

PRZENOŚNIKI PŁYNÓW	N O R M A B R A N Ż O W A	BN-79
	Pompy wirowe	1380-13
	Wyważanie sztywnych elementów wirujących	
		Grupa katalogowa 0482

## 1. WSTĘP

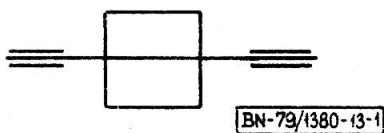
**1.1. Przedmiot normy.** Przedmiotem normy jest wyważanie sztywnych elementów i dwupodporowych zespołów wirujących pomp.

### 1.2. Określenia

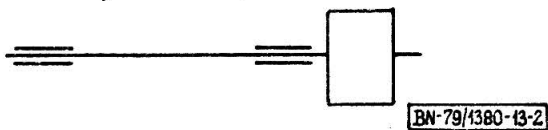
**1.2.1. Zespół wirujący dwupodporowy** — zespół, który podczas wirowania podtrzymywany jest na powierzchniach nośnych dwóch podpór łożyskowych.

W zależności od rozmieszczenia masy w stosunku do podpór rozróżnia się zespoły wirujące:

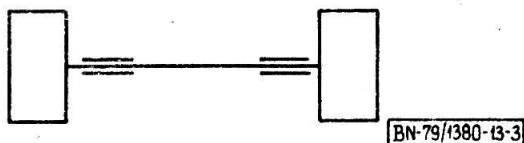
- obustronnie podparte, rys. 1,
  - jednostronnie przewieszone, rys. 2,
  - obustronnie przewieszone, rys. 3
- oraz zespoły o rozmieszczeniu mas wg rys. 4.



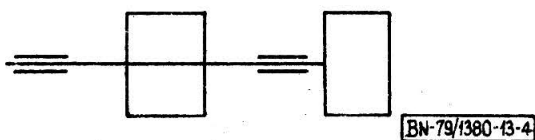
Rys. 1.



Rys. 2.



Rys. 3.



Rys. 4.

**1.2.2. Masa niewyważona** — skupiona masa  $m_0$  elementu lub zespołu o określonej mimośrodowości  $r_0(e)$  albo umowna skupiona masa  $m$  znajdująca się na promieniu  $r$ , wywołująca w czasie wirowania zmienne co do kierunku (wirujące) obciążenia na podporach, o wartościach proporcjonalnych do wartości iloczynów  $m_0 r_0 = mr$ .

**1.2.3. Niewyważenie** — wektorowa wielkość fizyczna, której wartość równa jest iloczynowi masy niewyważonej i jej mimośrodowości (promienia).

**1.2.4. Niewyważenie właściwe** — stosunek wartości niewyważenia do masy elementu (zespołu).

**1.2.5. Dopuszczalne niewyważenie właściwe** — największe niewyważenie właściwe, które wywołuje jeszcze dopuszczalny stan niewyważenia elementu (zespołu) wirującego.

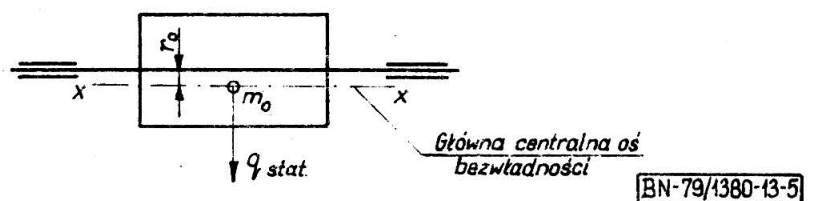
**1.2.6. Płaszczyzna korekcji** — płaszczyzna prostopadła do osi wirowania, w której położony jest środek masy korekcyjnej.

**1.2.7. Płaszczyzna pomiarowa** — płaszczyzna prostopadła do osi wirowania, w której mierzy się wartość i kąt niewyważenia.

**1.2.8. Wyważanie** — operacja wyznaczania wartości i kątów niewyważenia elementu (zespołu) oraz jego zmniejszenia.

**1.2.9. Wyważanie statyczne** (rys. 5) — wyważanie polegające na wyznaczeniu i zmniejszeniu wektora od niewyważenia statycznego  $q_{stat}$  elementu (zespołu).

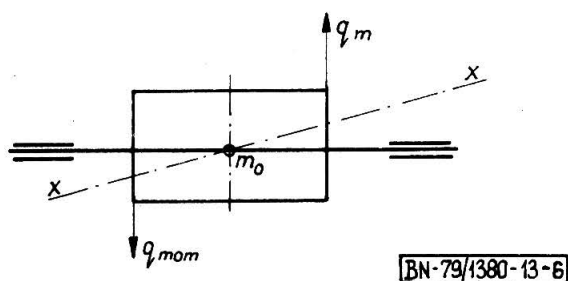
Wyważanie statyczne wykonuje się na ogół w jednej płaszczyźnie korekcji.



Rys. 5.

Zgłoszona przez Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Pomp Przemysłowych  
Ustanowiona przez Dyrektora Zjednoczenia Przemysłu Budowy Urządzeń Chemicznych „Chemak” dnia 31 października 1979 r.  
jako norma obowiązująca od dnia 1 lipca 1980 r.  
(Dz. Norm. i Miar nr 26/79 poz. 119)

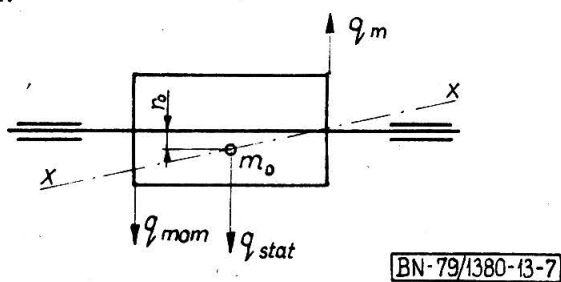
**1.2.10. Wyważanie momentowe** (rys. 6) — wyważanie polegające na wyznaczeniu i zmniejszeniu momentu  $q_{mom}$  od niewyważenia elementu (zespołu). Wyważanie momentowe wykonuje się w dwóch płaszczyznach.



Rys. 6.

**1.2.11. Wyważanie dynamiczne** (rys. 7) — wyważanie polegające na wyznaczeniu i zmniejszeniu wektora  $q_{stat}$  i momentu niewyważenia  $q_{mom}$  elementu (zespołu).

