ای نام تو بهترین سرآغاز

جزوه درس هیدرودینامیک (I)

(دکتر حاسمی)

گردآورنده: علی نصرالله پور (9430104)

بهار 97

(Ali.Shareh75@gmail.com)

Generated by CamScanner

"هیدرودینامیک"

تعریف هیدرودینامیک: علمی است که در مورد نیروهای وارد بر اجسام بحث می‌کند، همچنین مولفه‌های مقاومت و رانش (تراست در کشتی‌ها) را بررسی می‌کند. حرکات دینامیکی کشتی را در دریای مواج تحلیل می‌کند.

- یکی از فرایندهای طراحی کشتی مبحث محاسبات مقاومت و رانش است.

- با درک تئوری سئله در هر مبحث از نکات پایه‌ای به شمار می‌رود. اگر بخواهیم یک جسم (محصول) را طراحی کنیم:

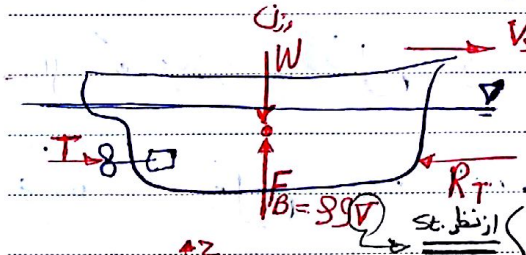
1) Theory تئوری 2) Computation محاسبات 3) Analysis تحلیل 4) Design طراحی

- بهینه سازی (optimization) { 1. تابع/توابع هدف, متغیرهای مسئله

توابع هدف (؟؟) objective Functions ←

* aim (Goal) of the Designer = { ① Minimize of Resistance مقاومت
② Maximaize of Efficiency

- حرکت کشتی در دریای آرام (Motion of ship at Calm Water): بازدهی

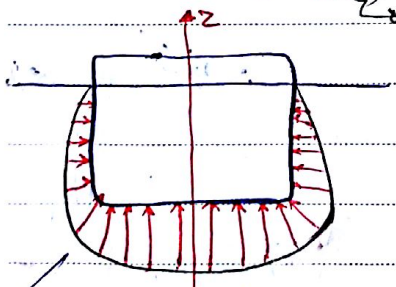


$W = LWT + DWT$
$\frac{1}{3}W$ $\frac{2}{3}W$

$\Delta = M$ جرم جابجایی (جرم کشتی) Mass Displacement

$\rho_{St.}$ از نظر $St.$ ds

ابتدا هیدرودینامیک روی دو ترم R_T و T بحث می‌کنیم.



توزیع فشار هیدرواستاتیکی بدنه

- R → Resistance مقاومت (Drag پسا)
- T → Thrust

نیروی بازدارنده در مقابل حرکت

مولفه‌های مقاومت: وقتی کشتی در دریای آرام حرکت می‌کند مولفه‌های مقاومت عبارتند از: (اصلی)

① مقاومت اصطکاکی (Frictional) ② مقاومت موج‌سازی (Wave-making) ③ مقاومت فرم (Form) ④ مقاومت ویسکوز (فشاری) (Viscouse pressure)

PqPCO

دیگر مولفه‌های فرعی هم داریم: مقاومت هوا، مقاومت شکل پاشنه و شکل سینه

Generated by CamScanner

- مقاومت اصطکاکی: یک صفحهٔ تخت را در نظر بگیرید (مطابق شکل زیر)

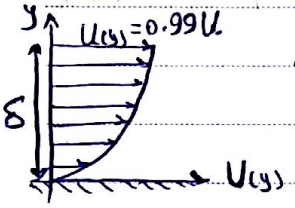
Subject:
Year. Month. Date.

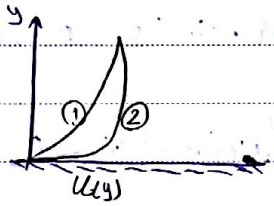


عدد رینولز $Re_x = \frac{U.x}{\nu} = \begin{cases} \text{if } Re_x \leq 2\times10^5 : \text{lam.} \\ Re_x = 10^5 \sim 10^6 \text{ (گذرا)} \\ Re_x > 10^6 \text{ یا } 2\times10^5 : \text{Turb.} \end{cases}$

ویسکوزیته سینماتیکی $\nu = 1.1\times10^{-6}\ \frac{m^2}{s}$ ، $\nu = \frac{\mu}{\rho}$

تعریف لایه مرزی (سیالات): هرگاه جریانی با سرعت U_∞ به صفحه تخت برخورد کند، لایه مرزی تشکیل می‌شود که این لایه ابتدا دارای جریان آرام است و سپس آشفته می‌شود، ضخامت لایه مرزی $\delta(x)$ به این صورت تعریف می‌شود که هرگاه $U(y)$ به $0.99U_\infty$ برسد مقدار y به δ می‌رسد.





