

Z badań modelowych wodowania bocznego

Mgr inż. J. WISNIEWSKI i mgr inż. T. ZDYBEK

W badaniach nad zagadnieniem wodowania bocznego, prowadzonych przez Morski Instytut Techniczny i Katedrę Budowy i Projektowania Okrętów Politechniki Gdańskiej, jedną z metod pracy są badania modelowe. Pozwalają one:

1) przeprowadzać systematyczne sprawdzanie wyników, otrzymywanych na drodze analitycznej oraz ustalać współczynniki doświadczalne, jakie występują w tych obliczeniach;

2) obserwować w sposób najdogodniejszy wpływ zmian poszczególnych parametrów statku i pochylni na przebieg wodowania;

3) sprawdzać, czy zaprojektowane w wypadkach konkretnych wodowań warunki zapewniają bezpieczeństwo wodowania, ew. warunki te ustalać z góry, na podstawie zawczasu przeprowadzonych prób.

Pierwsze dwa aspekty grają najważniejszą rolę w systematycznych badaniach zagadnienia wodowania bocznego, które mają dać w wyniku pewną i prostą metodę obliczania wodowania, wygodną w zastosowaniu praktycznym. Trzeci jest aktualny w chwili obecnej i niewątpliwie będzie mógł oddawać usługi także w przyszłości, w wypadkach wodowania statków w warunkach odbiegających znacznie od normalnych (wodowanie do wąskiego basenu, wysoki próg pochylni itp.).

Przeprowadzenie prób modelowych wodowania poprzecznego wymaga, jak przy wszystkich tego rodzaju badaniach, możliwie najdokładniejszego zachowania podobieństwa dynamicznego zjawisk, a więc m. in. spełnienia odpowiednich praw modelowych. Trzeba stwierdzić, iż pod tym względem badania modelowe wodowania stanowią zagadnienie znacznie trudniejsze niż np. pomiary oporu wodowania na modelach.

W obu tych wypadkach należałoby zachować zasadniczo dwa prawa podobieństwa:

1) Froude'a — ważne dla wszelkich zjawisk wywołanych siłami ciężkości;

2) Reynoldsa — dotyczące zjawisk wywołanych lepkością cieczy.

Jak wiadomo, równoczesne spełnienie warunków stawianych przez te dwa prawa w badaniach modelowych jest niemożliwe. Przy pomiarach modelowych oporu holowania trudność tę można ominąć, gdyż jedną ze składowych oporu — opór tarcia, podlegający prawu Reynoldsa — można obliczyć analitycznie. W przeciwieństwie do powyższego, przy próbach wodowania droga ta jest nieosiągalna, gdyż nie mamy tu do czynienia ze zjawiskiem ustalonym. Powstaje więc alternatywa całkowitego pominięcia jednego z tych praw, w tym wypadku prawa Reynoldsa, na podstawie założenia, że wpływ sił wywołujących lepkością cieczy jest znacznie mniejszy niż sił ciężkości. Kwestia słuszności takiego postępowania, określenie błędu wynikającego stąd i ew. ustalenie „efektu skali” wymagają osobnych szczegółowych badań. Trzeba jedynie stwierdzić, że dotychczasowe wyniki prac, jak również dane z literatury na ten temat potwierdzają słuszność takiego założenia.

Czas ruchu statku w trakcie wodowania jest bardzo krótki. Zachowując skalę czasu, ruch modelu ogranicza się do kilku sekund. Jednocześnie ilość mierzonych i ustalanych wielkości jest duża. Wymaga to drobiazgowej techniki pomiarowej.

Zachowanie prawa modelowego Froude'a wymaga jednakowych współczynników tarcia na torach dla stat-

ku i modelu. Prowadzi to do konieczności stosowania specjalnego urządzenia dla regulacji tego współczynnika i osiągnięcia podobieństwa rozkładu prędkości i przyspieszeń na torach.