Wyważanie dynamiczne wykonuje się w dwóch płaszczyznach.



Rys. 7.

**1.2.12. Pozostałe określenia** — wg PN-77/M-04000.

**1.3. Oznaczenia, nazwy i jednostki miar stosowane w normie** — wg tablicy.

Oznaczenie	Nazwa	Jednostka miary
1	2	3
$a, a_r, a_k, a_p$	amplitudy drgań powodowanych niewyważeniem	mm
$b$	szerokość elementu wirującego	
$b_1, b_2$	odległość środka masy od płaszczyzn korekcyjnych	
$c, c_1, c_2$	odległości środka masy od płaszczyzn pomiarowych	
$D$	zewnętrzna średnica wirnika	$\mu\text{m}$
$e$	dopuszczalne niewyważenie właściwe lub dopuszczalna mimośrodowość środka masy	
$e_1, e_2$	dopuszczalne niewyważenie właściwe lub dopuszczalna mimośrodowość środka masy w płaszczyznach korekcji I i II	$\mu\text{m}$
$G$	klasa dokładności wyważania	mm/s
$L$	odległość między płaszczyznami korekcji	mm
$l$	rozstaw łożysk (rozstaw płaszczyzn pomiarowych)	
$l_1, l_2$	odległość płaszczyzn korekcji od podpór łożyskowych	

cd. tablicy

Oznaczenie	Nazwa	Jednostka miary
1	2	3
$m_0, m_{01}, m_{02}$	masy elementów (zespołów) wirujących	kg
$m$	masa korekcyjna	g
$m_1, m_2$	masy korekcyjne odniesione do płaszczyzn korekcji I i II	g
$n$	prędkość obrotowa wirnika	obr/min
$q, q_r$	dopuszczalne niewyważenie resztkowe	g·mm
$q_1, q_2$	dopuszczalne niewyważenie resztkowe w płaszczyznach korekcji I i II	
$q_A, q_B$	dopuszczalne niewyważenie resztkowe w płaszczyznach pomiarowych	
$q_k$	niewyważenie kontrolne	g·mm
$q_p$	niewyważenie początkowe	
$r$	odległość środka masy od osi obrotu	mm
$r_0$	odległość środka masy niewyważonego elementu (zespołu) wirującego od jego osi obrotu	
$r_1, r_2$	odległość środków położenia mas korekcyjnych od osi obrotu elementu wirującego	mm
$z_1, z_2$	odległość płaszczyzn mas korekcyjnych od płaszczyzny środka masy	mm
$Q$	resztkowa siła odśrodkowa	N
$\omega$	prędkość kątowna wirnika	rad/s

## 2. WYMAGANIA

**2.1. Wymagania ogólne.** Wszystkie elementy pomp, jak sprzęgła, wirniki, tarcze, pierścienie będące w ruchu obrotowym powinny być wyważone statycznie lub dynamicznie. W pompach wielostopniowych o prędkości obrotowej  $n \geq 2800$  obr/min należy przeprowadzić również wyważanie zespołów wirujących.

**2.2. Dobór klasy dokładności wyważania.** Dla ogółu pomp wirowych ustala się dwie klasy dokładności wyważania G 6,3 i G 2,5 wg PN-77/M-04000, jednakowe dla wyważania dynamicznego i statycznego.

Klasę G 6,3 należy stosować dla zespołów wirujących pomp, których prędkość obrotowa nie przekracza 3000 obr/min.

Klasę G 2,5 należy stosować dla zespołów wirujących pomp o prędkości obrotowej powyżej 3000 obr/min, zwłaszcza w pompach zasilających.

Dopuszcza się stosowanie innych (nawet niższych) klas wg PN-77/M-04000 dla poszczególnych elementów wirujących pomp, pod warunkiem uzyskania wymaganej dokładności wyważania zespołu wirującego.

**2.3. Wyznaczanie dopuszczalnego niewyważenia właściwego.** Dopuszczalne niewyważenie właściwe elementu lub zespołu wirującego, dla przyjętej klasy dokładności wyważania i największej eksploatacyjnej prędkości kątowej (obrotowej), oblicza się wg wzorów lub określa z wykresu (rys. 8)

$$e = \frac{G}{\omega} \quad (1)$$

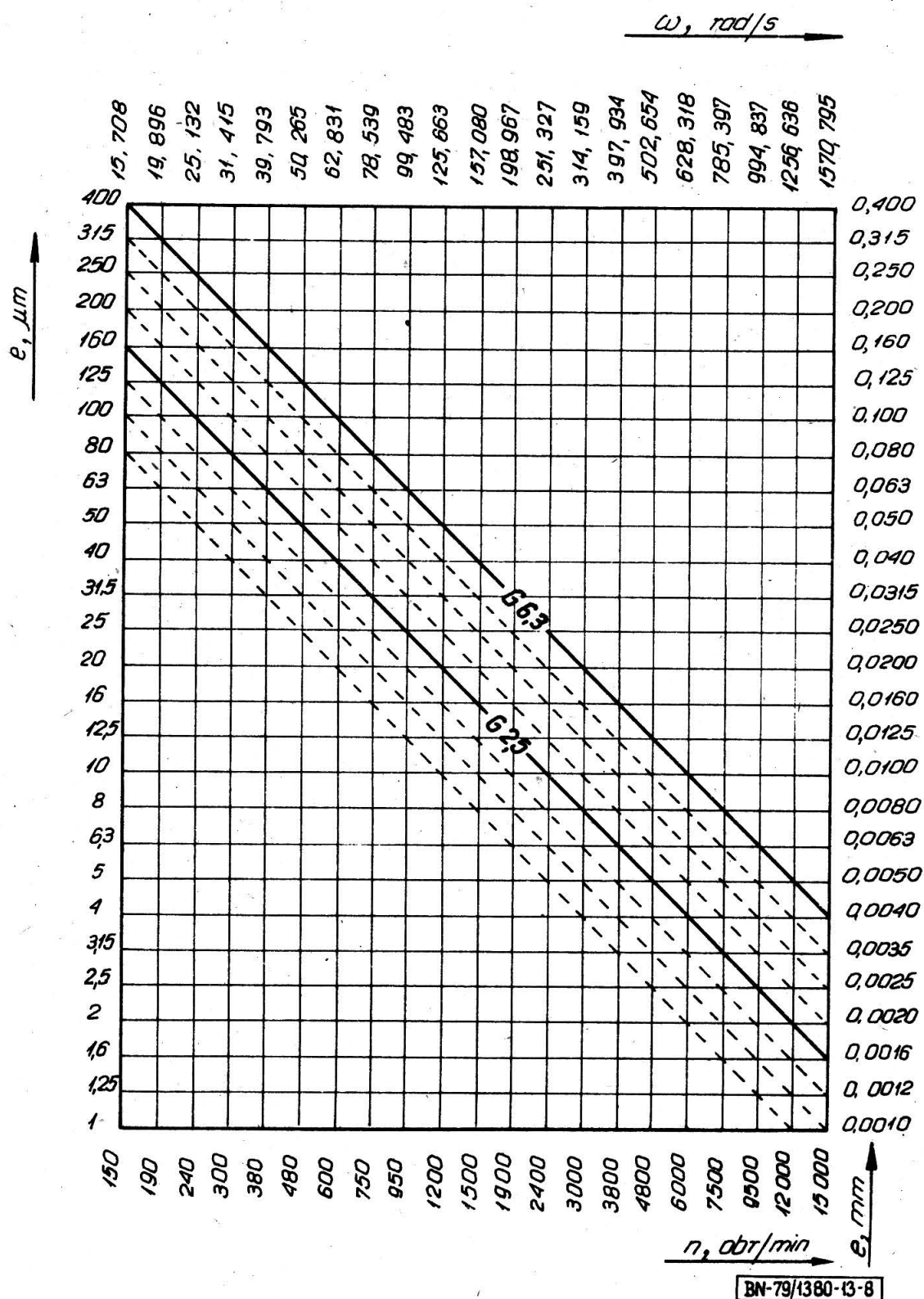
$$q = m_0 \cdot \frac{G}{\omega} \quad (4)$$

