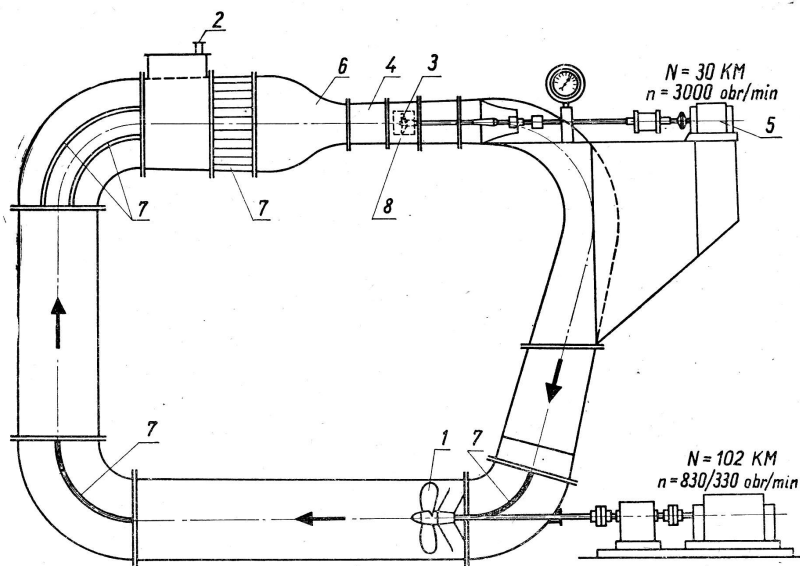


stwa Reynoldsa nie można przestrzegać ze względu na nieosiągalność koniecznych do jego spełnienia prędkości modelu. Przy badaniach modeli okrętów z napędem własnym prawo podobieństwa Froude'a jest przestrzegane ze względu na model kadłuba.

Przy zachowaniu podanych warunków bezwymiarowe współczynniki sił dla modelu i śruby rzeczywistej muszą być równe. Uzyskane z badań charakterystyki modelu przedstawiamy zwykle w postaci zależności współczynnika naporu  $K_T$  i współczynnika momentu  $K_Q$ , określonych wzorami (9.19) i (9.20), w funkcji współczynnika posuwu  $J$ , dzięki czemu charakterystyki modelu i śruby rzeczywistej są jednakowe.

Sposób przeprowadzania badań modelowych zależy od ich przeznaczenia. Dla uzyskania charakterystyk hydrodynamicznych śrub oraz danych do ich projektowania wykonuje się badania modeli śrub swobodnych w warunkach niezakłóconych obecnością kadłuba. Model śruby, umieszczony na końcu długiego wału z przodu smukłego pływaka, holowany jest z różnymi prędkościami w basenie modelowym. Silnik elektryczny napędzający model śrub i przyrządy mierzące napór, moment obrotowy i liczbę obrotów modelu umieszczane są wewnątrz pływaka.



Rys. 9.25

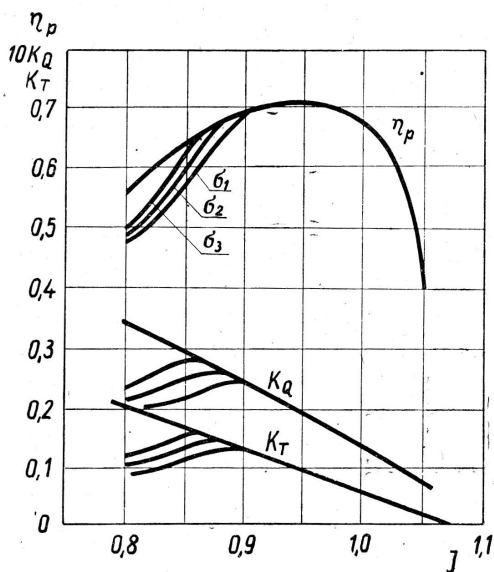
Badania charakterystyk pracy śrub w warunkach rzeczywistych wykonywane są również w basenach modelowych na modelach kadłubów z napędem własnym. Model kadłuba wyposażony jest w model śruby napędzany silnikiem, umieszczonym wewnątrz kadłuba, w którym znajduje się także aparatura do pomiaru naporu, momentu obrotowego i liczby obrotów śruby. Porównanie otrzymanych charakte-

rystek z charakterystykami śruby swobodnej umożliwia między innymi określenie sprawności napędowej oraz współczynników: ssania i strumienia nadążającego.

Trzeci rodzaj badań modelowych śrub stanowią badania kawitacji. Badania te przeprowadzane są w specjalnych urządzeniach, zwanych tunelami kawitacyjnymi. Tunele kawitacyjne wykonywane są w kształcie pionowo ustawionych kanałów (rys. 9.25) o zamkniętym obiegu wody, wprowadzonej w ruch pompą 1. W górnej części tunelu znajduje się podłączenie 2 do pompy próżniowej, umożliwiającej dowolne obniżanie ciśnienia w kanale, niezbędne dla osiągnięcia dostatecznie małych liczb kawitacyjnych, tej samej wartości, jak dla śrub rzeczywistych. Badany model śruby 3, umieszczony w przestrzeni pomiarowej 4, wprowadzony jest w ruch silnikiem 5. Na wale modelu zainstalowane są przyrządy pomiarowe, umożliwiające pomiar naporu, momentu obrotowego i liczby obrotów śruby modelowej. Dyfuzor 6 powoduje zwiększenie prędkości przepływu wody w przestrzeni pomiarowej, a kierownice 7 zmniejszają zaburzenia przepływu. Przestrzeń pomiarowa zaopatrzona jest z obu stron w okna 8, umożliwiające obserwację modelu i rozwijającej się na nim kawitacji; w tym celu oświetla się model lampą stroboskopową, w świetle której model widoczny jest jako pozornie nieruchomy.

W badaniach modelowych kawitacji muszą być zachowane warunki podobieństwa geometrycznego i kinematycznego (a więc równości współczynników posuwu), a prócz tego dodatkowo warunek równości liczb kawitacyjnych modelu i śruby rzeczywistej, co uzyskujemy przez odpowiednie obniżanie ciśnienia w tunelu.

Wyniki badań kawitacji podajemy przeważnie w taki sam sposób jak wyniki badań śrub swobodnych w postaci charakterystyk hydrodynamicznych w funkcji współczynnika posuwu. Jeden z takich wykresów dla trzech różnych liczb kawitacyjnych pokazany jest na rysunku 9.26.



Rys. 9.26

## 9.5. CHARAKTERYSTYKI EKSPLOATACYJNE ŚRUBY

### 9.5.1. Współdziałanie śruby, kadłuba i silnika napędowego

Warunki pracy śruby umieszczonej za kadłubem okrętu będą inne, niż śruby swobodnej, gdyż obecność kadłuba zmienia warunki dopływu wody do śruby, a praca śruby powoduje z kolei zmianę oporów okrętu (podrozdz. 7.10). Śruba okrę-

5. Odczytujemy z wykresu  $B_p - \delta$  dla danych  $B_p$  na krzywej  $(\eta_p)_{opt}$

6. Zmniejszamy  $\delta$  o 6%

7. i 8. Odczytujemy z wykresu  $B_p - \delta$  dla danych  $B_p$  i  $0,94 \delta$

9. 
$$D = \frac{0,94 \delta v_p}{n} \quad (v_p \text{ w węzłach})$$

11. Patrz 5

12. Patrz 6

13. i 14. Patrz 7 i 8

15. Patrz 9

17. 
$$\sigma_0 = \frac{p_0 - p_d}{\frac{1}{2} Q v_p^2} = \frac{p_b + \gamma h - p_d}{\frac{1}{2} Q v_p^2} = \frac{2(10\,330 + 1025 \cdot 5,7 - 238)}{104,5 \cdot v_p^2} = \frac{305}{v_p^2} \quad (v_p \text{ w m/s})$$

18. Odczytujemy z wykresu 9.50

19. 
$$T = \frac{75 N_d \eta_p \xi_r}{v_p} = \frac{75 \cdot 8730 \cdot 1,025 \cdot \eta_p}{v_p} = 671\,100 \frac{\eta_p}{v_p}$$

( $N_d$  w KM,  $v_p$  w m/s,  $\xi_r = 1,025$  — założone)

20. 
$$S_p = \frac{T}{\frac{(p_0 - p_d)}{p_0 - p_d} \frac{T}{S_p}} = \frac{T}{15\,935 \frac{T}{S_p} \frac{S_p}{p_0 - p_d}}$$

21. 
$$S'_p = 0,40 \frac{\pi D^2}{4} \left( 1,067 - 0,229 \frac{H}{D} \right) \quad (D \text{ w m})$$

22. Patrz 19

23. Patrz 20

24. 
$$S'_p = 0,55 \frac{\pi D^2}{4} \left( 1,067 - 0,229 \frac{H}{D} \right) \quad (D \text{ w m})$$

25, 26 i 27. Z interpolacji wartości rubryk 7, 8 i 10 oraz 13, 14 i 16 na rysunku 9.53.

28. 
$$N_d = \frac{N_0}{\xi_k \xi_r \eta_p} = \frac{1}{1,11 \cdot 1,025} \frac{N_0}{\eta_p} = \frac{1}{1,14} \frac{N_0}{\eta_p}$$

( $N_0$  z rysunku 9.50 dla założonego  $v$ )

Uzyskana zgodność mocy zapotrzebowanej ( $N_d = 8700$  KM) z mocą doprowadzoną ( $N_d = 8730$  KM) pozwala przyjąć wyniki drugiego przybliżenia jako zadowalające.