Zachowanie podobieństwa dynamicznego w ruchu nie ustalonym wymaga podobieństwa w rozkładzie mas modelu, tzn. zachowania w odpowiedniej skali momentu bezwładności i współrzędnych środka ciężkości. Dla zapewnienia możliwości regulacji tych czynników w odpowiednim zakresie, co najmniej 50% całkowitego ciężaru modelu w stanie odpowiadającym minimalnej wyporności przy wodowaniu powinien stanowić balast. Wynikają stąd duże trudności konstrukcyjne przy budowie modelu.

Względy konstrukcyjne mają duży wpływ na wybór skali liniowej. Wraz ze zmniejszeniem wymiarów modelu jego wyporność maleje z trzecią potęgą skali liniowej, natomiast ciężar minimalny konstrukcji, praktycznie możliwy do osiągnięcia, maleje znacznie wolniej. Z tego względu model nie może być zbyt mały, gdyż byłby konstrukcyjnie nie do wykonania. Na przykład dla statku o wyporności podczas wodowania 250 t i długości 60 m stosowanie skal 1:10, 1:20 i 1:40 dałoby następujące wyniki:

$\lambda = 10$	$l = 6 \text{ m}$	$d = 250 \text{ kg}$
$\lambda = 20$	$l = 3 \text{ m}$	$d = 31,25 \text{ kg}$
$\lambda = 40$	$l = 1,5 \text{ m}$	$d = 3,91 \text{ kg}$

gdzie: λ oznacza współczynnik skali liniowej, l — długość modelu, d — jego wyporność.

Przy skali $\lambda = 10$ model byłby konstrukcyjnie wykonalny, lecz jego wymiary powodowałyby duże koszty budowy aparatury i trudności w obsłudze. Przy $\lambda = 40$ półtorametrowy kadłub modelu musiałby ważyć około 2 kg, co konstrukcyjnie jest niewykonalne. Skala zbliżona do $\lambda = 20$ daje rozwiązanie optymalne, lecz wymaga także stosowania konstrukcji bardzo lekkich i dużo trudniejszych niż przy modelach do prób holowania.

Wśród wielkości, które należy ustalić w badaniach modelowych wodowania, można wyróżnić dwie zasadnicze grupy. Do pierwszej należą wielkości wyjściowe, założone lub znane z przebiegu wodowań rzeczywistych, które wymagają odtworzenia:

1) charakterystyki modelu — ciężar (wyporność), współrzędne środka ciężkości, moment bezwładności, wysokość metacentryczna;

2) charakterystyki pochylni i basenu — pochylenie torów, wysokość progu nad poziomem wody, głębokość basenu przed pochylnią;

3) charakterystyki ustawienia modelu — odległość początkowa płaszczyzny symetrii kadłuba od krawędzi pochylni, wysokość środka ciężkości nad płaszczyzną torów;