$$e = 9,55 \cdot \frac{G}{n} \quad (2)$$

$$q = 9,55 \cdot m_0 \cdot \frac{G}{n} \quad (5)$$

Dopuszczalne niewyważenie właściwe jest miarą największej dopuszczalnej mimośrodowości środka masy w najbardziej niekorzystnym przypadku niewyważenia, tj. niewyważenia statycznego.

**2.5. Odchyłka wartości niewyważenia resztkowego.**  
Ze względu na błąd pomiaru związany z metodami



Rys. 8.

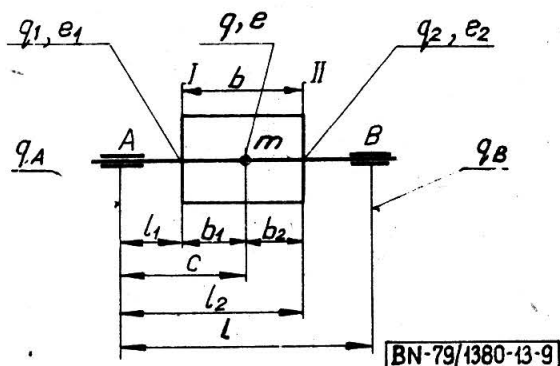
**2.4. Obliczenie dopuszczalnego niewyważenia resztkowego.** Dopuszczalne niewyważenie resztkowe elementu lub zespołu wirującego, wyważonego dynamicznie lub statycznie, oblicza się wg wzorów:

$$q = m_0 \cdot e \quad (3)$$

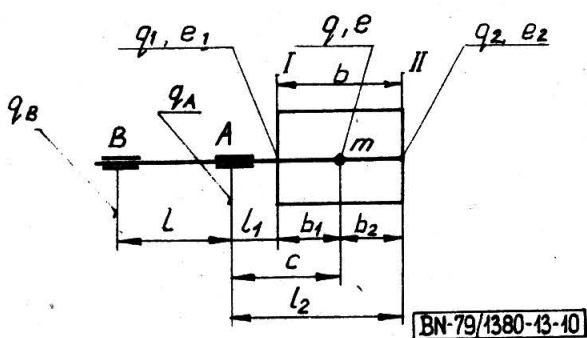
i przyrządami pomiarowymi konieczne jest, aby resztkowe niewyważenie u wytwórcy było mniejsze od dopuszczalnego niewyważenia wynikającego z przyjętej klasy dokładności. Przy kontroli niewyważenia u odbiorcy można dopuścić większe wartości niewyważań resztkowych.

Dla klas dokładności G 6,3 i G 2,5 zaleca się, aby wartości dopuszczalnych odchyłek nie przekraczały  $\pm 15\%$ . Odchyłka ze znakiem ujemnym dotyczy wyłącznie kontroli jakości wyważenia u wytwórcy, ze znakiem dodatnim — u odbiorcy.

**2.6. Podział dopuszczalnego niewyważenia reszkowego na płaszczyźnie korekcji i płaszczyzny pomiarowe.** Przed wyważeniem dynamicznym lub statycznym z korekcją masy w dwóch płaszczyznach, dopuszczalne niewyważenie reszkowe  $g$  elementu (zespołu) wirującego należy rozdzielić na płaszczyzny korekcji.



Rys. 9



Rys. 10

Wartości  $q$  lub  $e$  rozdziela się między płaszczyzny korekcyjne w jednej płaszczyźnie przechodzącej przez oś obrotu (nie określając kątowych położenia reszkowych mas niewyważonych).