## 9.7. URZĄDZENIA ZWIĘKSZAJĄCE SPRAWNOŚĆ ŚRUBY. ŚRUBY SPECJALNE

### 9.7.1. Dysze Korta

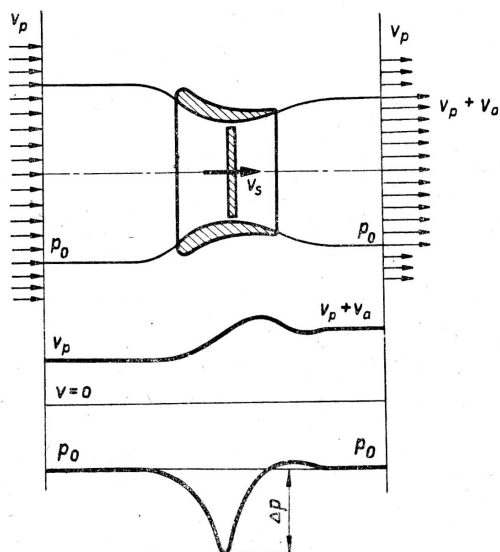
Jak podaliśmy w podrozdziale 9.3.1, sprawność pędnika idealnego  $\eta_i$  maleje ze wzrostem obciążenia pędnika  $\zeta_T$  (rys. 9.14), a więc ze wzrostem naporu  $T$  i zmniejszeniem się prędkości postępowej  $v_p$  (wzór 9.9). Ze wzrostem obciążenia musi zatem maleć także sprawność napędowa śruby, co szczególnie daje się odczuć na holownikach i statkach rybackich w czasie holowania lub trałowania. Na jednostkach

tych znaczne polepszenie sprawności napędowej można uzyskać przez umieszczenie śruby w pierścieniowej dyszy, zwanej dyszą Korta (rys. 9.54), zamocowanej na stałe do kadłuba. Przekroje promieniowe takiej dyszy mają kształt profilu lotniczego, skierowanego krawędzią natarcia w kierunku ruchu okrętu i stroną ssącą do wewnątrz dyszy.

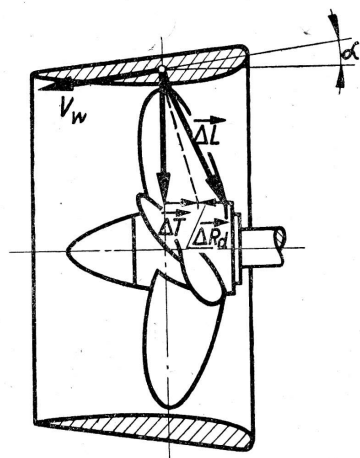
Działanie dyszy polega na zmianie warunków przepływu wody przez krąg śruby. Jak wynika z równania (9.13) przy danym obciążeniu pędnika  $\zeta_T$  sprawność pędnika idealnego  $\eta_t$  wzrasta ze wzrostem prędkości przepływu cieczy przez pędnik  $v_s$ . Przy pędnikach swobodnie pracujących (bez dyszy) prędkość  $v_s$  określona jest równaniem (9.4):

$$v_s = v_p + \frac{v_a}{2}$$

Z równania tego wynika, że połowa całkowitego przyrostu prędkości cieczy (zwanego prędkością indukowaną  $v_a$ ), spowodowanego pracą pędnika, ma miejsce przed pędnikiem, połowa zaś — za nim. Umieszczenie pędnika w dyszy powoduje wzrost prędkości  $v_s$ , gdyż całkowity przyrost prędkości cieczy może zachodzić przed płaszczyzną pędnika. Jest to wynikiem wytworzenia w płaszczyźnie pędnika skoku ciśnienia, koniecznego dla uzyskania naporu, wyłącznie na skutek obniżenia ciśnienia przed pędnikiem



Rys. 9.55



Rys. 9.54

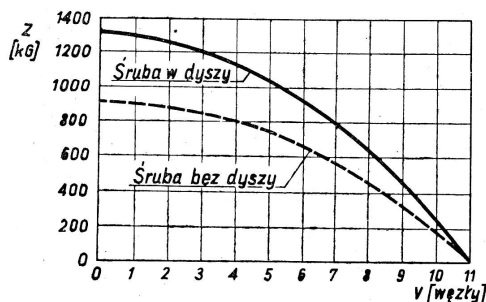
obniżenia ciśnienia przed pędnikiem (rys. 9.55); za pędnikiem ciśnienia są wówczas wyrównane. Obniżenie ciśnienia przed pędnikiem wywołane jest działaniem dyszy jako pierścieniowo zwiniętego płata nośnego, skierowanego do wewnątrz stroną ssącą. W czasie opływu płata największe podciśnienia powstają na jego stronie ssącej w pobliżu krawędzi natarcia, a więc w obszarze bezpośrednio przed pędnikiem.

Wytworzona na płacie siła hydrodynamiczna, wypadkowa siły nośnej i siły oporu, będzie w przybliżeniu prostopadła do kierunku prędkości dopływu wody. Rozkładając ją na dwie siły: prostopadłą i równoległą do osi dyszy otrzyma-



my składową, działającą w kierunku ruchu okrętu, określaną mianem *naporu dyszy*  $T_d$ . Powstanie dodatkowej siły naporu dyszy powoduje zmniejszenie obciążenia pędnika pracującego w dyszy, a tym samym dalszy wzrost jego sprawności.

W warunkach rzeczywistych pracy śruby w dyszy wzrost jej sprawności napędowej spowodowany jest nie tylko odciążeniem śruby i powiększeniem prę-



Rys. 9.56

naporu, jak to uwidacznia wykres 9.56, sporządzony dla śruby zaprojektowanej na warunki holowania z prędkością 5 węzłów dla holownika portowego o mocy 800 KM.

Oprócz powiększenia sprawności napędowej dysza Korta daje pewne dodatkowe korzyści, a mianowicie: osłania śrubę przed lodem i innymi przedmiotami pływającymi, poprawia stateczność kursową, zaś na fali zmniejsza kiwanie i zapewnia niezmienny kierunek dopływu wody do śruby. Równocześnie jednak pogarsza ona zwrotność, pogarsza warunki pracy śruby przy biegu wstecz, komplikuje konstrukcję rufowej części kadłuba i powoduje wzrost oporów, czyniący nieopłacalne stosowanie dyszy przy większych prędkościach. Pogorszenia zwrotności i zmiany warunków pracy przy biegu wstecz można uniknąć przez zastosowanie dysz obrotowych, omówionych w podrozdziale 8.2.3 (rys. 8.16).

Ze względu na swe właściwości dysze Korta znajdują zastosowanie na holownikach szlakowych, pchaczach śródlądowych i statkach rybackich.

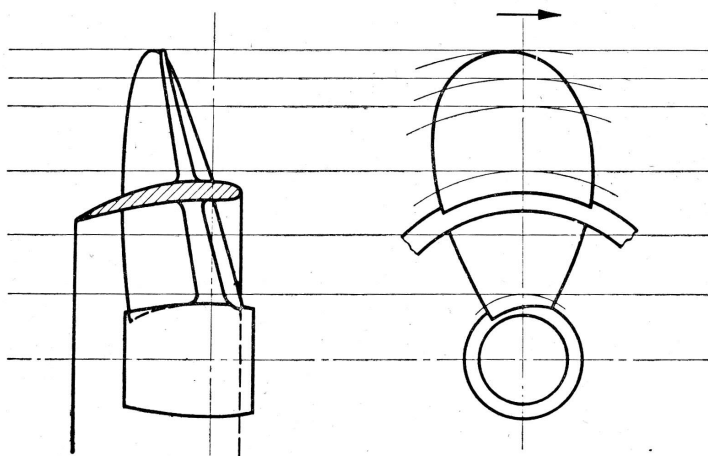
### 9.7.2. Śruby Schnittgera

Zbliżona w działaniu do dyszy Korta, znacznie jednak prostsza w wykonaniu jest tzw. *śruba Schnittgera*, z dyszą wbudowaną pomiędzy skrzydła śruby i stanowiącą jedną z nią całość (rys. 9.57). Śruba Schnittgera daje mniejsze korzyści niż dysza Korta, powoduje jednak, w stosunku do śrub normalnych, zmniejszenie zapotrzebowania mocy o 7,5÷12%, lub przy mocy tej samej wzrost prędkości okrętu o 2,5÷6% i uciągu przy próbie na uwięzi do 18%.

### 9.7.3. Śruby nastawne

Śruby nastawne, których skok można dowolnie zmieniać w czasie ruchu okrętu, znajdują zastosowanie na okrętach, na których śruby muszą pracować w silnie

zmiennych warunkach obciążeń, a więc na holownikach, statkach rybackich, małych łodołamaczach i pewnych typach okrętów wojennych (podrozdz. 9.5.2). Śruby



Rys. 9.57

nastawne wykonywane są obecnie dla mocy ponad 20 000 KM. Zastosowanie śrub tego rodzaju daje następujące korzyści:

- 1) w każdych warunkach pływania wykorzystana jest pełna moc silnika napędowego przy nominalnej liczbie jego obrotów;
- 2) zarówno zmiany prędkości, jak i bieg wsteczny okrętu uzyskuje się przez zmianę skoku śruby bez zmiany liczby i kierunku obrotów silnika, co umożliwia stosowanie nienawrotnych silników napędowych;
- 3) możliwe jest uzyskanie bardzo małych prędkości okrętu, co jest wykluczone przy silniku spalinowym i śrubie stałej ze względu na minimalne statyczne obroty silnika;
- 4) czas wykonania manewru z „cała naprzód” na „cała wstecz” jest znacznie krótszy niż przy śrubie stałej;
- 5) charakterystyki śruby przy biegu wstecz są identyczne jak przy biegu naprzód;
- 6) przejście na bieg wsteczny odbywa się bez zaburzeń i drgań rufowej części kadłuba, gdyż silnik i śruba nie zmieniają kierunku obrotów.

Do wad śrub nastawnych należy zaliczyć:

- 1) kilkakrotnie wyższy koszt śruby nastawnej w stosunku do śruby stałej;
- 2) skomplikowaną konstrukcję mechanizmu nastawczego śruby, wymagającą umiejętnej obsługi i stwarzającą możliwość awarii;
- 3) zmniejszoną sprawność śruby (do 3% i więcej) w stosunku do śruby stałej ze względu na zwiększoną średnicę piasty i nieoptymalny (dla różnych ustawień skrzydeł) rozkład zmiennego skoku śruby na długości skrzydła.

#### 9.7.4. Śruby przeciwbieżne

Układ śrub, w którym dwie śruby o przeciwnych kierunkach obrotów umieszczone są na jednym wale, napędzanym przez jeden silnik, nazywamy układem przeciwbieżnym. Ze względu na trudności konstrukcyjne w napędzie takiego układu był on dotychczas stosowany tylko w wypadkach specjalnych (np. do napędu torped). W związku jednak ze znacznym wzrostem mocy potrzebnej do napędu dużych statków (zbiornikowców i masowców o nośności powyżej  $200\,000 \cdot 10^3$  kG) należy się liczyć z wprowadzeniem układu przeciwbieżnego na te okręty. Zalety układu przeciwbieżnego są następujące:

- 1) moc doprowadzona przez jeden wał rozkłada się na dwie śruby, dzięki czemu optymalne średnice śrub wypadają mniejsze przy tej samej liczbie obrotów;
- 2) przy zachowaniu średnicy liczba obrotów śrub może być zmniejszona;
- 3) napór całkowity rozkłada się na dwie śruby, co powoduje zmniejszenie ich obciążenia i wzrost sprawności.