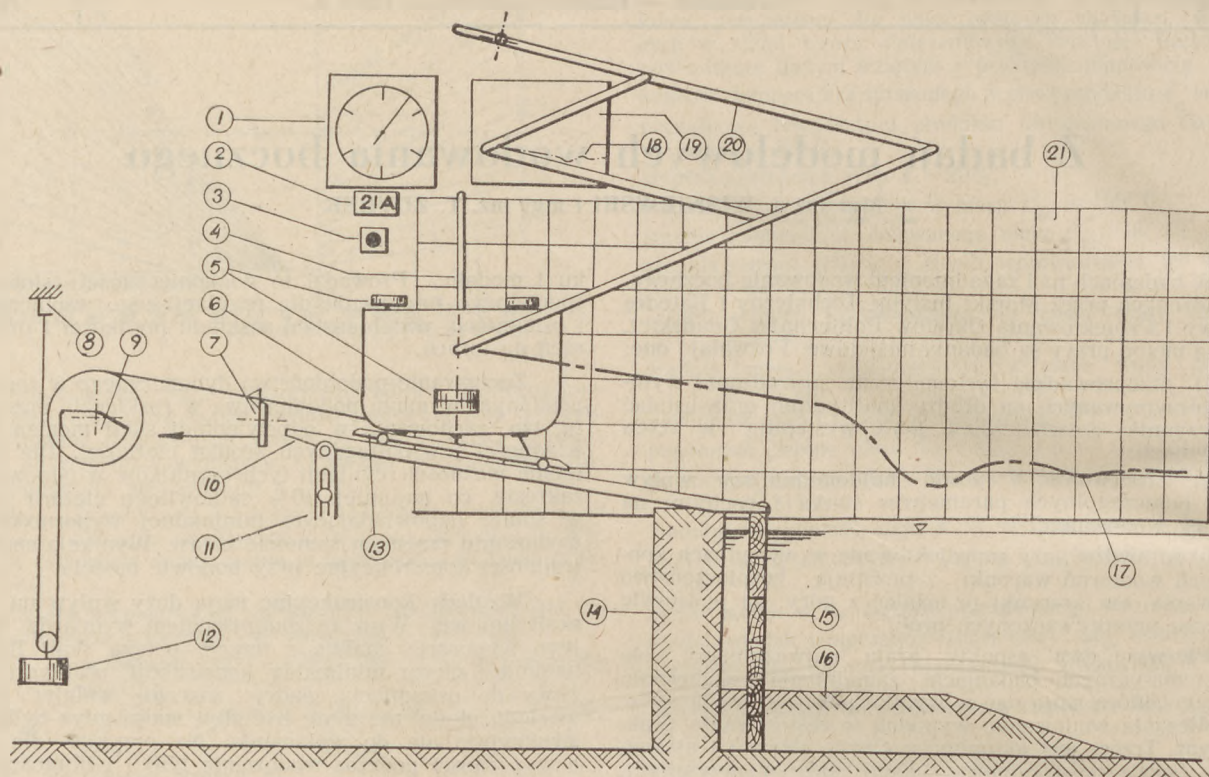
4) charakterystyki ruchu po pochylni — współczynniki tarcia, prędkości i przyspieszenia.

Aparatura stosowana do badań powinna umożliwiać łatwą zmianę tych charakterystyk, na co zwrócono szczególną uwagę przy jej projektowaniu.

Do drugiej grupy należą wielkości, których pomiar pozwala na scharakteryzowanie ruchu modelu od chwili początku obrotu na krawędzi pochylni oraz występujących przy tym sił. Dla uzyskania tych charakterystyk zdecydowano się na mierzenie w zależności od czasu:

1) współrzędnych drogi środka ciężkości modelu,
2) kątów przechyłu.
Schemat zastosowanej aparatury badawczej przedstawiony jest na rys. 1.