① profile of velocity at lam. Flow

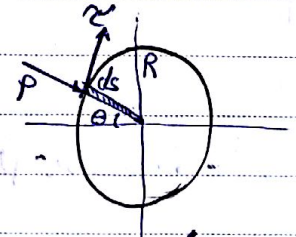
② " " " " Turb. "

★ $R_F = \tau . A$ ، $\tau = \mu \left.\frac{du}{dy}\right|_{y=0}$

- مثال: یک صفحه تخت به طول 2m و عرض 1m داریم. یک جریان با سرعت 5m/s به آن برخورد می‌کند، اگر پروفیل سرعت $U(y) = 2y^2 + 0.5y$ باشد، مقدار تنش برشی و نیروی مقاومت اصطکاکی را محاسبه کنید.

$$\tau = \mu \left.\frac{du}{dy}\right|_{y=0} = \mu(4y + 0.5)\Big|_{y=0} = 0.5\mu$$

$$R_F = \underbrace{(2\times1)}_{\text{سطح}} \times 0.5\mu = \mu = 10^{-3}\,N$$



★ تنش برشی (؟) (τ)

تنش برشی مماسی بر سطح است ولی

تنش فشاری عمود بر سطح است.

تنش فشاری (؟) (P)

- نتیجه‌گیری مهم: اساس و پایه مقاومت اصطکاکی "تئوری لایه مرزی" است.

B.L.T: "Boundary Layer Theory"

مقاومت اصطکاکی

out put of this theory: C_F: ضریب مقاومت اصطکاکی، δ: ضخامت لایه مرزی، τ: تنش برشی، R_F

Generated by CamScanner

$R_F = \frac{1}{2}\rho C_F \cdot V_s^2 \cdot S_W$ ، $R_n = \frac{V_s \cdot L}{\nu}$ ، $C_F = \frac{0.075}{(\log R_n - 2)^2}$

R_F = مقاومت سطح خیس کشتی در سرعت V_s

$$C_F = \begin{cases} C_{F_0} = \dfrac{0.075}{[\log R_n - 2]^2} & (ITTC) \\ C_{F_0} = \dfrac{0.066}{[\log R_n - 2.03]^2} & (Hughs) \\ \dfrac{0.242}{\sqrt{C_{F_0}}} = \log(R_n \times C_{F_0}) & (ATTC) \end{cases}$$

* این روابط C_F برای بدنه صاف (Fair & Smooth) تعریف شده است، اگر زبری سطح باشد رابطه زیر استفاده می‌شود.

$\delta C_F = ?$

k_s → فضاهای برجستگی (متوسط زبری سطح)

طول کشتی

RHA ≡ Roughness Hull Allowance

$$\delta C_F = \left[105\sqrt{\frac{k_s}{L}} - 0.64\right] \times 10^{-3}$$

$2\times10^{-4} < \quad < 8\times10^{-4}$

* $C_F = C_{F_0} + \delta C_F$ = Skin-Friction Coeff. + Roughness Effec.

ضریب اصطکاک پوسته‌ای — اثرات زبری سطح

* $k_s = \begin{cases} \text{new ship}: & 50 \sim 100\ (\mu m) \\ \text{old ship}: & 500 \sim 1000\ (\mu m) \end{cases}$ ، $\frac{k_s}{L} \simeq 10^{-6} \sim 10^{-5}$

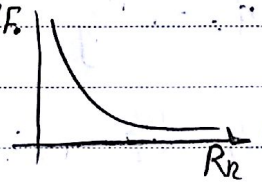
- تمرین: یک کشتی بطول 220m، عرض 30m، آبخور 12m و ضریب $C_B = 0.8$ در سرعت 22 گره دریایی در آب با آرام حرکت می‌کند. توان لازم برای راندن کشتی چقدر است؟ (مقاومت اصطکاکی را در نظر بگیرید.)