Przewidywany wzrost sprawności napędowej w stosunku do napędu jedną śrubą, przy zmniejszeniu średnicy a niezmienionej liczbie obrotów wynosi  $3 \div 6\%$  dla dużych okrętów o małych prędkościach i  $3 \div 12\%$  dla dużych szybkich okrętów. Przy zachowaniu średnicy a obniżeniu liczby obrotów śrub wzrost sprawności wynosi  $2,6 \div 3,7\%$  na każde 10 obrotów dla dużych, wolnych okrętów i  $1,3 \div 1,8\%$  na 10 obrotów dla okrętów szybkich. Straty mechaniczne, związane z przekazaniem mocy na dwie śruby wynoszą około  $1\%$ .

waniu bocznym) odbywa się bez możliwości interwencji w wypadku jego zakłóceń. Z tego też powodu każde wodowanie musi być poprzedzone możliwie dokładnymi obliczeniami oraz bardzo starannymi przygotowaniem, by uniknąć przykrych niespodzianek, jak zatrzymanie się okrętu na pochylni, uszkodzenia kadłuba, a nawet przewrócenie się okrętu. Wypadki takie mogą być wywołane bądź to niedbałym przygotowaniem urządzeń, bądź też czynnikami trudnymi do przewidzenia i ujęcia rachunkiem (jak: obniżenie temperatury powietrza w czasie wodowania, wzrost siły i zmiana kierunku wiatru, obniżenie poziomu wody itp.).

Uniknięcie trudności i pewnego elementu ryzyka przy wodowaniu okrętu możliwe jest tylko przez budowę okrętu w suchym lub pływającym doku; spuszczenie okrętu na wodę odbywa się wówczas przez napełnianie wodą lub zatapianie doku. Ze względu na wysoki koszt budowy i eksploatacji niezbędnych do tego celu urządzeń taki sposób budowy i wodowania okrętów stosowany jest w nielicznych tylko stoczniach.

## 10.2. WODOWANIE WZDŁUŻNE

### 10.2.1. Przygotowanie wodowania

Podczas budowy okręt spoczywa na szeregu poprzecznych bloków drewnianych, rozstawianych w pewnych odstępach wzdłuż stępki i z boków dna. Okręt budowany jest na pochylni rufą ku wodzie z pochyleniem stępki w kierunku wody.

Dla wodowania okrętu ustawiamy pod jego kadłubem tory ślizgowe, ułożone równolegle do płaszczyzny symetrii okrętu i odpowiednio zabezpieczone przed przesunięciami bocznymi i wzdłużnymi. Tory tworzą zwykle linię prostą ze spadkiem w kierunku wody wynoszącym od 1 : 12 do 1 : 24. Czasami stosuje się tory o spadku wzrastającym w miarę zbliżania się do wody; krzywizna toru wyznaczona jest wówczas łukiem okręgu o promieniu  $5000 \div 15\,000$  m. Wodowanie wzdłużne odbywa się zwykle po dwóch torach, umieszczonych symetrycznie względem płaszczyzny symetrii okrętu.

Kadłub okrętu spoczywa w czasie wodowania na tzw. saniach, których dolną część tworzą płózy zsuwające się do wody po torach ślizgowych. Pomiedzy saniami a kadłubem umieszczamy podpakowanie, dopasowane do kształtu kadłuba. Dziób okrętu, który ze względu na podcięcie kadłuba oddalony jest znacznie od płóz, opieramy na koźle dziobowym, silnie związanym z płozami, rufę z tych samych względów podpieramy koźłem rufowym. Przeniesienie ciężaru okrętu z bloków montażowych na sanie odbywa się na kilka lub kilkanaście godzin przed wodowaniem. Dokonujemy tego za pomocą dobicia klinów umieszczonych między płozami a podpakowaniem; uzyskane w taki sposób odciążenie bloków umożliwia ich usunięcie.

Powierzchnie ślizgowe torów pokrywane są na gorąco warstwą smaru zmniejszającego tarcie płóz o tory i umożliwiającego ześlizg okrętu do wody. W skład smaru wchodzi zwykle szare mydło, olej maszynowy lub tran i parafina, lub stea-

ryna oraz łój zwierzęcy w ilościach do 50%. Stosowane są także smary mineralne bez dodatku tłuszczów zwierzęcych czy roślinnych.

W ostatnich latach zaczęto stosować wodowanie okrętu po torach nie pokrytych smarem, których powierzchnię ślizgową stanowią kule stalowe; oszczędności na smarach czynią opłacalną instalację tego rodzaju, pomimo znacznie wyższego kosztu inwestycji.

Po osadzeniu okrętu na saniach utrzymujemy go na pochylni do momentu wodowania za pomocą tzw. zwalniaczy (stoperów); każda z płóz zaopatrzona jest w osobny zwalniacz mechaniczny i jeden lub kilka zwalniaczy pomocniczych. Przed wodowaniem zwalniamy najpierw zwalniacze pomocnicze, a następnie w odpowiedniej chwili równocześnie zwalniacze mechaniczne; swobodnie stojący okręt ześlizguje się wówczas do wody pod wpływem składowej siły ciężaru, równoległej do toru ślizgowego. W wypadku gdy po zwolnieniu stoperów okręt nie rusza z miejsca ze względu na zbyt dużą siłę tarcia statycznego, wprawiamy go w ruch przez popchnięcie płóz za pomocą przewidzianych do tego celu pras hydraulicznych.

### 10.2.2. Przebieg wodowania

Przebieg wodowania wzdłużnego dzielimy na następujące okresy:

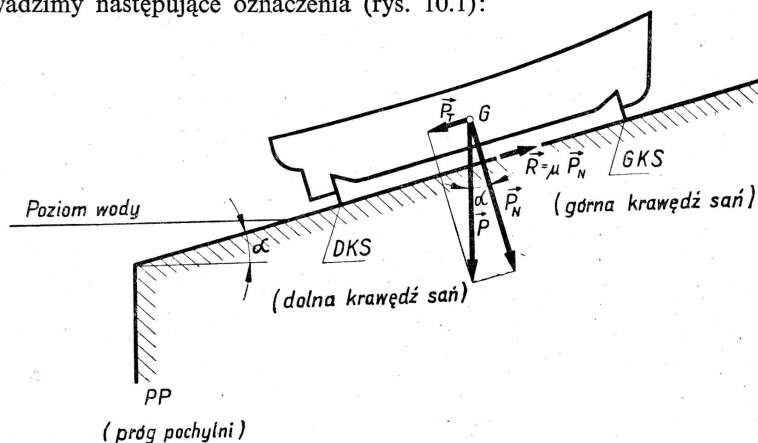
Okres pierwszy — trwający od chwili ruszenia z miejsca do chwili zetknięcia się kadłuba okrętu z wodą.

Okres drugi — od zakończenia okresu pierwszego do chwili uniesienia się rufy okrętu na wodzie.

Okres trzeci — od chwili uniesienia się rufy okrętu do chwili uzyskania swobodnego pływania.

Okres czwarty — swobodnego pływania okrętu do chwili zatrzymania się na wodzie.

Dla ułatwienia omówienia cech charakterystycznych wymienionych okresów wprowadzimy następujące oznaczenia (rys. 10.1):



Rys. 10.1

również od innych czynników (np. od temperatury otoczenia), na które nie mamy bezpośredniego wpływu. Zakres wartości współczynnika  $\mu$  dla torów z drewna twardego i płóz z drewna miękkiego oraz smarów o normalnie stosowanym składzie podany jest w tablicy 10.1, przy czym mniejsze wartości  $\mu$  występują przy wyższych temperaturach otoczenia.

Przy obliczaniu średniego ciśnienia płóz na smary  $p$  [ $\text{kg/m}^2$ ] zakładamy, że ciężar okrętu rozłożony jest równomiernie na całą powierzchnię płóz:

$$p = \frac{P}{F}$$

gdzie:

$P$  — ciężar okrętu wraz z saniami [ $\text{kg}$ ];

$F$  — pole powierzchni ślizgowej płóz [ $\text{m}^2$ ].

Wymiary płóz dobieramy tak, by średnie ciśnienie płóz na smary znajdowało się w granicach  $p = 10 \div 30 \cdot 10^3$  [ $\text{kg/m}^2$ ]; wyższe ciśnienie może powodować wy-ciskanie smaru spod płóz i w konsekwencji zatrzymanie się okrętu na pochylni.

Wypadkową sił działających w czasie pierwszego okresu wodowania będzie siła  $\bar{K}$  o wielkości:

$$K = P \sin \alpha - \mu P \cos \alpha = P \cos \alpha (\operatorname{tg} \alpha - \mu)$$

Ponieważ wartości kąta  $\alpha$  są niewielkie, możemy z dostateczną dokładnością przyjąć, iż  $\cos \alpha \approx 1$ , skąd

$$K = P (\operatorname{tg} \alpha - \mu) \quad (10.1)$$

Podstawiając we wzorze (10.1) w miejsce nieznanego bliżej współczynnika tarcia  $\mu$  górną jego wartość dla stanu spoczynku (z tablicy 10.1), otrzymamy wartość siły  $\bar{K}$  w chwili zwolnienia stoperów; gdy wartość  $\bar{K}$  będzie ujemna okręt nie ruszy sam z miejsca, a otrzymana wartość przedstawiać będzie siłę, jaką muszą pokonać prasy hydrauliczne dla wprowadzenia okrętu w ruch.

Podstawiając z kolei we wzorze (10.1) dolną wartość współczynnika  $\mu$  dla stanu ruchu przy danym średnim ciśnieniu płóz na smar otrzymamy największą siłę  $\bar{K}$ , powodującą przyspieszenie okrętu w czasie pierwszego okresu wodowania. Na przeciwstawienie się sile o tej wielkości muszą być obliczone zwalniacze główne, gdyż mogą one być poddane jej działaniu w wypadku, gdy po zwolnieniu zwalniaczy pomocniczych okręt ruszy nieco z miejsca.

Okres drugi wodowania wzdłużnego rozpoczyna się z chwilą dotknięcia przez kadłub powierzchni wody. W okresie tym, oprócz sił działających na okręt w okresie pierwszym występują siły dodatkowe: opór wody i wypór okrętu.

Oporu wody możemy nie uwzględniać, gdyż wobec małej powierzchni zanurzonej i niewielkich prędkości okrętu wielkość jego jest bardzo mała w porównaniu z siłami pozostałymi. Wypór okrętu natomiast wzrasta w sposób ciągły przy zanurzaniu okrętu, przy czym pochylenie okrętu w stosunku do powierzchni wody pozostaje nie zmienione.