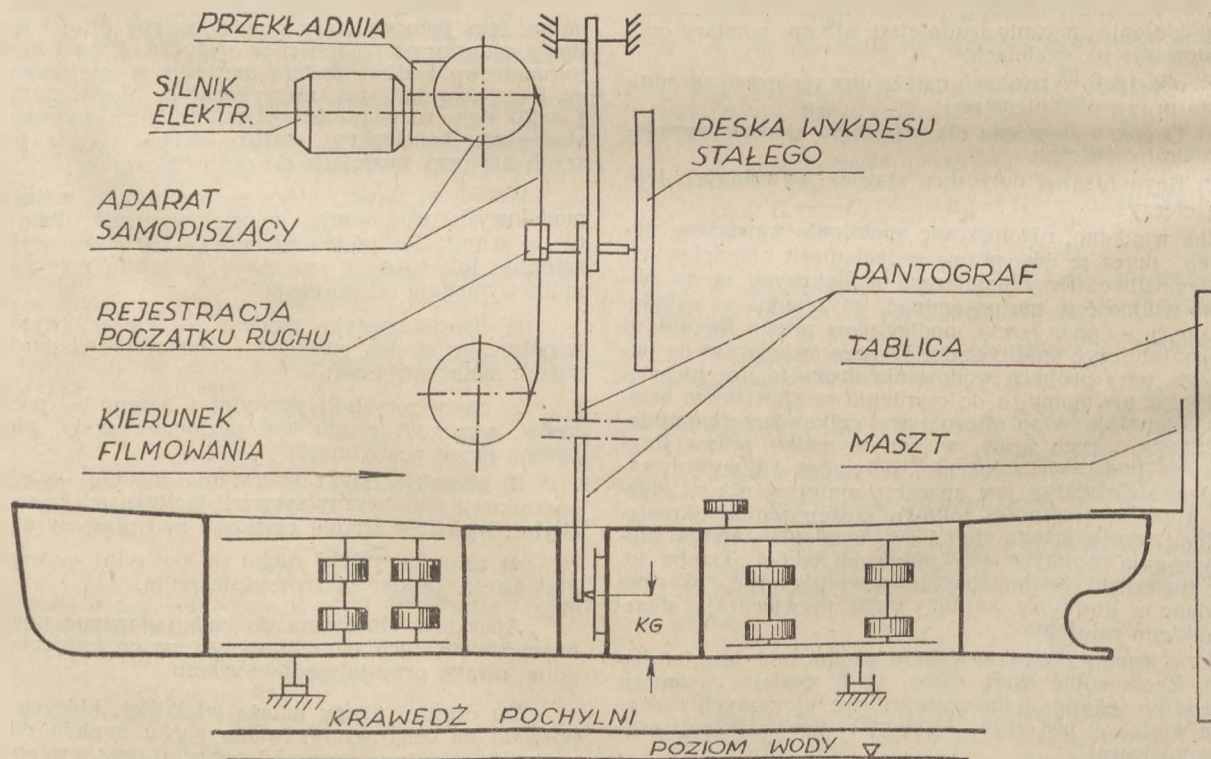
Model jest wodowany do basenu o wymiarach 5×6 m, które zapewniają uniknięcie zakłócenia zjawisk przez fale odbite. Niezależnie od tego basen zaopatrzono w drewniane pochłaniacze fal. Odtworzenie w skali charakteru



Rys. 1

Schemat urządzenia do prób modelowych wodowania poprzecznego. 1 — zegar elektryczny, 2 — numeracja pomiarów, 3 — optyczny wskaźnik początku ruchu, 4 — maszt, 5 — ciężarki regulujące położenie środka ciężkości i moment bezwładności modelu, 6 — model, 7 — zwalnicznik modelu, 8 — zaczep elektromagnetyczny ciężarka, — 9 krzywka, 10 — tor spustowy, 11 — regulowane podparcie torów, 12 — ciężar

rek urządzenia odtwarzającego siłę tarcia, 13 — płyty, 14 — ściana basenu, 15 — model nabrzeża, 16 — model dna, 17 — rzeczywista droga środka ciężkości modelu, 18 — wykres pantografu (droga środka ciężkości modelu w skali), 19 — przyrząd samopiszący, 20 — pantograf, 21 — tablica z siatką decymetrową.



Rys. 2

Schemat modelu i aparatury rejestrującej

części podwodnej basenu przy pochylni zrealizowano przy pomocy pionowej drewnianej ścianki oraz odpowiedniego modelowania dna z piasku i cegły.

Model ustawiony jest na dwóch stalowych torach, osadzonych obrotowo przednią krawędzią i podpartych w sposób umożliwiający nadawanie im odpowiedniego nachylenia. Model porusza się po torach na wózkach zaopatrzonych w kółka z małych łożysk kulkowych. Dochodząc do końca pochylni, wózek wjeżdża na rolki umieszczone na jej krawędzi. Współczynnik oporu tarcia łożysk jest bardzo mały w stosunku do współczynników tarcia występujących przy wodowaniach statków. Wymaganą wielkość siły tarcia uzyskano w sposób następujący:

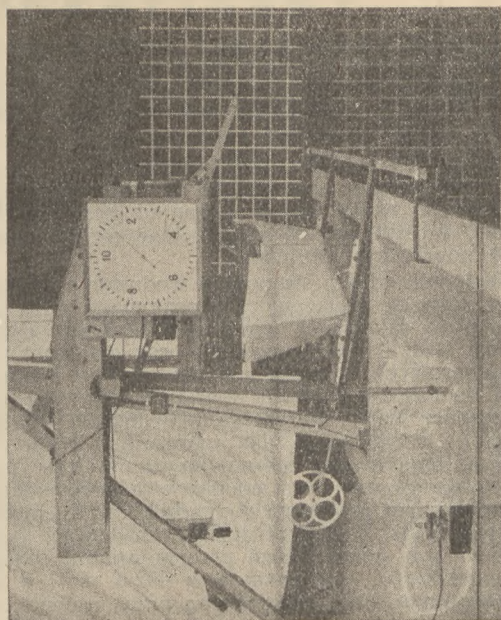
Model po zwolnieniu zjeżdża po torach, ciągnąc za sobą linkę nylonową, odwijającą się z lekkiej tarczy, której obwód równy jest długości torów. Tarcza zamocowana jest na jednej osi z krzywką drewnianą, na którą nawija się inna linka, podnosząc odpowiedni ciężarek ołowiany. W momencie rozpoczęcia obrotu modelu na krawędzi pochylni specjalne urządzenie elektromagnetyczne zwalnia ciężarek. Dobierając kształt krzywki i wielkość ciężaru, można osiągnąć dowolny przebieg współczynnika tarcia na torach.

Charakterystyki dynamiczne modelu są ustalane przed każdym pomiarem. Ciężar i położenie środka ciężkości określone są przy pomocy specjalnie skonstruowanej wagi. Moment bezwładności jest mierzony drogą pomiaru okresu wahań modelu zawieszonego na odpowiednich pryzmatach.

Sam model posiada lekką konstrukcję drewnianą i jest wyposażony w zespół ciężarków, które umożliwiają regulację charakterystyk dynamicznych (rys. 2).

Rejestrację drogi środka ciężkości modelu uzyskano za pomocą pantografu, kreślącego na nieruchomym arkuszu papieru przebieg drogi środka ciężkości modelu w skali 1:5. Zastosowanie dwustronnego ołówka w pantografie umożliwia jednocześnie kreślenie drogi środka ciężkości na taśmie aparatu samopiszącego, która porusza się ze znaną szybkością. W ten sposób z obu tych wykresów można uzyskać przebieg drogi środka ciężkości w funkcji czasu. Pantograf jest wykonany z lekkich listew drewnianych, zaopatrzonych na przegubach w łożyska kulkowe. Rozłożenie punktu zaczepienia pantografu w kadłubie można łatwo regulować w zależności od zmian środka ciężkości modelu. Doświadczenie wykazało, że wpływ obecności pantografu na przebieg wodowania jest pomijalny. Urządzenie samopiszące odbiega znacznie wymiarami, a przede wszystkim szybkością przesuwu taśmy, od przyrządów tego typu normalnie stosowanych w technice. Składa się ono z dwóch lekkich bębnow aluminium, płyty podpierającej taśmę papieru w obszarze przebieganym przez ołówek pantografu oraz urządzenia elektromagnetycznego, które dodatkowo rejestruje moment zwolnienia modelu i obrotu na krawędzi pochylni. Napęd przyrządu stanowi obrotowy silnik elektryczny, sprzęgnięty z bębnem pociagowym przekładnią ślimakową. Urządzenie samopiszące (z wyjątkiem silnika i przekładni) daje się wysuwać z konstrukcji podtrzymującej i przenosić na miejsce dla dogodnego zdejmowania i kontrolowania wykresów. Moment zwolnienia modelu rejestruje dodatkowy ołówek, dociskany do taśmy aparatu samopiszącego elektromagnesem, którego obwód zamyka kontakt wbudowany w zwalnicznik modelu. Gdy model rozpoczyna obrót na krawędzi pochylni, przerywa automatycznie obwód prądu, dając tym samym punkt na taśmie aparatu samopiszącego. Schemat pantografu i urządzenia samopiszącego widoczny jest na rys. 1 i 2.