Dla dwóch płaszczyzn korekcji I i II powinna być spełniona zależność

$$q = q_1 + q_2 \text{ i analogicznie } e = e_1 + e_2 \quad (6)$$

Dopuszczalne niewyważenia reszkowe  $q_1$  i  $q_2$  w płaszczyznach korekcji I i II dla elementów wirujących, obustronnie podparych (rys. 9), jak i dla jednostronnie przewieszonych (rys. 10), oblicza się wg wzorów:

$$q_1 = q \cdot \frac{b_2}{b}; \quad e_1 = e \cdot \frac{b_2}{b} \quad (7)$$

$$q_2 = q \cdot \frac{b_1}{b}; \quad e_2 = e \cdot \frac{b_1}{b} \quad (8)$$

Odpowiadające niewyważeniom  $q_1$  i  $q_2$  dopuszczalne niewyważenia reszkowe  $q_A$  i  $q_B$  w płaszczyznach pomiarowych A i B (płaszczyznach symetrii łożysk) dla elementów wirujących, obustronnie podparych (rys. 9)

jak i jednostronnie przewieszonych (rys. 10), oblicza się wg wzorów:

$$q_A = \frac{q_1(l \pm l_1) + q_2(l \pm l_2)}{l} \quad (9)$$

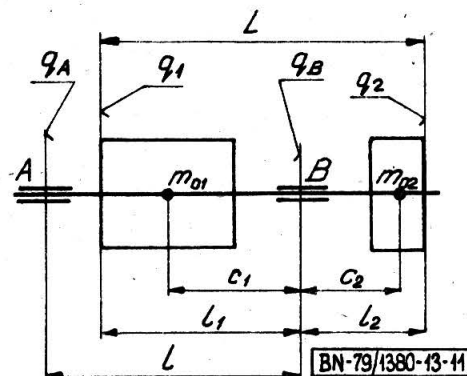
$$q_B = \frac{q_1 l_1 + q_2 l_2}{l} \quad (10)$$

lub wzorów równoważnych

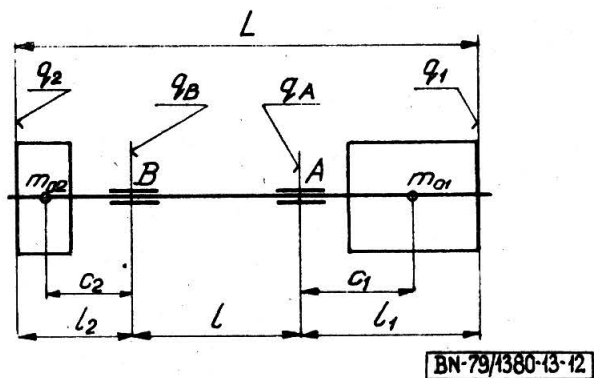
$$q_A = q \left( l \pm \frac{c}{l} \right) \quad (11)$$

$$q_B = q \frac{c}{l} \quad (12)$$

Znak minus we wzorach (9) i (11) dotyczy elementów wirujących obustronnie podparych (rys. 9), znak plus dotyczy elementów jednostronnie przewieszonych (rys. 10).



Rys. 11



Rys. 12

W zespołach wirujących o rozmieszczeniu mas wg rys. 11 i 12, gdy masy  $m_{02}$  dodatkowych elementów (np. sprzęgieł, tarcz) są porównywalne z masą  $m_{01}$  wirnika i mogą mieć wpływ na drgania, trwałość łożyskowania, pracę uszkodzeń itp., konieczne jest ich uwzględnienie przy wyważaniu.

Elementy o masach  $m_{01}$  i  $m_{02}$  należy najpierw wyważyć statycznie z dokładnością  $e$  w odpowiedniej klasie, a następnie przeprowadzić wyważenie dynamiczne całego zespołu.

Wyważenie dynamiczne w zespołach wg rys. 11 może być pominięte, jeżeli wartość stosunku  $\frac{L}{l} < 1$  mieścić się będzie w polu poniżej przekątnej wg rys. 13.

Dopuszczalne wartości niewyważenia reszkowych w płaszczyznach korekcji ( $q_1$  i  $q_2$ ) oraz w płaszczyznach

pomiarowych ( $q_A$  i  $q_B$ ) można obliczyć wg następujących zależności:

a) Dla wirnika o rozmieszczeniu mas wg rys. 11 — dla przykładu  $L < l$

$$q_1 = em_{o1} \frac{l_2 + c_1}{L} + em_{o2} \frac{l_2 - c_2}{L} \quad (13)$$

$$q_2 = em_{o1} \frac{l_1 - c_1}{L} + em_{o2} \frac{l_1 + c_2}{L} \quad (14)$$

$$q_A = \left| em_{o1} \frac{c_1}{l} - em_{o2} \frac{c_2}{l} \right| \quad (15)$$

$$q_B = em_{o1} \left( 1 - \frac{c_1}{l} \right) + em_{o2} \left( 1 + \frac{c_2}{l} \right) \quad (16)$$

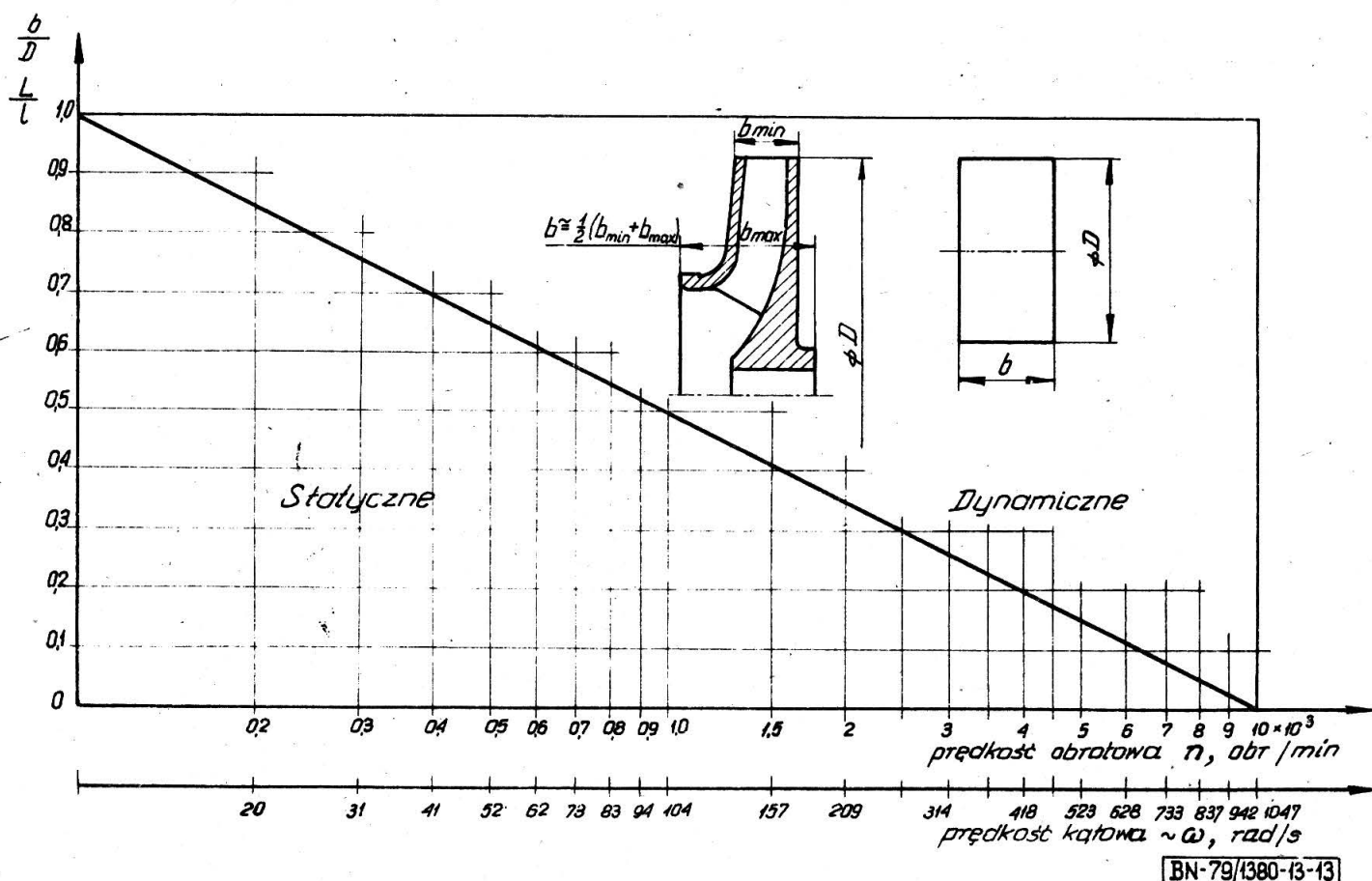
$$q_B = \left| em_{o2} \left( 1 + \frac{c_2}{l} \right) - em_{o1} \frac{c_1}{l} \right| \quad (20)$$

