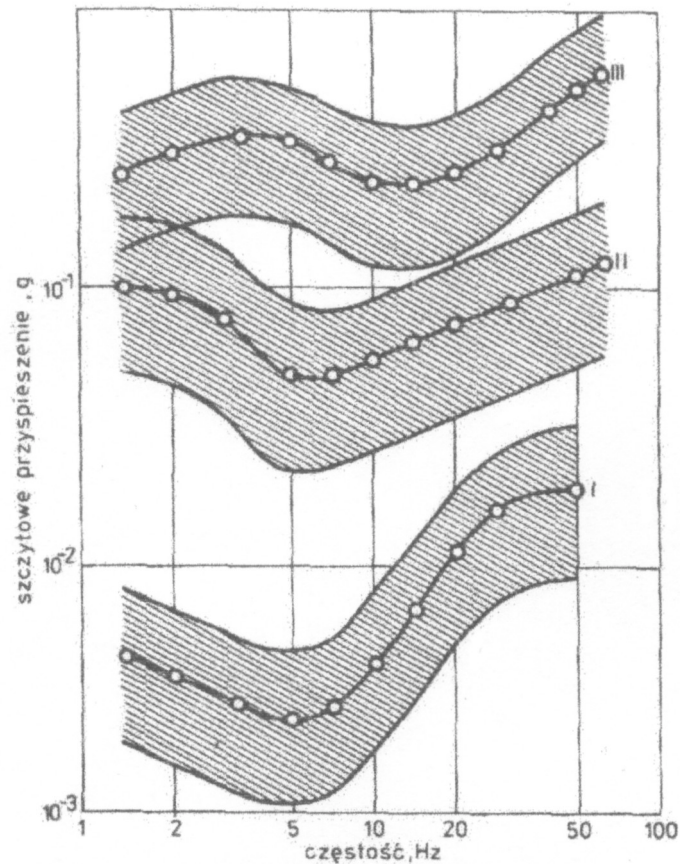
Tabela 3.2 Częstości rezonansowe organów człowieka [46, r. 4]

Nazwa organu	Częstotliwość rezonansowa f_r Hz
Głowa	4÷5 i 17÷25
Oczy	60÷90
Szczeka	6÷8
Krtań, tchawica, oskrzela	12÷16
Narządy klatki piersiowej	5÷9
Kończyny górne	3
Kręgosłup	8
Narządy jamy brzusznej	4,5÷10
Wątroba	3÷4
Pęcherz moczowy	10÷18
Miednica	5÷9
Kończyny dolne	5
Człowiek siedzący	5÷12
Człowiek stojący	4÷6

Liczne eksperymenty na ludziach potwierdziły, że największą wrażliwością na drgania całego organizmu charakteryzuje się układ nerwowy i układ krążenia. Reakcje ze strony tych układów i odpowiednich narządów objawiają się zaburzeniami ich pracy, złym samopoczuciem psychicznym, fizycznym, a nawet uszkodzeniem przy wyższych amplitudach oddziaływań i długich czasach ekspozycji. Mamy wtedy do czynienia z chorobą wibracyjną (zespół wibracyjny). Tyle w skrócie o reakcji organizmu człowieka na pobudzenia organizmu człowieka siedzącego lub stojącego, częste w przemyśle lub transporcie.

Oprócz drgań całego ciała, istotny wpływ mają drgania lokalne, występujące podczas używania narzędzi wibracyjnych elektrycznych (młotki, klucze, nitowniki, piły), pneumatycznych itp. Tutaj „wejściem drganiowym” są ręce operatora, stąd też oddziaływania te noszą nazwę lokalnych. Częstotliwości robocze takich narzędzi mieszczą się w zakresie

15÷250 Hz, zależnie od typu i przeznaczenia. Długotrwała praca takimi narzędziami jest przyczyną choroby wibracyjnej, powodującej nieodwracalne zmiany w