Rejestrację kątów przechyłu modelu rozwiązano filmując wodowanie modelu na tle pokratkowanej tablicy, przy czym dla umożliwienia dostatecznie dokładnych odczytów model zaopatrzono w maszt, przesuwający się w bardzo niewielkiej odległości od tablicy. Tak bliskie ustawienie masztu zmniejsza błąd paralaksy, powstałej wskutek tego, że aparat filmowy pozostaje w czasie wodowania nieruchomy. Jako podstawę czasu dla zdjęć filmowych zastosowano duży zegar elektryczny, którego wskazówka wykonuje jeden obrót na sekundę, filmowany razem z modelem. Dokładność odczytów czasu z filmu wynosi około 1/100 sek. Uchwycenie na filmie momen-



Rys. 3
Widok urządzenia od strony aparatu filmowego

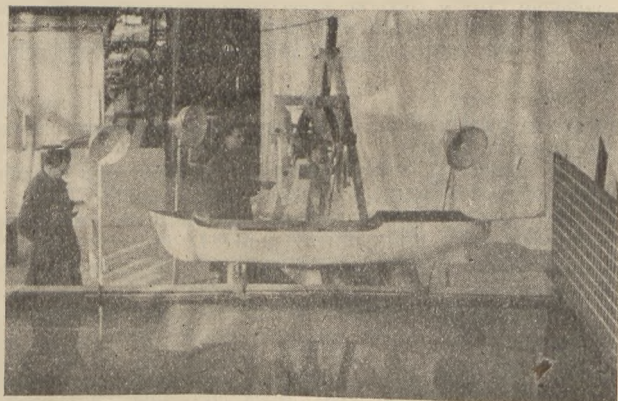
tu zwolnienia modelu odbywa się za pomocą sygnału optycznego, umieszczonego obok sekundomierza; sygnał ten posiada urządzenie elektromagnetyczne, uruchamiane przez zwalnicznik w momencie zwolnienia modelu.

Wszystkie wymienione urządzenia rejestrujące i sygnalizujące muszą działać automatycznie, ze względu na krótki czas przebiegu wodowania, wynoszący około 2 sek., co uniemożliwia jakąkolwiek synchronizację ręczną.

Opisane przyrządy pomiarowe zmontowane są na specjalnej konstrukcji drewnianej, mającej charakter trójnogowego masztu, wychylonego ponad pochylnię. Konstrukcja ta została wykonana bardzo sztywno, dla zmniejszenia oddziaływania ewentualnych drgań na prawidłowość pomiarów.

Załączone fotografie (rys. 3 i 4) ilustrują całość aparatury.

Działanie aparatury sprawdzono drogą porównania pomiarów, wykonanych podczas wodowania rzeczywistego i wyników prób modelowych dla tego samego statku. Przeprowadzone dotychczas badania wykazały, że posiadana instalacja, jakkolwiek wykonana w dużej mierze sposobem gospodarczym przy pomocy bardzo niewystarczających środków, daje zupełnie zadowalające wyniki.



Rys. 4
Widok ogólny

Pokaz modelowych badań w laboratorium MIT

W dniu 27 listopada 1951 r. MIT zorganizował w swym laboratorium hydrotechnicznym specjalny pokaz badań modelowych dla przedstawicieli władz, zainteresowanych instytucji oraz naukowców odcinka morskiego. Program obejmował krótkie przemówienie dyrektora MIT, a następnie dwa pokazy z objaśnieniami.

Pierwszy pokaz poprzedzony był referatem kierownika naukowego badań nad wodowaniem bocznym statków prof. inż. A. Rylkego. Wyciąg z tego referatu zamieściliśmy w poprzednim Biuletynie.