$$q_1 = q_A \frac{l + l_2}{L} - q_B \frac{l_2}{L} \quad (21)$$

$$q_2 = q_B \frac{l + l_1}{L} - q_A \frac{l_1}{L} \quad (22)$$

Jeśli  $q_1$  i  $q_2$  obliczone z powyższych wzorów będą miały różne znaki, to należy postępować wg wyjaśnień podanych w 2.6a).

Dla szczególnego przypadku jednakowych mas ( $m_{o1} = m_{o2} = m_o$ ), symetrycznie rozmieszczonych względem łożysk, dopuszczalne odchyłki w płaszczyznach korekcji określa się wg wzoru



Rys. 13

— dla przypadku  $L > l$

Wartości  $q_A$  i  $q_B$  oblicza się wg wzorów (15) i (16).

$$q_1 = q_A \frac{l + l_2}{L} - q_B \frac{l_2}{L} \quad \text{lub} \quad q_1 = q_A \frac{l + l_2}{L} + q_B \frac{l_2}{L} \quad (17)$$

$$q_2 = q_A \frac{l - l_1}{L} + q_B \frac{l_1}{L} \quad \text{lub} \quad q_2 = q_A \frac{l - l_1}{L} - q_B \frac{l_1}{L} \quad (18)$$

Jeśli dla obu z powyższych grup wzorów otrzyma się  $q_1$  i  $q_2$  o różnych znakach (np.  $q_1 < 0$ ,  $q_2 > 0$ ), to należy przyjąć inne wartości  $q_A$  lub  $q_B$  niż wyżej obliczone, rozpatrując indywidualnie każdy przypadek pod kątem różnych możliwości skutków niewyważenia.

b) Dla wirnika o rozmieszczeniu mas wg rys. 12

$$q_A = \left| em_{o1} \left( 1 + \frac{c_1}{l} \right) - em_{o2} \frac{c_2}{l} \right| \quad (19)$$

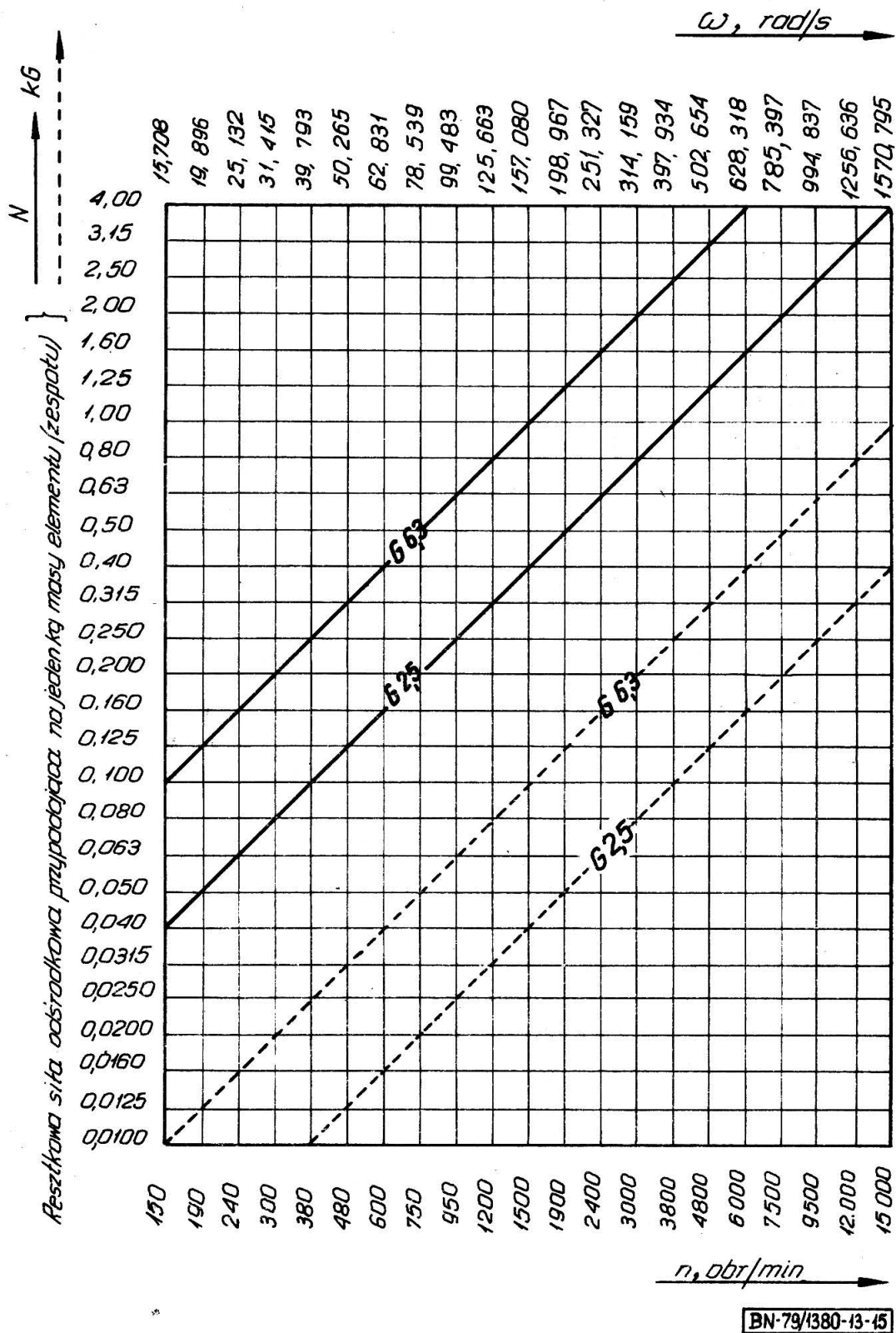
$$q_1 = q_2 = \frac{l}{2L} \cdot e(m_{o1} + m_{o2}) = \frac{l}{L} \cdot c \cdot m_o \quad (23)$$