*GKS* — górna (dziobowa) krawędź sań,

*DKS* — dolna (rufowa) krawędź sań,

*PP* — próg pochylni.

Okres pierwszy wodowania wzdłużnego rozpoczyna się z chwilą zwolnienia stoperów i ruszenia okrętu z miejsca. Jeśli pochylnia przed wodowaniem była częściowo zalana wodą, tak iż rufa okrętu była zanurzona, okres pierwszy łączy się w jedno z okresem drugim wodowania.

W okresie pierwszym działają na okręt następujące siły (rys. 10.1):

- 1) składowa  $\vec{P}_T$  siły ciężaru okrętu wraz z saniami  $\vec{P}$ , równoległa do powierzchni torów

$$P_T = P \sin \alpha$$

gdzie  $\alpha$  — kąt nachylenia torów w stosunku do poziomu wody

- 2) siła tarcia  $\vec{R}$  płóz o nasmarowane tory

$$R = \mu P_N = \mu P \cos \alpha$$

gdzie:

$\mu$  — współczynnik tarcia płóz o tory;

$P_N$  — składowa normalna do torów siły ciężaru  $\vec{P}$ .

Siła  $\vec{P}_T$  powoduje zsuwanie się okrętu z pochylni, siła tarcia  $\vec{R}$  przeciwstawia się temu ruchowi. Okręt może więc zsunąć się do wody wówczas, gdy:

$$P_T > R$$

$$\text{lub } P \sin \alpha > \mu P \cos \alpha$$

$$\text{czyli } \operatorname{tg} \alpha > \mu$$

Wartość współczynnika tarcia płóz o tory  $\mu$  nie może być z góry dokładnie określona, zależy bowiem nie tylko od składu smaru i ciśnienia płóz na smar, lecz

Tablica 10.1

Wartości współczynnika tarcia płóz o tory

Stan okrętu	Średnie ciśnienie płóz na smary $P$ [kG/m <sup>2</sup> ]	Współczynnik tarcia $\mu$
Spoczynek	—	0,04 ÷ 0,08
Ruch	10 · 10 <sup>3</sup>	0,033 ÷ 0,046
	20 · 10 <sup>3</sup>	0,025 ÷ 0,038
	30 · 10 <sup>3</sup>	0,018 ÷ 0,030

W miarę wzrostu wyporu  $\vec{D}$  maleje nacisk płóz okrętu na tory ślizgowe, a tym samym maleje wypadkowa reakcji tych torów  $\vec{N}$ .

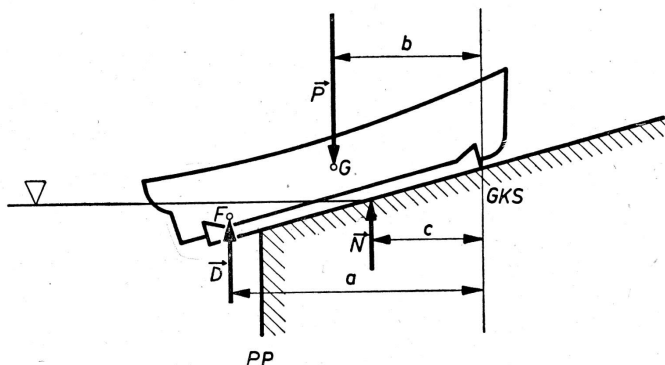
Pomijając siły dynamiczne działające na okręt możemy ustalić następujące równania równowagi chwilowej dla każdego momentu drugiego okresu (rys. 10.2):  
równanie sił

$$P = D + N \quad (10.2)$$

równanie momentów względem GKS

$$Pb = Da + Nc \quad (10.3)$$

Moment siły  $\vec{P}$  względem GKS pozostaje stały przez cały okres drugi. Zmianie ulega natomiast wielkość momentu wyporu  $\vec{D}a$ , w związku z czym zmienia się również moment  $\vec{N}c$ . W miarę zanurzania się okrętu wzrasta wypór  $\vec{D}$ , maleje zaś



Rys. 10.2

jego ramie  $a$ , gdyż środek wyporu zanurzającej się części kadłuba przesuwają się stopniowo ku dziobowi. Wpływ wzrostu wyporu  $\vec{D}$  jest zawsze większy od wpływu zmniejszenia się jego ramienia  $a$ , w wyniku czego moment  $\vec{D}a$  wzrasta aż do chwili uzyskania przez niego wartości równej momentowi  $\vec{P}b$ . Z tą chwilą wartość momentu  $\vec{N}c$  staje się równa zero, ponieważ zaś  $N > 0$ , zatem dla spełnienia tego warunku konieczne jest by  $c = 0$ . Reakcja  $\vec{N}$  sprowadza się więc wówczas do siły skupionej, działającej na GKS. W tej też chwili rozpoczyna się obrót kadłuba dookoła GKS, co jest początkiem trzeciego okresu.

Wypór okrętu  $\vec{D}$  i położenie środka wyporu  $F$ , decydujące o wielkości ramienia  $a$  możemy wyznaczyć dla poszczególnych faz zanurzania się okrętu za pomocą skali Bonjeana (podrozdz. 10.2.4), zaś wypadkową reakcji torów na nacisk płóz  $\vec{N}$  i jej ramie  $c$  możemy wyznaczyć z równań (10.2) i (10.3).

Okres trzeci wodowania trwa od momentu rozpoczęcia się obrotu okrętu dookoła GKS do chwili oderwania się płóz od torów.

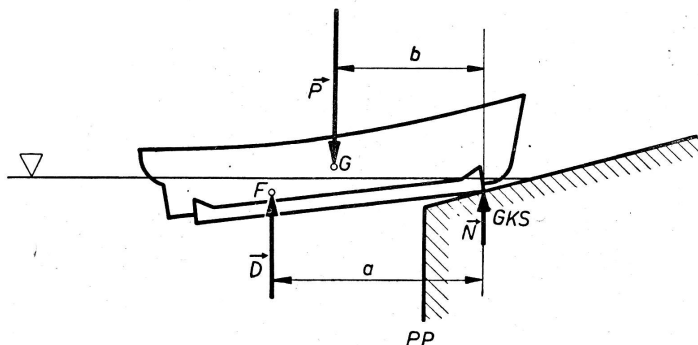
W czasie całego trzeciego okresu obowiązuje nadal równanie (10.2), natomiast równanie (10.3) przybierze postać

$$Pb = Da \quad (10.4)$$



Ponieważ moment  $\vec{P}b$  pozostaje nadal stały, musi pozostać stałym również moment wyporu  $\vec{D}a$ . Ze względu jednak na coraz silniejszy wzrost wyporu  $\vec{D}$  następuje oderwanie się płóz od torów i unoszenie rufy, co powoduje obrót okrętu dookoła GKS. Równocześnie płozy ześlizgują się nadal po torach swą górną krawędzią (GKS), na którą działa malejąca stopniowo siła  $\vec{N}$  (rys. 10.3). Wartość wyporu  $\vec{D}$  i jego ramienia  $a$  możemy wyznaczyć dla kolejnych położań GKS za pomocą skali Bonjeana (podrozdz. 10.2.4).

Nacisk płóz na tory i równa mu reakcja  $\vec{N}$  osiągają na początku trzeciego okresu wartości w granicach  $\frac{1}{5} \div \frac{1}{4} \vec{P}$ , czasem nawet do  $\frac{1}{3} \vec{P}$ . Przy okrętach mniejszych oznacza to nacisk na tory i pochylnię rzędu kilkuset, przy okrętach większych — paru tysięcy ton (np. przy wodowaniu transatlantyka „Queen Mary” ok.  $8500 \cdot 10^3$  kG).



Rys. 10.3

Ponieważ nacisk ten występuje w postaci siły skupionej, działającej na GKS, zatem w momencie początku obrotu ciśnienia płóz na smary osiągają największe wartości w czasie całego wodowania. Ciśnienia te dochodzą do  $100 \div 110 \cdot 10^3$  kG/m<sup>2</sup>, co może doprowadzić do wyciskania smarów, zatarcia się płóz na torach i zatrzymania się okrętu na pochylni (podrozdz. 10.2.3); wymaga to również zwiększenia wytrzymałości torów i pochylni przez odpowiednio gęstsze jej podpalowanie na końcowym odcinku o długości  $15 \div 20\%$  długości całkowitej. Duże siły nacisku wymagają także odpowiednio mocnej konstrukcji kozła dziobowego i ewentualnie lokalnych wzmocnień konstrukcji okrętu w części dziobowej.

W okresie trzecim pogarszają się także znacznie warunki statecznościowe, gdyż płozy opierają się o tory tylko swą górną krawędzią i nie mogą skutecznie przeciwstawić się ewentualnym przechyłom bocznym okrętu (np. przy nieoczekiwanym uderzeniu szkwału). Warunki statecznościowe są więc identyczne jak dla okrętu osadzonego na skale, które omówiliśmy szczegółowiej w podrozdziale 4.7.2.

Obrót okrętu dookoła GKS trwa do chwili, gdy wypór  $\vec{D}$  stanie się równy ciężarowi  $\vec{P}$ . W tym momencie zanika reakcja  $\vec{N}$  i następuje zrównanie wielkości ramion  $a$  i  $b$ . Środek wyporu  $F$  musi zatem znaleźć się pionowo pod środkiem ciężkości  $G$  i okręt odrywa się od toru, uzyskując swobodną pływalność.

moment ciężaru okrętu względem  $PP$  będzie większy od momentu wyporu względem  $PP$ :  $P b_1 > D a_1$ .

Spowoduje to obrót okrętu dokoła  $PP$  aż do osiągnięcia przez zanurzoną część okrętu takiego wyporu  $\vec{D}$ , przy którym nastąpi zrównanie obu momentów. Na skutek obrotu nastąpi oderwanie się płóz od torów, co uniemożliwi dalszy normalny przebieg wodowania po podniesieniu się rufy przy wzroście wyporu i opadnięciu płóz. Nacisk płóz, który wystąpi w postaci siły skupionej, działającej na  $PP$ , może wywołać zniszczenie płóz i progu pochylni oraz poważne uszkodzenia a nawet przełamanie kadłuba okrętu. Ześrodkowany nacisk może przy tym spowodować tak duży wzrost tarcia, że okręt zatrzyma się na progu. Zbadania, czy okrętowi nie grozi obrót dokoła  $PP$ , dokonujemy w trakcie obliczeń wodowania (podrozdz. 10.2.4).