$k_s = 300\ \mu m$

$S_W = (3.4\nabla^{\frac{1}{3}} + 0.5 L_{WL})\nabla^{\frac{1}{3}}$ ، $L_{WL} = (1.01 \sim 1.04) L_{BP}$

حل: $\nabla = C_B L B T = \checkmark$ ، $S_W \checkmark$ ، $R_n = \frac{V_s \cdot L}{\nu} = \frac{22 \times 0.5144 \times 220}{10^{-6}} = \checkmark$

$C_{F_0} = \frac{0.075}{(\log R_n - 2)^2} = \checkmark$



* 1 knot = 1 Nautical Mile / hour = 1852 (m) / 3600 (s) = 0.5144 m/s

یک‌کو

$\frac{k_s}{L} = \frac{300\times10^{-6}\ m}{220\ m} = \checkmark$ ، $\delta C_F = \left(105\sqrt{\frac{k_s}{L}} - 0.64\right)10^{-3}$ ✓

$C_F = C_{F_0} + \delta C_F$ ✓ ، $R_F = \frac{1}{2}\rho(C_{F_0} + \delta C_F) V_s^2 S_W$

$= \frac{1}{2} \times 1.025 \frac{ton}{m^3} (\ \ ) \times (22 \times 0.5144)^2 S_W = \ \ (kN)$

PqPCO

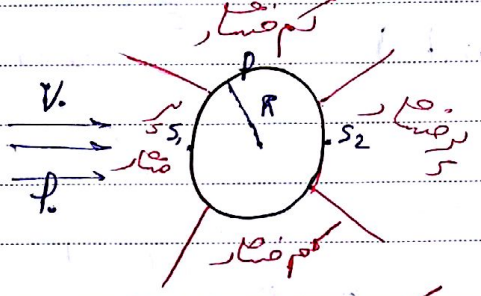
Generated by CamScanner

Subject: توان $P_E = R_F \times V_s = \alpha$ ✓

Year. Month. Date. حال اگر بازده پروانه 0.7 و بازده توان موتور دریایی برابر با: $\eta_T = \frac{P_E}{P_{Eng.}} \Rightarrow P_{Eng.} = \frac{\alpha}{0.7} = $ ✓

- مقاومت موج سازی "Rw": (Wave-making Resistance)

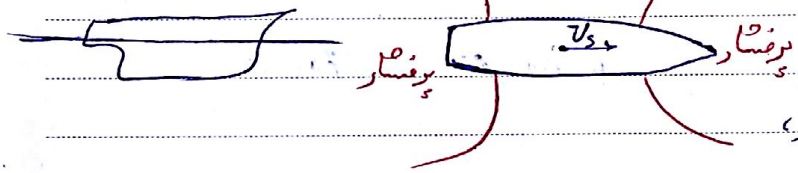
بحث را با جریان در اطراف یک سیلندر شروع می کنیم؛ در تئوری جریان پتانسیل اگر جریان یکنواخت و دایلت را با هم ترکیب کنیم یک سیلندر تشکیل می دهد که توزیع فشار در سطح سیلندر هم ایرانت با:



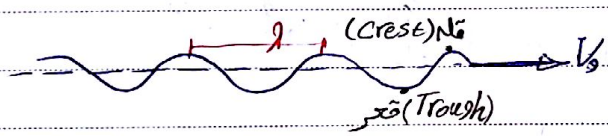
$$C_{op} = \frac{P - P_0}{\frac{1}{2}\rho V_0^2} = 1 - 4\sin^2\theta$$

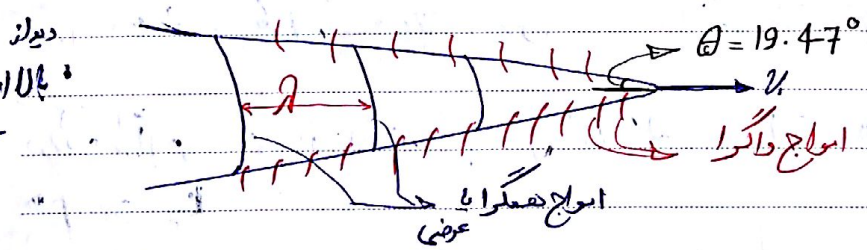
S_1, S_2 = Stagnation Points.

بررسی یک کشتی:



حرکت کشتی در دریا را هم باعث پرفشار و کم فشار، موج ایجاد می کند.



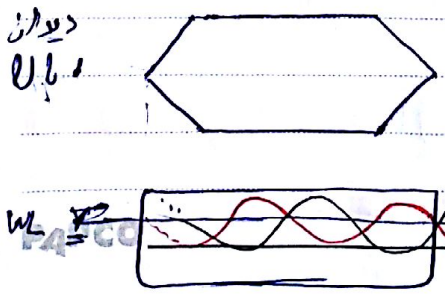


$$\theta = \sin^{-1}\left(\frac{1}{3}\right) \Rightarrow \theta = 19.47°$$

هر نقطه پرفشار یا کم فشار روی سطح با سرعت V_s حرکت کند، دو نوع موج عرضی و موج واگرا تولید می کند.