**2.7. Wytyczne usytuowania miejsca lub miejsc korekcji przy wyważaniu statycznym.** Przy wyważaniu statycznym elementu (zespołu) wirującego miejsce korekcji masy zaleca się usytuować w płaszczyźnie przechodzącej przez środek masy.

W odniesieniu do wirników pomp takie usytuowanie miejsca korekcji jest na ogół niemożliwe. Jako miejsce korekcji przyjmuje się płaszczyznę położoną najbliżej środka masy, z reguły na przedniej ścianie wirnika (rys. 14a), a w wirnikach otwartych na tylnej ścianie (rys. 14c).

Masa korekcyjna może być również rozdzielona na dwie płaszczyzny korekcji (rys. 14b, d) i e).





Rys. 15

K O N I E C

## INFORMACJE DODATKOWE

1. Instytucja opracowująca normę — Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Pomp Przemysłowych, Warszawa.

## 2. Normy związane

PN-77/M-04000 Klasy dokładności wyważania wirników sztywnych

## 3. Normy zagraniczne i zalecenia międzynarodowe

ZSRR FOCT 19534-74 Bałansirovka wraszczajuszczichaja tiel. Tierminy

ISO 1925 Balancing — Vocabulary, 1974 r.

ISO 1940 Balance quality of rotating rigid bodies

4. Wytyczne doboru rodzaju wyważania. W celu wykonania wyboru rodzaju wyważania (statyczne czy dynamiczne), należy uwzględnić następujące dane o elemencie (zespolu) wirującym:

— klasę dokładności wyważania i maksymalną eksploatacyjną prędkość obrotową,

- położenie masy wirnika względem podpór łożyskowych,
- geometrię elementu wirującego, (wartość stosunku szerokości do średnicy i stosunku szerokości do odległości między łożyskami).
- dopuszczalny poziom drgań lub hałasu,
- stan i rozkład niewyważenia początkowego.

W każdym przypadku optymalny wybór rodzaju wyważania powinien być brany z badań lub danych statystycznych dla dostatecznej liczby wirników.

Dla celów praktycznych jako orientacyjną granicę stosowalności statycznego wyważania elementów wirujących można przyjąć następujące kryteria:

- a) jeżeli w wyniku badania na wyważarce dynamicznej serii podobnych wirników już wyważonych statycznie, wartość największego momentu od niewyważenia  $q_{mom}$  / 1 podzielona przez odległość

między łożyskami lub płaszczyznami pomiarowymi jest mniejsza lub równa połowie dopuszczalnego niewyważenia resztkowego, tj.  $\frac{1}{2} m_0 \cdot e$ .

b) wartość liczbowa stosunku szerokości  $b$  do średnicy  $D$  przy danej prędkości eksploatacyjnej mieści się w polu poniżej przekątnej (rys. 13).

c) przy prędkości obrotowej  $n \leq 1500$  obr/min wartość liczbowa stosunku szerokości do średnicy wirnika wynosi

$$\frac{b}{D} < (0,2 - 0,33).$$

Kryterium wg. a) jest najdokładniejsze, a kryterium wg. c) najmniej dokładne.

Jeżeli wyważenie statyczne okaże się niewystarczające, element (zespół) należy wyważyć dynamicznie.

Zaleca się przy tym:

— niewielkie elementy osiowo-symetryczne wyrównywać bezpośrednio dynamicznie,

— elementy duże i niecałkowicie obrabiane należy przed wyważaniem dynamicznym wstępnie wyważyć statycznie.

**5. Wpływ dokładności wykonania części i ich montażu na końcowe niewyważenie.** Końcowe niewyważenie zespołu wirującego jest sumą geometryczną niewyważenia poszczególnych części, powiększoną (lub zmniejszoną) o wartości granicznych luzów wynikających z tolerancji wymiarów i kształtów oraz poprawności montażu. Dlatego też należy zwrócić uwagę na wzajemne dostosowanie klasy dokładności wyważania i dokładności wykonania i montażu zespołów.

Łożyska toczne o normalnej dokładności wykonania powodują dodatkowe niewyważenie rzędu  $e = (0,6 \div 2) \mu\text{m}$  zależnie od ich wielkości, co przy klasie G 2,5 może mieć już poważny wpływ na całkowite niewyważenie.

Przy oddzielnym wyważeniu poszczególnych części, elementy łączące, jak śruby, sworznie, klipy powinny być umocowane na jednej z części (lub rozdzielone), a ponadto odpowiednio odcelowane dla zapewnienia właściwej kolejności przy ponownym montażu. Zaleca się usuwanie mas korekcyjnych przez obróbkę skrawaniem.

Jeżeli żądana dokładność wyważania dla zespołu nie może być osiągnięta przez wyważanie poszczególnych części, a dalsze podnoszenie ich dokładności jest ekonomicznie lub technicznie nieuzasadnione, należy dążyć do wyważenia statycznego lub dynamicznego całego zespołu wirującego.