Podobne niebezpieczeństwa mogą wystąpić również w wypadku zbyt małej głębokości wody na progu, wywołanej zbyt krótką podwodną częścią pochylni lub zbyt niskim stanem wody. Z tego też powodu należy zawsze określić najniższy stan wody, przy którym wodowanie może się jeszcze odbyć bezpiecznie; zwykle też na wodowanie wybieramy okres wysokiego stanu wody.

Niebezpieczeństwo utraty stateczności w momencie obrotu okrętu dokoła  $GKS$  i sposób znalezienia wysokości metacentrycznej w tym okresie omówiliśmy w podrozdziale 4.7.2.

Największe możliwości zatrzymania się okrętu na pochylni występują w okresie trzecim w czasie obrotu ze względu na duże skupione naciski  $GKS$  na tory. Zmniejszenie nacisków w tym okresie możemy uzyskać przez zwiększenie przegłębienia rufowego okrętu.

Niebezpieczne jest także wystąpienie w drugim okresie wodowania dużych nacisków na próg pochylni, gdy zanurzająca się rufa okrętu, nie podparta jeszcze dostatecznie wyporem okrętu, zwisa ku dołowi. Dla niedopuszczenia do uszkodzenia dna należy wówczas zwiększyć spadek torów, co spowoduje szybszy wzrost wyporu przy wchodzeniu okrętu do wody, lub wbudować w kadłub na okres wodowania dodatkowe wzmocnienia, przede wszystkim w dnie okrętu.

#### 10.2.4. Obliczenia statyczne wodowania

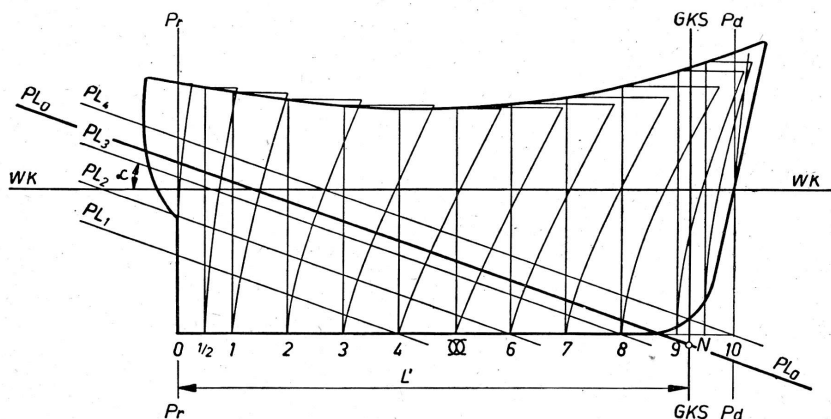
Dla uniknięcia niebezpieczeństw grożących okrętowi w czasie wodowania przeprowadzamy każdorazowo przed wodowaniem obliczenia statycznych położeń okrętu w poszczególnych okresach wodowania oraz prędkości okrętu w zależności od przebytej drogi. Oprócz tego obliczane są obciążenia pochylni i sań w czasie wodowania; skomplikowany charakter tych obliczeń uniemożliwia jednak ich omówienie w niniejszej pracy.

Obliczenia statyczne rozpoczynamy od ustalenia pozycji okrętu na pochylni w momencie, gdy kadłub dotknie wody i rozpocznie się drugi okres wodowania.

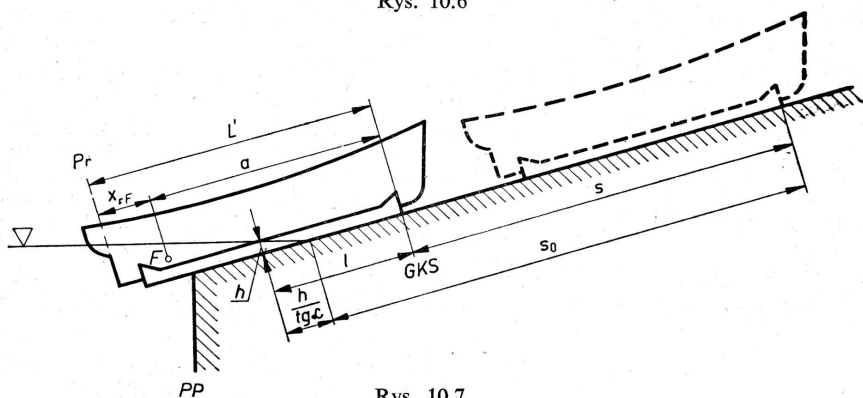
Obliczenia dla okresu drugiego dokonujemy za pomocą skali Bonjeana danego okrętu, na której wykreślamy 4÷5 śladów przekrojów pływnicowych  $PL_1, PL_2...$  pochylnych do płaszczyzny podstawowej pod kątem  $\alpha$ , równym kątowi nachyle-

nia torów. Przekroje te odpowiadają kolejnym zanurzeniom okrętu w okresie drgim (10.6).

Dla każdego z wykreślonych przekrojów pływnicowych obliczamy za pomocą jednej z metod numerycznych objętość podwodzia  $V$  i odpowiadającą jej odległość środka wyporu  $F$  od płaszczyzny pionu rufowego. Dla ułatwienia wykonania obli-



Rys. 10.6



Rys. 10.7

czeń zaleca się prowadzenie śladów  $PL_1, PL_2 \dots$  przez przecięcia śladów wręcznic z linią podstawową (rys. 10.6). Odległość  $a$  środka wyporu od górnej krawędzi sań  $GKS$  znajdziemy z równania (rys. 10.7).

$$a = L' - x_{rF} \quad (10.8)$$

Przy obliczeniach dokładniejszych uwzględniamy również objętość i położenie środka ciężkości zanurzonej części sań.

Długość drogi przebytej przez okręt  $s$ , odpowiadającą wykreślonym przekrojom pływnicowym, znajdujemy z równania

$$s = s_0 + \frac{h}{\tan \alpha} - l \quad (10.9)$$

gdzie:

- $s_o$  — długość drogi GKS po torze suchym [m];
- $h$  — wysokość sań [m];
- $l$  — odległość GKS od punktu przecięcia sań pływnicą [m];
- $\alpha$  — kąt nachylenia torów [°].

Na podstawie dokonanych obliczeń sporządzamy dla okresu drugiego następujące wykresy w funkcji drogi  $s$  przebytej przez GKS (rys. 10.11):

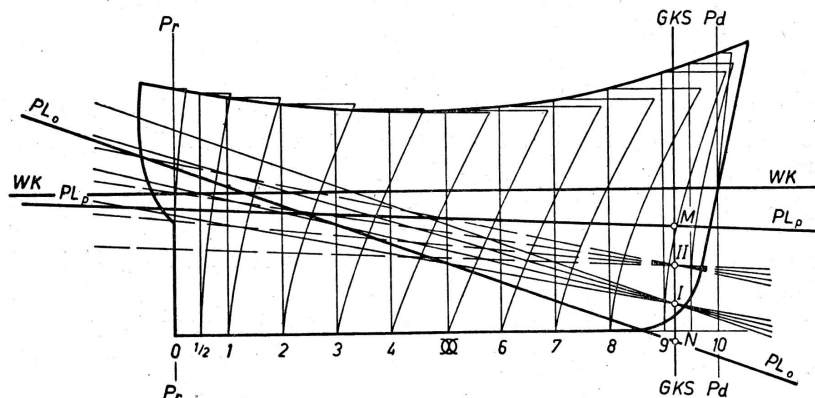
- 1) wyporu okrętu  $\bar{D} = \gamma V$ ;
- 2) momentu wyporu  $\bar{D}a$  względem GKS;
- 3) momentu ciężaru  $\bar{P}b = \text{const}$  względem GKS (linia prosta, równoległa do osi odciętych).

Punkt przecięcia krzywych momentów  $\bar{D}a$  i  $\bar{P}b$  wyznaczy początek obrotu okrętu dookoła GKS, a więc koniec okresu drugiego.

Obliczenia dla okresu trzeciego wykonujemy również za pomocą skali Bonjeana. W tym celu nanosimy na nią ślad przekroju pływnicowego  $PL_o$ , odpowiadający początkowi obrotu (położenie początkowe okrętu w okresie trzecim) oraz ślad przekroju pływnicowego  $PL_p$ , odpowiadający swobodnemu pływowi okrętu (rys. 10.8). Położenie przekroju  $PL_p$  znajdujemy po uprzednim określeniu ciężaru i położenia środka ciężkości okrętu w czasie wodowania; odpowiednie obliczenia wykonujemy zgodnie z rozważaniami podanymi w podrozdziale 4.4.2 (przykład 4.4).

Dla wyznaczenia kolejnych położań okrętu w czasie obrotu dookoła GKS zauważmy, iż odpowiadające im przegłębienia zawierać się będą w granicach określonych śladami przekrojów  $PL_o$  i  $PL_p$ .

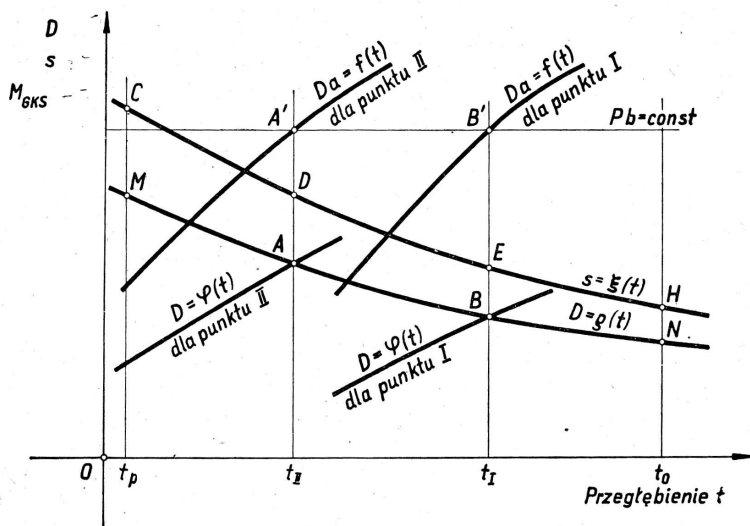
Przecięcia wykreślonych śladów z pionem, poprowadzonym przez GKS wyznaczają odcinek  $\overline{NM}$ . Odcinek ten dzielimy na trzy części i przez punkty podziału I i II prowadzimy pęk (zwykle cztery) śladów pływnicowych tak, aby kąty pochylenia śladów skrajnych nie przekraczały kątów pochylenia śladów  $PL_o$  i  $PL_p$  (rys. 10.8). Następnie stosując jedną z metod numerycznych obliczamy dla każdego ze śladów obu pęków objętość podwodzia  $V$  i odpowiadający jej moment  $Va$  względem GKS.