Następnie odbyły się pokazy wodowania modelu statku przy różnych obciążeniach i poziomach wody, a więc przy różnych warunkach wodowania. Zebrani z zainteresowaniem śledzili samo wodowanie oraz działanie przyrządów pomiarowych, działających samoczynnie i samopiszących. Cała zelektryfikowana aparatura została zbudowana przez zespoły MIT i Katedry Bud. Okrętów Politechniki Gdańskiej i jest pierwszą taką aparaturą w kraju.

W osobnej ciemni zebrani mogli przejrzeć pierwszy film wykonany z wodowań modelu w ramach badań.

Drugi punkt programu obejmował referat kierownika laboratorium inż. S. Mierzyńskiego o badaniach falowania w portach oraz pokaz badań przenikania fali na modelu portu gdyńskiego, zbudowanym w dużej skali i basenie doświadczalnym. Falę wytworzoną przez osobne urządzenie własnej konstrukcji mierzono w poszczególnych punktach basenów portowych i na redzie, przy czym po raz pierwszy został zademonstrowany nowy elektryczny aparat pomiarowy konstrukcji inż. Jagodzińskiego, opisany w poprzednich biuletynach MIT.

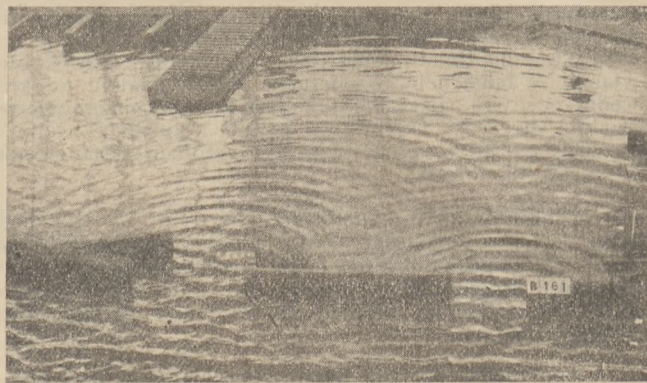
Pokaz zgromadził licznych uczestników, którzy mogli również zapoznać się bliżej z wieloma pozycjami wydawnictw wewnętrznych MIT: tłumaczeń źródłowych artykułów z różnych dziedzin morskich.

Impreza ta była pierwszą tego rodzaju i dała obraz rozwiniętych ostatnio większych badań naukowo-technicznych na tym odcinku po raz pierwszy w kraju.

Badania te służą bezpośrednio potrzebom rozbudowy portów i floty w Planie 6-letnim, a ich pierwsze wyniki już poważnie przyczyniły się do wyboru drogi postępowania w realizacji dużych inwestycji, w sensie ich potanień oraz zapewnienia oczekiwanych skutków gospodarczych.

Przewiduje się dalsze pokazy prac badawczych MIT dla zainteresowanych instytucji oraz specjalistów, a także dla racjonalizatorów wybrzeża, w połączeniu z odpowiednimi referatami.

U.



Rys. 1

Badanie pomysłu racjonalizatorskiego w zakresie falowania w portach

Obliczanie parametrów pieca parowo-olej. (dokończenie)

wierzchni grzejnej zwierciadła oleju, jako funkcji wydajności na godzinę, czasu trwania smażenia, ciężaru właściwego oraz grubości warstwy ryby znajdującej się na siatce:

$$F_g = \frac{2G\tau}{h\gamma} \text{ m}^2$$

Dzielimy F_g przez F_a , podstawiając przyjęte wyżej wartości k i t_{st} , i otrzymujemy:

$$t_{wt} = \frac{0,01 h \gamma}{\tau} \text{ m}^2/\text{m}^2 \dots \dots (4)$$

Dla wyprowadzonych w ten sposób zależności sporządzamy nomogram, który może służyć do rozwiązywania całego szeregu zagadnień związanych z eksploatacją parowo-olejowych pieców smażalnych w fabrykach konserw rybnych.

Oto przykłady posługiwania się tym nomogramem:

Przykład 1. — Właściwa powierzchnia grzejna parowo-olejowego pieca smażalnego wynosi $7,6 \text{ m}^2/\text{m}^2$. Czas trwania smażenia ryby o ciężarze właściwym nasypowym 680 kg/m^3 , wg danych doświadczalnych wynosi 12 minut.