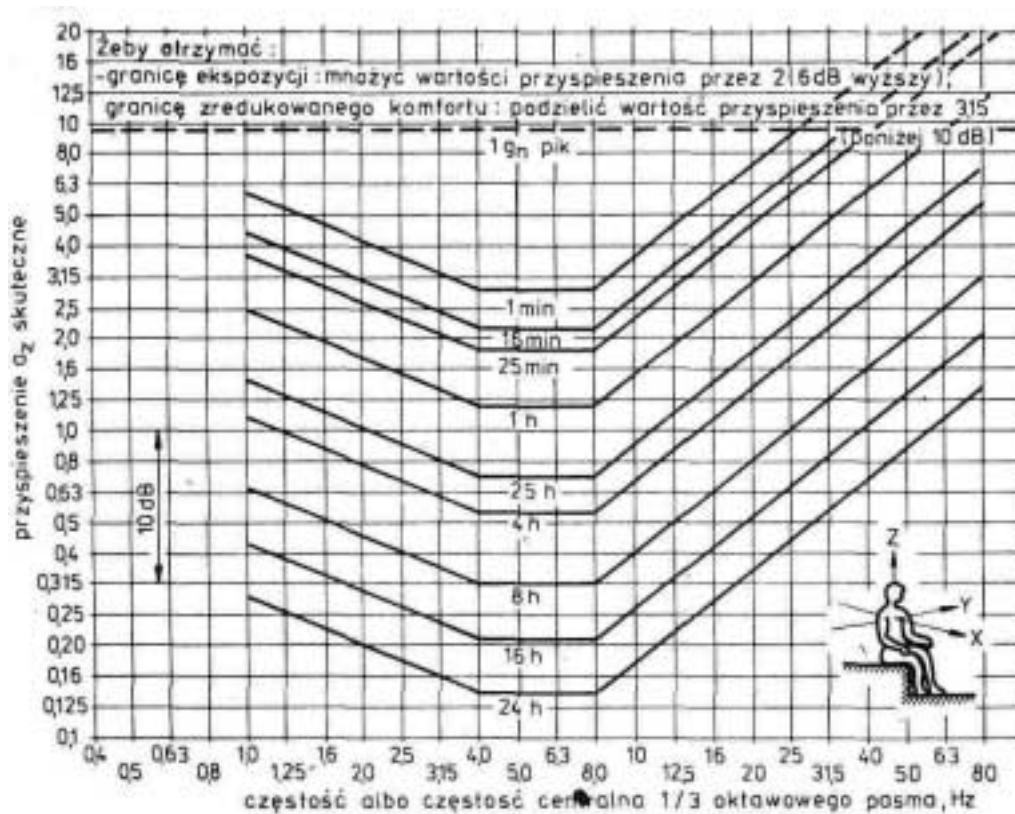
Rys. 3.11. Trzy progi wrażliwości na ekspozycję drganiom: I - próg odczucia, II - próg dokuczliwości, III - próg wytrzymałości [42, r. 5]

w układzie krążeniowo – mięśniowo - kostnym. Charakter rozwoju choroby wibracyjnej i jej symptomy zależą przede wszystkim od charakteru drgań narzędzia, intensywności i długotrwałości pracy. Ostatnim etapem takiej choroby jest gangrena mięśni i kości palców, tj. miejsc gdzie gęstość wejściowej energii wibracyjnej jest największa. Dla kompletności charakterystyki percepcji człowieka na drgania należy jeszcze określić wielkość kryterialną, która będzie dobrze charakteryzowała zagrożenie drganiowe. Po licznych próbach z amplitudą przemieszczenia, prędkości i przyspieszenia drgań, okazuje się, że wielkością najbardziej predystynowaną jest przyspieszenie drgań. Rysunek. 3.11 pokazuje trzy progi reakcji na drgania wartościowane w kategoriach przyspieszeń: próg odczucia, próg akceptacji i próg odmowy dalszego tolerowania badań. Jak widać z rysunku nie są to krzywe stałej amplitudy przyspieszeń. Ogólnie zaś można powiedzieć, że dla częstotliwości niskich, rzędu Hz, odczucie jest proporcjonalne do pochodnej przyspieszenia j (jerk). Dla częstotliwości średnich, rzędu od kilku do 10 Hz, mamy proporcjonalność odczucia do stałego przyspieszenia a , zaś powyżej 10 Hz odczucie jest proporcjonalne do amplitudy prędkości drgań v . Opisany charakter drganiowej wrażliwości człowieka jest podobny dla wszystkich rodzajów ekspozycji na drgania, mogą się jedynie zmieniać częstotliwości graniczne zakresów $j = \text{const}$, $a = \text{const}$, $v = \text{const}$.