Rys. 10.8

Mnożąc otrzymane wartości przez ciężar właściwy wody  $\gamma$  otrzymamy odpowiednie wartości wyporu  $\bar{D}$  i jego momentu  $\bar{D}a$  względem GKS. Dla uzyskania dokładniejszych wyników końcowych możemy obrać na odcinku  $\overline{NM}$  trzy punkty zamiast dwóch; w takim wypadku wystarczy poprowadzić odpowiednio przez każdy z nich po 3 ślady płynnicowe.

Dla wyznaczenia kolejnych położenia okrętu zsuwającego się z pochylni musimy sporządzić wykres pomocniczy, pokazany na rysunku 10.9. W prostokątnym ukła-



Rys. 10.9

dzie współrzędnych nanosimy dla każdego z pęków przekrojów płynnicowych wyniki obliczeń wyporności  $\bar{D}$  i ich momentów  $\bar{D}a$  względem GKS w funkcji przegłębienia i wykreślamy odpowiednie krzywe dla punktu I i II.

Ponieważ w czasie okresu trzeciego musi być spełnione równanie (10.4), zatem punkty przecięcia  $A'$  i  $B'$  krzywych momentów wyporu  $\bar{D}a = f(t)$  z prostą  $\overline{Pb} = \text{const}$  dadzą szukane położenia równowagi okrętu. Odcięte punktów  $A'$  i  $B'$  określą przegłębienia okrętu w położeniach równowagi, co pozwoli na wykreślenie na rysunku 10.8 śladów szukanych przekrojów płynnicowych, przechodzących przez punkty I i II. Prostopadłe do osi odciętych, poprowadzone przez punkty  $A'$  i  $B'$  przetną krzywe wyporu  $\bar{D} = \varphi(t)$  w punktach  $A$  i  $B$ ; rzędne tych punktów określą wartość wyporu okrętu przy danych przegłębieniach. Nanosząc na rysunku 10.9 dla przegłębienia  $t_0$  wartość wyporu w chwili rozpoczęcia obrotu (punkt  $N$ ), a dla  $t_p$  w chwili uzyskania swobodnego pływania (punkt  $M$ ) i łącząc krzywą ciągłą punkty  $M$ ,  $A$ ,  $B$  i  $N$  otrzymamy przebieg zmian wyporu w funkcji przegłębienia  $\bar{D} = \varphi(t)$ .

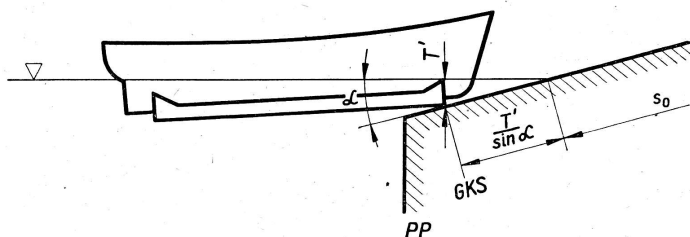
Dla naniesienia zmian wyporu na ogólnym wykresie (rys. 10.11) musimy wyznaczyć drogi przebyte przez okręt dla uzyskania przez niego odpowiednich warto-

ści wyporu. Jak wynika z rysunku 10.10 drogę  $s$  przebytą w trzecim okresie możemy wyznaczyć z wzoru

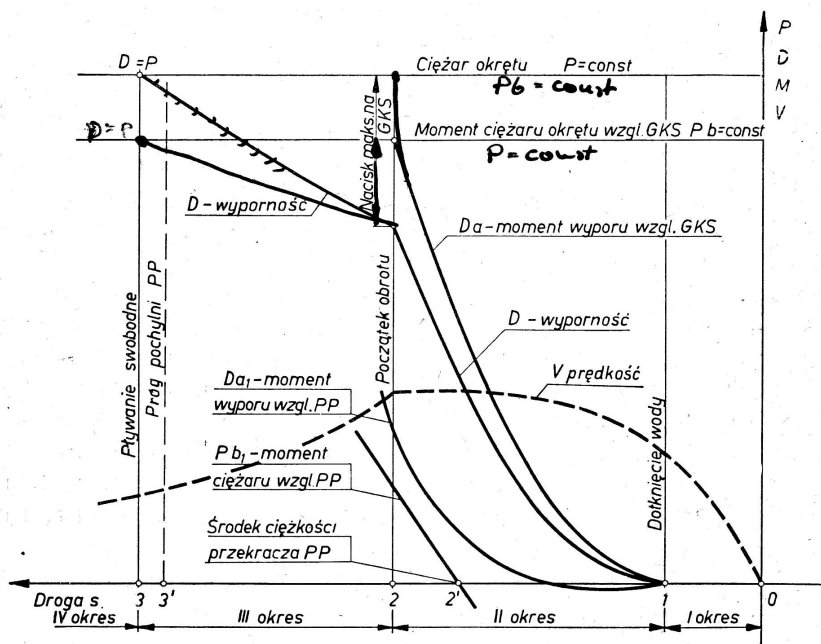
$$s = s_0 + \frac{T'}{\sin \alpha} \quad (10.10)$$

gdzie  $T'$  — odległość dolnego brzegu płóz od powierzchni wody, mierzona na GKS [m].

Przez punkty I i II na rysunku 10.8 prowadzimy ślady przekrojów pływnicowych o przegłębieniach odpowiadających punktom A i B na rysunku 10.9. Dla śladów tych, jak też dla śladów  $PL_0$  i  $PL_p$  znajdujemy z rysunku wielkości  $T'$  i korzystając z wzoru (10.10) obliczamy odpowiadające im wartości dróg  $s$ , które nanosimy odpowiednio na rysunku 10.9. Łącząc wyznaczone punkty krzywą ciągłą



Rys. 10.10



Rys. 10.11

otrzymujemy krzywą przebytej drogi w funkcji przegłębienia okrętu  $s = \xi(t)$ . Przenosząc na wykres wodowania (rys. 10.11) pary wartości: wyporu  $\bar{D}$  i drogi  $s$ , odpowiadające tym samym przegłębieniom  $t$ , otrzymamy przebieg zmiany wyporu w zależności od drogi przebytej przez *GKS* w trzecim okresie.

Jak widać z wykresu wodowania (rys. 10.11), krzywa wyporu okrętu wzrasta od zera od chwili dotknięcia przez okręt powierzchni wody aż do uzyskania wartości  $D = P$ . Różnica rzędnych prostej  $P = \text{const}$  i krzywej wyporu daje każdorazowo wielkość nacisku płóz na tory. W okresie drugim nacisk ten rozkłada się na całą powierzchnię styku płóz z torami, w okresie trzecim zaś sprowadza się do siły skupionej, działającej na *GKS* i przyjmującej największą wartość w chwili rozpoczęcia obrotu dokoła *GKS*.

Jeżeli w chwili gdy *GKS* mija próg pochylni *PP* wyporność okrętu jest mniejsza od jego ciężaru (jak to pokazano na rysunku 10.11 — punkt 3'), wówczas okręt jak gdyby „spada” z progu pochylni przed uzyskaniem swobodnego pływania. Mówimy wówczas, że okręt wykonuje „ukłon”, w czasie którego dziób może uderzyć o pochylnię. Ze względu na możliwość poważnych uszkodzeń kadłuba przy „ukłonie” musimy w każdym wypadku sprawdzić, czy może on mieć miejsce i zastosować wszelkie środki, by go uniknąć (podrozdz. 10.2.3).

Dla zbadania, czy w okresie drugim wodowania nie grozi okrętowi obrót dokoła *PP* (podrozdz. 10.2.3), obliczamy dla kolejnych położeń w tym okresie momenty: ciężaru  $\overrightarrow{Pb}_1$  i wyporu  $\overrightarrow{Da}_1$  względem *PP* i nanosimy je w funkcji drogi przebytej przez *GKS* na wykresie wodowania (rys. 10.11). Wykres momentu ciężaru  $\overrightarrow{Pb}_1$  będzie prostą, przecinającą oś w chwili przekraczania progu pochylni przez środek ciężkości okrętu (punkt 2'). Obrót okrętu dokoła *PP* nie nastąpi, jeśli krzywa momentu wyporu  $\overrightarrow{Da}_1$  nie przecina prostej  $\overrightarrow{Pb}_1$ . W wypadku przeciwnym nastąpi obrót dokoła *PP*, czemu możemy zapobiec jedynie przez przesunięcie ku dziobowi środka ciężkości okrętu *G*. Cel ten można osiągnąć przez załastowanie skrajnika dziobowego (co zwiększa możliwość uderzenia dziobu o pochylnię przy „ukłonie”) lub przez usunięcie odpowiednich ciężarów z rufowej części okrętu.

### 10.2.5. Obliczenia prędkości w czasie wodowania

Dotychczasowe rozważania prowadzone były przy założeniu statycznego przebiegu wodowania. W rzeczywistości pod wpływem działających sił okręt doznaje przyspieszeń, różnych w poszczególnych okresach wodowania, a prędkość jego może osiągnąć dość znaczne wartości dochodzące do 8 m/s.

Dla pierwszego okresu wodowania możemy obliczyć prędkość chwilową okrętu  $v$  [m/s] po przebyciu drogi o długości  $s$  [m] zakładając, iż siła wypadkowa  $\bar{K}$  powodująca zsuwanie się okrętu z pochylni, określona wzorem (10.1), jest stała, a ruch okrętu w tym okresie jest jednostajnie przyspieszony

$$v = bt \quad (10.11)$$

gdzie:

$b$  — przyspieszenie okrętu [m/s<sup>2</sup>];

$t$  — czas przebycia drogi  $s$  [s].

Podstawiając do wzoru (10.11) wyrażenie na  $t$  z równania ruchu jednostajnie przyspieszonego:

$$s = \frac{bt^2}{2}$$

otrzymamy

$$v = \sqrt{2bs} \quad (10.12)$$

Przyspieszenie okrętu  $b$  znajdziemy z wzoru Newtona:

$$K = mb = \frac{P}{g} b$$

gdzie:

$m$  — masa okrętu wraz z saniami [kGs<sup>2</sup>/m];  
 $g$  — przyspieszenie sił ciężkości = 9,81 [m/s<sup>2</sup>].