W procesie projektowania pompy należy uwzględnić zagadnienie odwrotne, tj. wpływ końcowego niewyważenia na jej konstrukcję. Tak np. jeśli w całkowitym obciążeniu łożysk prawdopodobna jest dominacja (lub co najmniej znaczny udział) siły od końcowego niewyważenia wirnika (zespołu wirującego), to będzie miał miejsce nie przypadek ruchomego wałka lecz ruchomej osłony lub mieszany, co należy uwzględnić przy ustalaniu pasowania łożyska w obudowie.

#### 6. Doświadczalne określanie wymaganej dokładności wyważania.

W celu doświadczalnego określenia dopuszczalnej wartości niewyważenia resztkowego, wirnik (zespół wirujący) danego typu należy najpierw wyważyć z największą możliwą do osiągnięcia dokładnością. Następnie do takiego wirnika należy kolejno mocować sztuczne niewyważenia (masy kontrolne) o rosnących wartościach aż do chwili.

gdy efekty niewyważenia będzie można wyodrębnić spośród innych istniejących zakłóceń, tj. gdy niewyważenie to zauważalnie wpłynie na drgania, spokój pracy lub działanie pompy. Przy wyważaniu w dwóch płaszczyznach należy rozważyć różniące się efekty niewyważenia statycznego i dynamicznego. Jeśli to możliwe, ocena taka powinna być wykonana w miejscu zainstalowania agregatu pompowego. Podczas tak przeprowadzanych badań należy uwzględnić porawki na zmianę (pogorszenie się) stopnia wyważenia zespołu wirującego podczas pracy pompy.

### 7. Pomiar niewyważenia początkowego i resztkowego statycznego i dynamicznego oraz kontrola jakości wyważania

**7.1. Pomiar niewyważenia początkowego  $q_p$ .** Niewyważenie początkowe wyznacza się w warunkach dynamicznych przez pomiar amplitud drgań łożysk urządzenia wyważającego w funkcji położenia kąowego dwóch mas kontrolnych umieszczonych w płaszczyznach korekcyjnych. Przy pomiarze niewyważenia statycznego obie masy mocuje się pod tym samym kątem, a przy pomiarze niewyważenia momentowego — pod kątami różniącymi się o  $180^\circ$ , tj. antypodycznie.

Pomiary wykonuje się dla 8 różnych położenia kąowego masy kontrolnej odległych o  $45^\circ$ . Dla zwiększenia dokładności wyważania, masy kontrolne mocuje się w punktach, których kolejność podano na rys. I-1a).

Kształt krzywej pomiarowej otrzymanej przy wyważaniu jest tym bardziej zbliżony do sinusoidy (rys. I-1b), im mniejszy jest stosunek

$$\frac{q_k}{q_p}$$

niewyważenia kontrolnego i początkowego.

Amplituda sinusoidy  $a_k$  jest miarą niewyważenia kontrolnego, a średnia arytmetyczna  $a_p$  odczytów jest miarą niewyważenia początkowego.

Przy założeniu liniowości układu: wirnik — wyważarka, tj. przy spełnieniu zależności

$$\frac{q_p}{q_k} = \frac{a_p}{a_k}$$

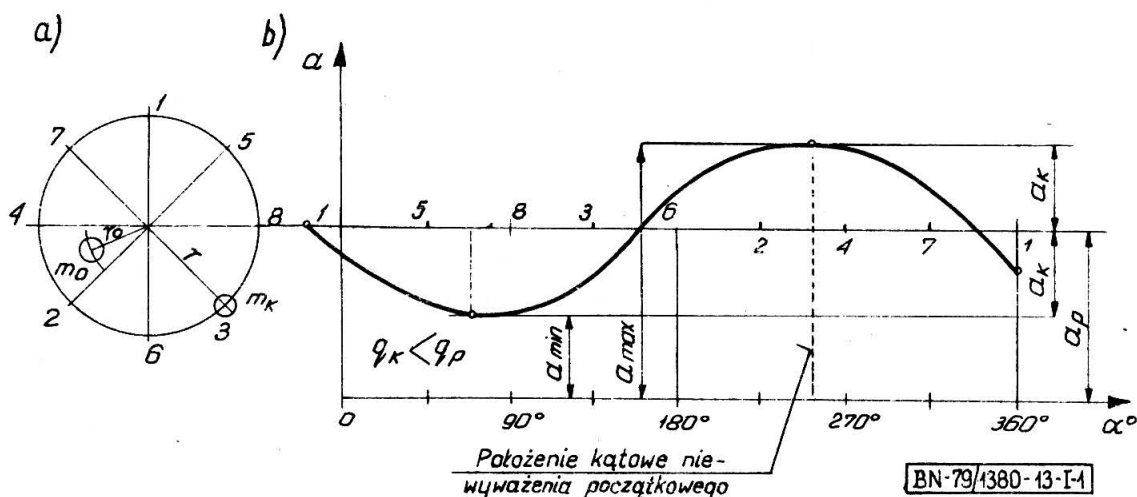
gdzie:  $q_p = m_0 \cdot r_0$   
 $q_k = m_k \cdot r$

niewyważenie początkowe  $q_p$  można obliczyć ze wzoru

$$q_p = q_k \frac{a_{\max} + a_{\min}}{a_{\max} - a_{\min}} \quad (I-1)$$

W przypadku niewyważenia dynamicznego (statycznego i momentowego łącznie) pomiary należy przeprowadzić oddzielnie dla każdej płaszczyzny korekcyjnej.