3.3.1. NORMOWANIE ZAGROŻENIA DRGANIOWEGO

Chociaż zagrożenie drganiowe w przemyśle i transporcie jest mniejsze niż hałasowe, to jednak liczby zachorowań na chorobę wibracyjną są w skali kraju znaczące.

m/s^2



Rys. 3.12. Graniczne wartości ekspozycji na drgania ogólne w kierunku pionowym ze względu na zmniejszenie wydajności pracy - granica uciążliwości; dla uzyskania granicy szkodliwości skale amplitud pomnożyć przez 2 (+6 dB); dla granicy komfortu podzielić przez 3,15 (-10 dB) wg ISO-2631

Według danych raportu [44] w 1970 r. zanotowano 424 nowe przypadki choroby wibracyjnej, natomiast w 1981 r. już 898. Należy mieć nadzieję, że opracowane w roku 1983 nowe normy: PN-83-N-01354 dotycząca wibracji ogólnej oraz PN-B3-N-01353 dotycząca miejscowego oddziaływania, zatrzymają tę lawinę wzrostu zachorowań na zespół wibracyjny. Normy te bazują na ustaleniach Międzynarodowej Organizacji Standardów - ISO-2631, które warto przytoczyć w postaci graficznej, jako że ilustrują, omawiany już wcześniej sposób wartościowania drgań (rys. 3.12). Jak widać z rysunku wielkością kryterialną jest skuteczne przyspieszenie drgań mierzone w pasmach tercjowych. Największa wrażliwość na drgania występuje w oktawach 4 i 8 Hz, gdzie minutowa ekspozycja o amplitudzie przyspieszeń drgań $6 m/s^2$ może już być szkodliwa.

Norma polska PN-83/N-01354 w sposób identyczny definiuje granice komfortu, uciążliwości i szkodliwości, a metodycznie dopuszcza trzy rodzaje oceny szkodliwości drgań: ocenę widmową, globalną i dozymetryczną. O c e n a w i d m o w a polega na analizie tercjowej bądź oktawowej drgań i porównaniu wyników z wartościami dopuszczalnymi. Z tego względu zalecana jest do drgań stacjonarnych. Tabela 3.3 podaje wartości dopuszczalne dla 8-godzinnej ekspozycji siedzącego lub stojącego człowieka. Z przytoczonej tabeli wynika, że najmniejsze dopuszczalne przyspieszenie drgań wynosi $0,5 m/s^2$ dla częstoty 0,8 Hz, zaś największe $18 m/s^2$ i częstoty 80 Hz. Obie wartości mierzone są w płaszczyźnie poziomej.

Druga metoda oceny zagrożenia drganiowego, g l o b a l n a, bazuje na uśrednianiu niestacjonarnych amplitud mierzonych w tercjach, a następnie na ich sumowaniu z podanymi współczynnikami wagi. Współczynniki te wynikają z tab. 3.3, jeśli występujące tam wartości znormalizujemy do wartości minimalnej (np. 1 dla 4 Hz). Otrzymane w ten sposób zagrożenie drganiowe jest charakteryzowane jedną liczbą, którą porównuje się z wartością dopuszczalną. Jest to prawie identyczne do obliczania poziomu ekwiwalentnego przy szacowaniu zagrożenia hałasowego.