Stąd po podstawieniu w miejsce  $K$  wartości z wzoru (10.1):

$$b = K \frac{g}{P} = g \frac{P (\operatorname{tg} \alpha - \mu)}{P} = g (\operatorname{tg} \alpha - \mu) \quad (10.13)$$

W okresie drugim i trzecim musimy we wzorze (10.13) uwzględnić wpływ wzrastającej wyporności okrętu; otrzymamy wówczas:

$$b = g \frac{(\bar{r} - D) (\operatorname{tg} \alpha - \mu)}{P} = g \frac{N}{P} (\operatorname{tg} \alpha - \mu) \quad (10.14)$$

We wzorze powyższym nie uwzględniamy oporów wody, gdyż ich wpływ na wielkość przyspieszenia jest znikomy. Wielkość siły  $\bar{N}$  możemy wyznaczyć dla każdego położenia okrętu z wzoru (10.2), co umożliwi sporządzenie wykresu przyspieszenia w funkcji drogi przebytej przez GKS.

Prędkość chwilowa okrętu w okresie trzecim i czwartym wyrazi się wzorem

$$v = \sqrt{2 \sum_{i=1}^n b_i \Delta s} \quad (10.15)$$

w którym wyrażenie  $\sum_{i=1}^n b_i \Delta s$  dla danej drogi  $s$  obliczamy jako pole powierzchni ograniczone osiami współrzędnych, krzywą przyspieszeń, wykreśloną dla  $s$  rosnącego od zera na podstawie wzorów (10.13) i (10.14) i daną rzędną  $s$ .

Po zejściu okrętu z pochylni prędkość jego maleje na skutek oporów wody. Zwykle dla przyspieszenia momentu zatrzymania się okrętu rzucane są wówczas kotwice. Przy małej szerokości akwatorium przed pochylnią stosować trzeba dodatkowe środki hamujące na rufie lub ciągnięcie po pochylni łańcuchów kotwicznych.

Wyniki obliczeń prędkości okrętu w funkcji drogi nanosimy na wykres wodowania (rys. 10.11).



Wodowanie boczne, stosowane od dawna w stoczniach śródlądowych, wprowadzane jest obecnie również i w stoczniach morskich.

Przy wodowaniu bocznym okręt ustawiony jest burtą do wody. Pod okrętem montuje się tory ślizgowe prostopadle do jego płaszczyzny symetrii. Odstęp torów wynosi zwykle  $8 \div 10$  m (dla okrętów mniejszych  $5 \div 6$  m), nachylenie torów od  $1 : 5$  do  $1 : 18$ ; stosuje się także tory o nachyleniu wzrastającym o promieniu  $1500 \div 2500$  m. Zabudowanie płóz i podpakowania oraz przeniesienie ciężaru okrętu na płozy odbywa się tak samo jak przy wodowaniu wzdłużnym. Ostatnio w miejsce torów drewnianych rozpoczęto stosować tory wykonane z szeregu rolek, co pozwala na uzyskanie znacznych oszczędności na smarach.

Czas wodowania bocznego jest znacznie krótszy niż wodowania wzdłużnego i wynosi od kilku do kilkunastu sekund.

Rozróżniamy trzy sposoby wodowania bocznego: wodowanie klasyczne, wodowanie z zeskokiem i wodowanie z zeskokiem po torach uchylnych.

#### 10.3.1. Wodowanie klasyczne

Wodowanie klasyczne, ma miejsce wówczas, gdy tory ślizgowe zbiegają pod wodę tak daleko, że okręt zsuwa się po nich aż do chwili uzyskania swobodnego pływania. Zaletą tego sposobu jest brak nacisków występujących w postaci siły skupionej, jednakże tak duże przedłużenie części podwodnej torów grozi zatrzymaniem się okrętu przed momentem oderwania się płóz od torów ze względu na duże siły bocznego oporu wody. Równocześnie budowa podwodnej części podtorza i torów wymaga znacznych nakładów pieniężnych, a konserwacja ich jest bardzo kłopotliwa. Z tych to powodów pochylnię tego rodzaju buduje się w zasadzie tylko w postaci tzw. „slipu poprzecznego”, służącego równocześnie do wyciągania okrętów z wody na ląd w celach remontu.

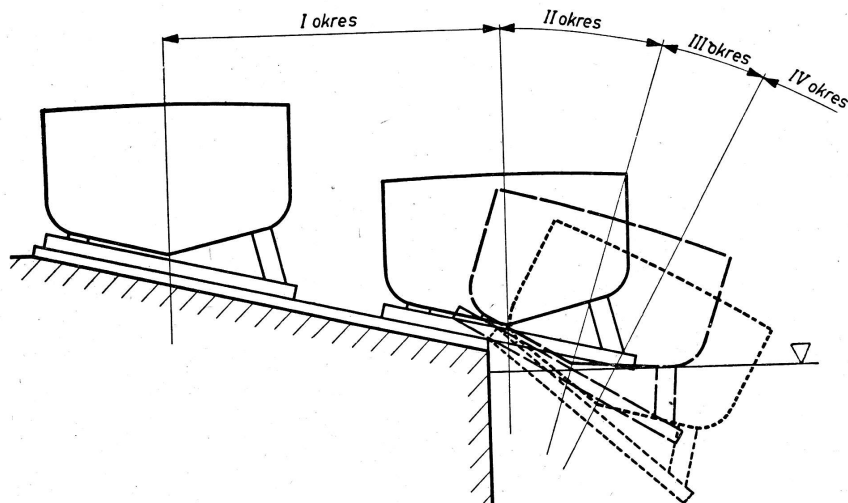
Istniejące pochylnie boczne przystosowane do wodowania klasycznego mają zwykle podwodną część torów tak krótką, iż po minięciu progu pochylni przez środek ciężkości okrętu następuje obrót okrętu dookoła progu. Powoduje to wystąpienie skupionego nacisku na próg, znikającego z chwilą zsunienia się płóz z torów; gwałtowne zniknięcie nacisku powoduje obrót okrętu w kierunku pochylni, co może spowodować uderzenie burty okrętu o jej próg.

#### 10.3.2. Wodowanie z zeskokiem

Wodowanie z zeskokiem odbywa się z pochylni, posiadającej tylko część nadwodną; wysokość progu pochylni nad powierzchnią wody może sięgać do 2,5 m, zwykle jednak ogranicza się do kilkudziesięciu centymetrów. Wodowany okręt wykonuje w czasie wodowania obrót dookoła progu, zsuwa się do wody z pochyleniem na burtę zewnętrzną, sięgającym do  $35^\circ$  lub więcej, już w wodzie wyprostowuje się z przechyłu i wykonuje ruch wahadłowy na burtę przeciwną, by po wykonaniu kilku wahnięć przyjąć pozycję normalną.

W czasie wodowania z zeskokiem możemy wyróżnić następujące okresy (rys. 10.12):

- okres pierwszy — od chwili ruszenia z miejsca do rozpoczęcia obrotu okrętu na progu pochylni;
- okres drugi — od rozpoczęcia obrotu do momentu dotknięcia przez kadłub powierzchni wody;
- okres trzeci — od dotknięcia wody do zejścia górnych krawędzi płóz z progu pochylni;
- okres czwarty — swobodnego pływania okrętu.



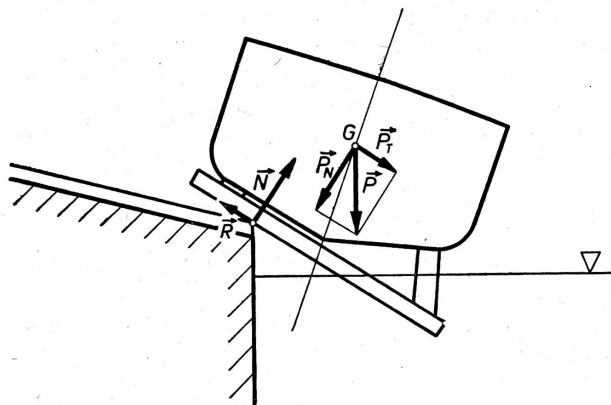
Rys. 10.12

W okresie pierwszym działanie sił i charakter ruchu jest taki sam, jak w czasie wodowania wzdłużnego.

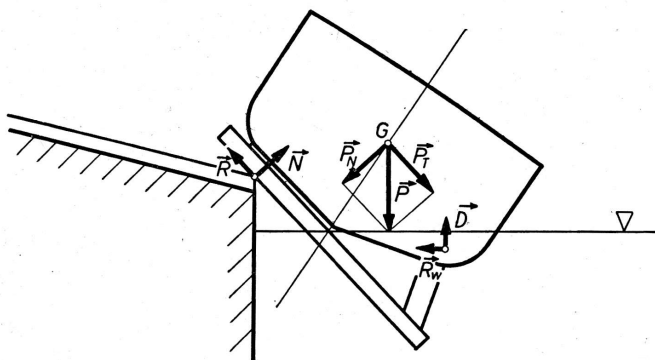
Okres drugi wodowania rozpoczyna się z początkiem obrotu okrętu dookoła progu pochylni. Ze względu na prędkość nabytą w pierwszym okresie obrót ten rozpocznie się dopiero po minięciu progu pochylni przez środek ciężkości okrętu (rys. 10.12). Zjawisko to jest korzystne, gdyż powoduje pewne zmniejszenie wysokości zeskoku, a tym samym zmniejszenie największego kąta przechyłu okrętu w wodzie. Dlatego też dążymy do uzyskania przez okręt możliwie dużej prędkości na progu pochylni, nie większej jednak od  $6 \div 7$  m/s ze względu na niebezpieczeństwo uszkodzenia poszycia przy zbyt silnym uderzeniu o wodę.

W okresie drugim okręt zsuwa się nadal z pochylni, opadając równocześnie ku powierzchni wody. Reakcja torów na nacisk płóz będzie przedstawiać się w postaci siły skupionej na progu pochylni, działającej prostopadle do powierzchni płóz; siła ta wraz z równoległą do niej składową ciężaru okrętu  $\vec{P}_N$  tworzy moment powodujący zwiększanie się przechyłu okrętu na burtę zewnętrzną (rys. 10.13).

Z chwilą gdy kadłub okrętu dotknie wody rozpoczyna się trzeci okres wodowania, trwający aż do zejścia górnych krawędzi płóz z progu pochylni. Do sił działających uprzednio dochodzi w tym okresie wzrastający wypór  $\vec{D}$  oraz boczny opór wody  $\vec{R}_w$  (rys. 10.14). W wyniku wystąpienia tych sił maleje reakcja  $\vec{N}$ , a więc i moment



Rys. 10.13



Rys. 10.14

przechylający, zmniejszany dodatkowo przez przeciwnie działający moment wyporu. Powoduje to zmniejszenie prędkości przechylania się okrętu, pomimo iż kąt przechyłu nadal wzrasta.