**7.2. Pomiar niewyważenia resztkowego  $q_r$ .** Niewyważenia resztkowe końcowe wyznacza się w sposób omówiony w 7.1. Różnica po-



Rys. I-1



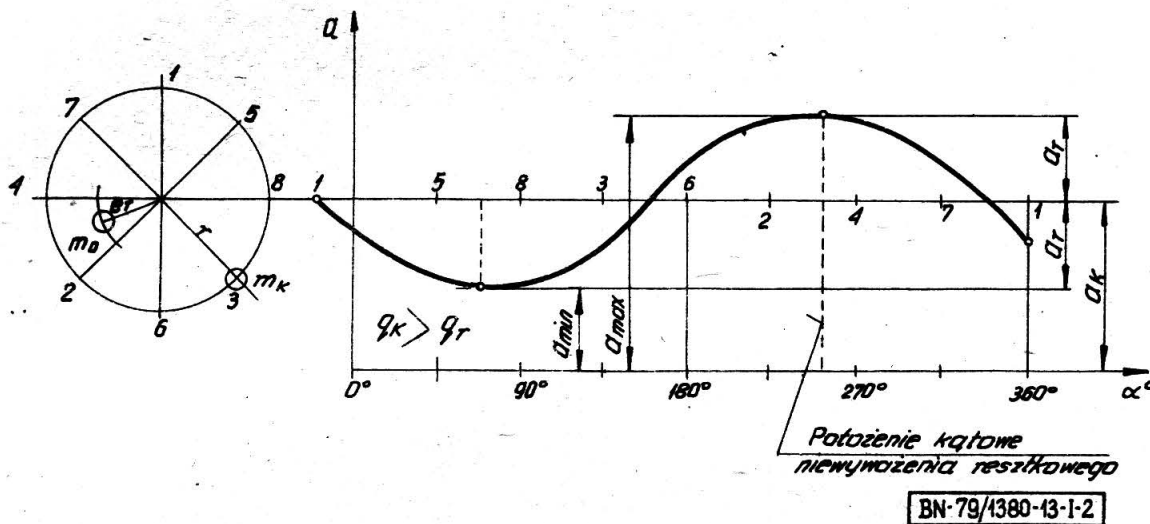
lega tylko na tym, że przy pomiarze niewyważenia początkowego powinien być spełniony warunek

$$\frac{q_k}{q_p} < 1$$

natomiast przy pomiarze niewyważenia resztkowego  $q_r = e_r \cdot m_o$  stosuje się zwykle  $q_k = (5 \div 10) q_r$ .

Przy jednej płaszczyźnie korekcyjnej całą masę  $m_k$  odpowiadającą niewyważeniu dopuszczalnemu statycznemu  $q_{dop} = e \cdot m_o$  mocuje się w tej płaszczyźnie.

Przy dwóch płaszczyznach wyważenia, dla których odległość  $L$  między nimi jest mniejsza od odległości  $l$  między łożyskami (rys. 11 i 12) przy kontroli jakości niewyważenia można pominąć niewyważenie momentowe. W tym przypadku masy kontrolne odpowiadające niewyważeniom  $q_1$  i  $q_2$ , obliczonym z podanych w tym punkcie wzorów, muszą być mocowane pod takim samym kątem.



Rys. I-2

W tym przypadku średnia arytmetyczna pomiarów jest miarą niewyważenia kontrolnego, a amplituda krzywej (rys. I-2) jest miarą rzeczywistego niewyważenia resztkowego, którego wartość można obliczyć ze wzoru

$$q_r = q_k \frac{a_{max} - a_{min}}{a_{max} + a_{min}} \quad (I-2)$$

Jeżeli po wykonaniu pierwszych pomiarów okaże się, że  $a_{max} \leq 2a_r$ , to  $q_k \geq q_r$ , a więc niewyważenie kontrolne jest za małe i należy je odpowiednio zwiększyć. Jeśli liniowość odczytów budzi wątpliwości, pomiar może być powtórzony z masą kontrolną odpowiednio zwiększoną lub zmniejszoną o wartość przypuszczalnego niewyważenia resztkowego. Różnice w poszczególnych położeniach kątowych między otrzymanymi krzywymi dadzą bardziej wiarygodny wynik.

**7.3. Kontrola jakości wyważenia.** Kontrolę jakości wyważenia można przeprowadzić w sposób opisany w 7.2 sprawdzając, czy spełniony jest warunek  $q_r \leq q_{dop}$ . Przy tym  $q_{dop}$  w danej płaszczyźnie pomiarowej A lub B należy obliczyć wg 2.6. Praktycznie kontrolę jakości wyważenia najlepiej przeprowadzić mocując w płaszczyznach korekcyjnych I i II masy kontrolne odpowiadające niewyważeniom dopuszczalnym  $q_1$  i  $q_2$  w tych płaszczyznach. Jeśli okaże się, że  $a_{max} < 2a_r$ , to wtedy napewno  $q_r > q_{dop}$  co oznacza, że wirnik jest niedostatecznie wyważony (rys. I-2). Jeśli natomiast  $a_{max} > 2a_r$ , to  $q_r < q_{dop}$  i wirnik można uznać za dobrze wyważony.

W przypadku gdy odległość między płaszczyznami korekcyjnymi jest większa od odległości między łożyskami (rys. 11 i 12), przy sprawdzaniu jakości wyważenia można dla uproszczenia pominąć niewyważenie statyczne i sprawdzić jedynie niewyważenie momentowe. W tym przypadku masy kontrolne odpowiadające niewyważeniom  $q_1$  i  $q_2$  muszą być mocowane antypodycznie.

Dla przypadków pośrednich, dla których skutki przypuszczalnych wartości niewyważień resztkowych obu rodzajów są tego samego rzędu, nie można pominąć żadnego z niewyważień. Kontrola jakości polega na niezależnym sprawdzeniu niewyważenia resztkowego statycznego i momentowego przy założeniu, że w płaszczyznach symetrii łożysk niewyważenia dopuszczalne  $q_A$  i  $q_B$  są równe połowie odpowiednich wartości niewyważień pochodzących od niewyważenia tylko statycznego.

Należy zaznaczyć, że wynik  $q_r > q_{dop}$  nie świadczy jeszcze o nieodpowiedniej jakości przeprowadzonego wyważania. W takim przypadku można dokładniej skontrolować jakość wyważania mierząc na wyważarce dynamicznej wartości niewyważień  $q_A$  i  $q_B$  w płaszczyznach pomiarowych, w sposób opisany w 7.2. Dopiero jeśli te wartości będą większe od dopuszczalnych (obliczonych wg 2.6), należy jakość przeprowadzonego wyważania uznać za niewystarczającą. Powyższa uwaga jest równoznaczna ze stwierdzeniem, że rzeczywiste niewyważenia  $q_1$  i  $q_2$  w płaszczyznach korekcyjnych mogą być większe od dopuszczalnych, jeżeli tylko nie zostaną przekroczone dopuszczalne wartości  $q_A$  i  $q_B$  w płaszczyznach pomiarowych.