Jeszcze większą analogię do poziomu ekwiwalentnego ma dozymetryczny sposób oceny zagrożenia, gdzie

$$a_{eq} = \left[\frac{D}{T} \right]^{\frac{1}{2}} = \left[\frac{1}{T} \int_0^T a_k^2(t) dt \right]^{\frac{1}{2}}$$

gdzie D jest dawka drgań w m^2/s^3 , zaś skorygowane przyspieszenie $a_k(t)$ mierzy się za pomocą tych samych filtrów, jak w metodzie całkowitej, Jest to w istocie ten sam sposób oceny tylko, że za pomocą przyrządu - dozymetru.

Tabela 3.3

Dopuszczalne amplitudy przyspieszeń drgań na stanowisku pracy przy ośmiogodzinnej ekspozycji ogólnej wg PN-83/N-01354

Częstotliwość tercji Hz	Graniczne przyspieszenie drgań w m/s^2 , RMS			
	dla tercji w kierunku		dla oktawy w kierunku	
	Z	X,Y	Z	X,Y
0,8	1,42	0,448	-	-
1,0	1,26	0,448	2,20	0,78
1,25	1,12	0,448	-	-
1,6	1,00	0,448	-	-
2,0	0,90	0,448	1,58	0,84
2,5	0,80	0,56	-	-
3,15	0,71	0,71	-	-
4,0	0,63	0,90	1,14	1,60
5,0	0,63	1,12	-	-
6,3	0,63	1,42	-	-
8,0	0,63	1,80	1,20	3,24
10,0	0,80	2,24	-	-
12,5	1,00	2,80	-	-
16,0	1,26	3,60	2,28	6,40
20,0	1,60	4,48	-	-
25,0	2,00	5,60	-	-
31,5	2,50	7,10	4,52	12,60
40,0	3,20	9,00	-	-
50,0	4,00	11,20	-	-
63,0	5,00	14,20	8,98	23,52
80,0	6,30	18,00	-	-

Uwaga: granica dokuczliwości jest dwa razy mniejsza (-6 dB), granica komfortu jest 6,36 razy mniejsza (-16 dB)

Tabela 3.4

Dopuszczalne wartości przyspieszeń drgań przy oddziaływaniu lokalnym wg PN-83/N-01353

Częstotliwość tercji Hz	a_{dop} w m/s^2 , RMS, dla każdego kierunku x, y, z	
	tercje	oktawy
6,4	0,8	-
8	0,8	1,4
10	0,8	-
12,5	0,8	-
16	0,8	1,4
20	1	-
25	1,3	-
31,5	1,6	2,7
40	2	-
50	2,5	-
63	3,2	5,4
80	4	-
100	5	-
125	6,3	10,7
160	8	-
200	10	-
250	12,5	21,3
315	16	-
400	20	-
500	25	42,5
630	31,5	-
800	40	-
1000	50	85

Jeśli czas oddziaływania drgań $-\theta$ jest krótszy niż 8 h (480 min), to jak widać z rys. 3.12, amplituda drgań może być wyższa i można ją obliczyć z wzoru

$$a_{\theta} = a_{480} \sqrt{\frac{480}{\theta}} \quad (3.7)$$

Wzór ten można również wykorzystać do obliczeń dopuszczalnego czasu ekspozycji przy zadanych drganiach.

Podobna w konstrukcji jest norma limitująca drgania oddziałujące lokalnie na ręce pracowników - PN-83/N-01353. Różny jedynie jest tu zakres częstotliwości (tercje 6,4÷1000 Hz) oraz przedziały amplitud dopuszczalnych. Dla metody dozymetrycznej ośmiogodzinne przyspieszenie graniczne wynosi: $a_{480}=1,4 \text{ m/s}^2$. Za jego pomocą można obliczyć dopuszczalny czas ekspozycji, jeśli używamy normowej „całkowitej” oceny zagrożenia drganiowego (wzór (3.7)). Natomiast dane tercjowo-oktawowe dla metody widmowej oceny zagrożenia przedstawia tab. 3.4, z której wynika, że maksymalna dopuszczalna amplituda przyspieszeń działających na rękę operatora wynosi 85 m/s^2 dla oktawy 1 kHz. Nie jest to wartość mała i nie należy dopuszczać do takich zagrożeń.