Obliczyć dopuszczalną grubość warstwy surowej ryby na siatce.

Rozwiązanie: Z punktu A wystawiamy prostą pionową do punktu B na linii odpowiadającej czasowi trwania smażenia = 12 min.

Z punktu C , odpowiadającego nasypowemu ciężarowi właściwemu 680 kg/m^3 , wystawiamy prostopadłą CD .

Prowadzimy linię poziomą z punktu B do przecięcia się z pionową CD i otrzymujemy punkt D , któremu odpowiada dopuszczalna grubość warstwy surowca rybnego, równa $13,5 \text{ cm}$.

Przykład 2. — Określić minimalny czas smażenia ryby, której nasypowy ciężar właściwy wynosi 650 kg/m^3 , jeżeli grubość warstwy surowca załadowanego na siatkę wynosi 15 cm , zaś grzejna powierzchnia właściwa wynosi $5 \text{ m}^2/\text{m}^2$.

Rozwiązanie: Prowadzimy proste LM , ON i MN i otrzymujemy minimalny czas trwania smażenia równy $19,0 \text{ min}$.

Przykład 3. — Określić niezbędną grzejną powierzchnię właściwą parowo-olejowego pieca, jeżeli nasypowy ciężar właściwy ryby wynosi 680 kg/m^3 , grubość warstwy ryby na siatce wynosi $13,5 \text{ cm}$, zaś czas trwania smażenia danego gatunku ryby wynosi 12 minut.

Rozwiązanie: Prowadzimy proste CD , DB i $B.1$ i otrzymujemy grzejną powierzchnię właściwą pieca parowo-olejowego równą $7,6 \text{ m}^2/\text{m}^2$.

Przykład 4. — Określić dopuszczalne właściwe naprężenie wagowe zwierciadła oleju w piecu parowo-olejowym, jeżeli nasypowy ciężar właściwy surowca rybnego wynosi 750 kg/m^3 , grubość warstwy 12 cm , zaś czas trwania smażenia 15 min .

Rozwiązanie: Prowadzimy proste RS , ST i TW i znajdujemy odpowiedź na to pytanie. Naprężenie wagowe wynosi 300 kg na godz. z 1 m^2 zwierciadła pieca smażalnego.

Przykład 5. — Sprawdzić, czy w piecu parowo-olejowym o powierzchni zwierciadła oleju 10 m^2 i o powierzchni grzejnej równej 40 m^2 można smażyć rybę o nasypowym ciężarze właściwym 520 kg/m^3 , przy grubości warstwy 12 cm i czasie trwania smażenia 8 min .

Jeśli takie warunki pracy są możliwe, to jaka jest wydajność pieca?

Rozwiązanie: Grzejna powierzchnia właściwa pieca wynosi $4 \text{ m}^2/\text{m}^2$.

Jeśli wystawimy proste pionowe WP i $W'P'$ oraz poziomą PP' , to okaże się, że czas trwania smażenia nie może wynosić 8 min , lecz winien wynosić $15,5 \text{ min}$. Przy tym wagowa wydajność właściwa zwierciadła oleju wynosi $200 \text{ kg/m}^2/\text{godz.}$, zaś ogólna wydajność pieca wynosi 2 tony (surowca) na godzinę.

Omawiana metoda graficzna obliczania parametrów pieca parowo-olejowego, ma dużą wartość zarówno dla projektowania, jak i dla eksploatacji pieca.

Przedstawiony wykres został jednak sporządzony dla pewnych średnich warunków pracy pieca, co może mieć zastosowanie np. dla przerobu różnorodnych gatunków ryby. Jeśli w konkretnym przypadku wchodzi w grę dane znaczenie odbiegające od tych, na których opiera się załączony wykres, należy sporządzić szereg wykresów wg wyżej opisanej metody.

J. L.