Gdy górne krawędzie płóz zejść z progu kończy się okres trzeci. Zanika wówczas nagle siła  $\vec{N}$ , a więc i moment przechylający, w związku z czym okręt prostuje się z przechyłu; w pewnych wypadkach może przy tym nastąpić przechył na burzę przeciwną i przy zbyt małej odległości od brzegu — uderzenie burty wewnętrznej o próg pochylni.

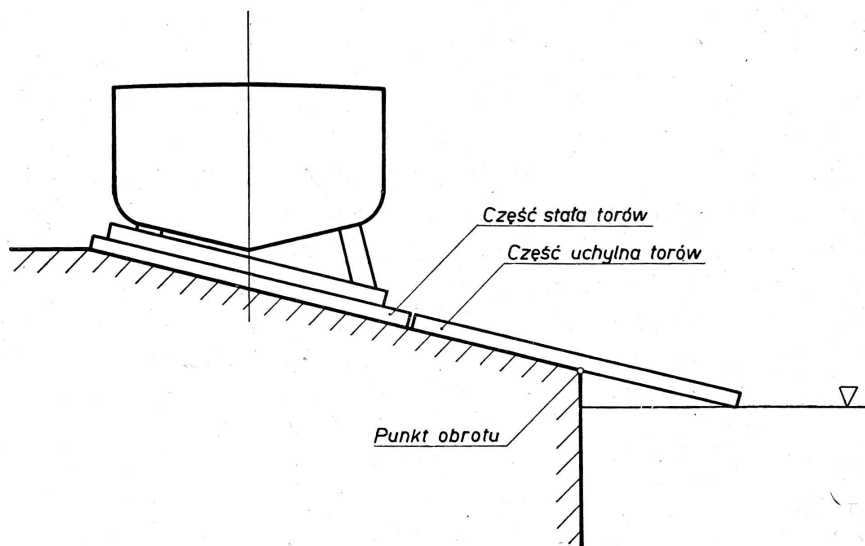
W okresie czwartym okręt prostując się zanurza się swobodnie; ze względu na nabytą w czasie zeskoku prędkość okręt zanurzy się początkowo głębiej, niż

by to odpowiadało jego wyporności, by następnie dopiero unieść się do położenia równowagi statycznej między ciężarem a wyporem. Z tego powodu głębokość wody przy wodowaniu zeskokowym musi być od 50% do 60% większa od zanurzenia dolnej krawędzi płóz dla okrętu swobodnie pływającego z najniekorzystniejszym kątem przechyłu.

Zastosowanie wodowania z zeskokiem pozwala na wykorzystanie do tego celu każdego nabrzeża, bez potrzeby budowy kosztownej i trudnej do konserwacji podwodnej części pochylni. Z tego też powodu ten właśnie system wodowania boczego został w Polsce zainicjowany przez profesora Politechniki Gdańskiej dr A. Rylke i wprowadzony w kilku stoczniach morskich.

### 10.3.3. Wodowanie po torach uchylnych

Wodowanie po torach uchylnych stanowi odmianę wodowania z zeskokiem. Różnica między nimi polega na tym, że części torów bliższe wody, wystające poza próg pochylni, nie są zamocowane na stałe do podtorza, lecz mogą się obracać



Rys. 10.15

w płaszczyźnie pionowej dokoła progu (rys. 10.15). Gdy okręt wodowany rozpoczyna obrót uchylnie części torów obracają się wraz z nim, co powoduje złagodzenie zeskoku i odprowadzenie okrętu dalej od nabrzeża.

### 10.3.4. Niebezpieczeństwa podczas wodowania

W czasie wodowania boczego może okrętowi wodowanemu grozić szereg niebezpieczeństw, którym zapobiec można przez odpowiedni dobór parametrów wodowania.

Najgroźniejszy w skutkach może być wypadek zarzucenia jednego końca wodowanego okrętu i ukośne ześlizgnięcie się do wody. Pociąga to za sobą zniszczenie konstrukcji spustowej i uszkodzenie kadłuba przy przejściu nad progiem pochylni. Do wypadków takich nie dopuszczamy przez właściwe rozmieszczenie torów i staranne wykonanie konstrukcji spustowej.

Przy zbyt małej głębokości basenu możliwe jest uderzenie dnem lub płozami o dno basenu.

Zbyt mała prędkość przy przejściu okrętu nad progiem pochylni może spowodować uderzenie burty o próg pochylni przy przechyle powrotnym lub też być przyczyną tak dużego przechyłu przy opadnięciu na wodę, że okręt przewróci się i zatoni.

Ze względu na niebezpieczeństwo przewrócenia się okrętu przy znacznym kącie przechyłu ważne jest zapewnienie mu dostatecznie dużej stateczności. W tym celu stosuje się dodatkowe balastowanie zbiorników dennych dla obniżenia położenia ciężkości okrętu.

Dla upewnienia się o bezpieczeństwie projektowanego wodowania celowe jest sprawdzenie prawidłowości przyjętych parametrów za pomocą badań modelowych wodowania bocznego.

## Rozdział 10

### WODOWANIE

#### 10.1. WIADOMOŚCI OGÓLNE

Przeniesienie kadłuba okrętu z lądu na wodę po zakończeniu jego budowy, zwane wodowaniem, odbywa się najczęściej przez spuszczenie go do wody po pochyłych torach.

Rozróżniamy dwa systemy wodowania:

- wodowanie wzdłużne, stosowane z reguły dla jednostek morskich,
- wodowanie boczne, stosowane przeważnie w stoczniach śródlądowych, rzadziej w stoczniach morskich.

Wodowanie wzdłużne ma następujące strony ujemne:

- 1) konieczność kosztownych lokalnych wzmocnień pochylni ze względu na duże naciski powierzchniowe w końcowych częściach drogi okrętu oraz kosztownych prac przy budowie i konserwacji podwodnej części pochylni;
- 2) występowanie dużych naprężeń w wiązaniach kadłuba na skutek powstawania w czasie wodowania dużych momentów zginających kadłub;
- 3) konieczność posiadania przed pochylnią akwenu o długości równej  $2 \div 2,5$ -krotnej długości okrętu dla umożliwienia zatrzymania się okrętu po zejściu na wodę;
- 4) konieczność budowy okrętu z pewnym pochyleniem stępki w stosunku do poziomu, co utrudnia budowę i powoduje wzrost jej kosztów.

Wad tych nie posiada wodowanie boczne, przy stosowaniu którego okręt może być budowany na równej stępce; nie występują również naprężenia gnące w płaszczyźnie symetrii, odpada konieczność obszernych lokalnych wzmocnień pochylni, a wymagana szerokość akwenu nie przekracza  $2 \div 2,5$ -krotnej szerokości okrętu. Te właśnie specyficzne zalety wodowania bocznego są przyczyną powszechnego stosowania go przez stocznie śródlądowe, dysponujące ograniczoną szerokością wód przed nabrzeżami i stopniowego wprowadzania tegoż systemu do stocznii morskich.

Zarówno w czasie wodowania wzdłużnego, jak i bocznego z chwilą ruszenia okrętu z miejsca tracimy nad nim władzę, a sam przebieg wodowania, zresztą krótkotrwały ( $40 \div 60$  sekund przy wodowaniu wzdłużnym,  $12 \div 13$  sekund przy wodo-

GKS — górna (dziobowa) krawędź sań,  
 DKS — dolna (rufowa) krawędź sań,  
 PP — próg pochylni.

Okres pierwszy wodowania wzdłużnego rozpoczyna się z chwilą zwolnienia stoperów i ruszenia okrętu z miejsca. Jeśli pochylnia przed wodowaniem była częściowo zalana wodą, tak iż rufa okrętu była zanurzona, okres pierwszy łączy się w jedno z okresem drugim wodowania.

W okresie pierwszym działają na okręt następujące siły (rys. 10.1):

- 1) składowa  $\bar{P}_T$  siły ciężaru okrętu wraz z saniami  $\bar{P}$ , równoległa do powierzchni torów

$$P_T = P \sin \alpha$$

gdzie  $\alpha$  — kąt nachylenia torów w stosunku do poziomu wody

- 2) siła tarcia  $\bar{R}$  płóz o nasmarowane tory

$$R = \mu P_N = \mu P \cos \alpha$$

gdzie:

$\mu$  — współczynnik tarcia płóz o tory;  
 $P_N$  — składowa normalna do torów siły ciężaru  $\bar{P}$ .

Siła  $\bar{P}_T$  powoduje zsuwanie się okrętu z pochylni, siła tarcia  $\bar{R}$  przeciwstawia się temu ruchowi. Okręt może więc zsunąć się do wody wówczas, gdy:

$$P_T > R$$

$$\text{lub } P \sin \alpha > \mu P \cos \alpha$$

$$\text{czyli } \operatorname{tg} \alpha > \mu$$

Wartość współczynnika tarcia płóz o tory  $\mu$  nie może być z góry dokładnie określona, zależy bowiem nie tylko od składu smaru i ciśnienia płóz na smar, lecz

Tablica 10.1

Wartości współczynnika tarcia płóz o tory

Stan okrętu	Średnie ciśnienie płóz na smary $p$ [kg/m <sup>2</sup> ]	Współczynnik tarcia $\mu$
Spoczynek	—	0,04 ÷ 0,08
Ruch	10 · 10 <sup>3</sup>	0,033 ÷ 0,046
	20 · 10 <sup>3</sup>	0,025 ÷ 0,038
	30 · 10 <sup>3</sup>	0,018 ÷ 0,030

również od innych cz. bezpośredniego wpły. twardego i płóz z dr. dzie podany jest w t. wyższych temperaturach

Przy obliczaniu śn. żar okrętu rozłożony

gdzie:

$P$  — ciężar okrętu w  
 $F$  — pole powierzch.

Wymiary płóz do. się w granicach  $p =$  ciskanie smaru spod

Wypadkową sił c. siła  $\bar{K}$  o wielkości:

Ponieważ wartość. przyjąć, iż  $\cos \alpha \approx 1$

Podstawiając we. tarcia  $\mu$  górną jego. tość siły  $\bar{K}$  w chwili. ruszy sam z miejsca. pokonać prasy hydr.

Podstawiając z k. ruchu przy danym ś. powodującą przyspi. przeciwstawienie się. gdyż mogą one być. niaczy pomocniczych.

Okres drug. przez kadłub powie. w okresie pierwszym.

Oporu wody m. rzonej i niewielkich. niu z siłami pozost. zanurzeniu okrętu, pozostaje nie zmie.