طول موج، موج عرضی λ برابر است با: $\lambda = 2\pi V_0^2/g$

حال نقاط پرفشار و کم فشار در کشتی، (یک کشتی Wedge Ship را در نظر می گیریم)



ترکیب دو تا موج پرفشار در Fp، Ap:

$$h^2 = h_f^2 + h_A^2 + 2h_f h_A \cos\varepsilon$$

Generated by CamScanner

Subject:
Year. 96 Month. 11 Date. 29 ( )

«هیدرودینامیک»

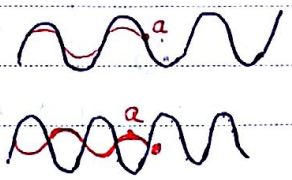
- اگر دو موج ایجاد شده در سینه کشتی و در پاشنه کشتی را با هم جمع کنیم خواهیم داشت:

h_f موج سینه با دامنه
h_a موج پاشنه با دامنه

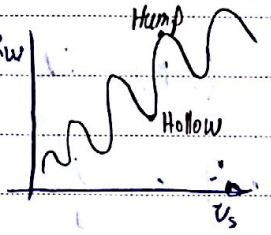
$$\text{برآیند دو موج} = h^2 = h_a^2 + h_f^2 + 2\cos\varepsilon\, h_a h_f = M + N\cos\varepsilon$$

حال اگر:

$$\text{if } \begin{cases} \varepsilon = 0 \rightarrow h^2 = M+N & \text{هم فاز (Hump)} \\ \varepsilon = 180 \rightarrow h^2 = M-N & \text{غیرهم فاز (Hollow)} \end{cases}$$



$\rightarrow R_W \propto h^2$ متناسب



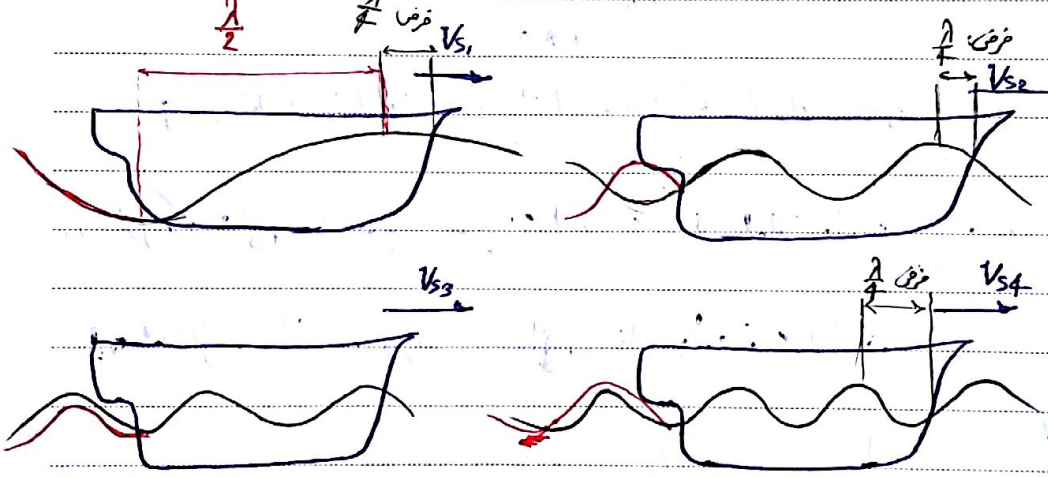
* شرایط هم فازی و غیرهم فازی تابعی از L و V_s است.

$$F_n = \frac{V_s}{\sqrt{Lg}}$$

* علت ایجاد نوسان در مقاومت موج سازی چیست؟

بعلت تداخل امواج ایجاد شده در سینه و پاشنه کشتی است.

- بررسی هاپ و هالو:



فاصله بین اولین قله موج ایجاد شده تا اولین قعر موج ایجاد شده در پاشنه در سینه

$$L_B = k\frac{\lambda}{2} \checkmark \quad \Leftarrow \quad L_B = L_{WL} - \frac{\lambda}{4} = k\frac{\lambda}{2}, \quad \lambda = 2\pi\frac{V^2}{g} \rightarrow L_{WL} = \frac{\lambda}{2}\left(k+\frac{1}{2}\right) = \frac{2V^2\pi}{2g}\left(k+\frac{1}{2}\right) \rightarrow$$

$$\rightarrow = \frac{\pi V^2}{g}\left(k+\frac{1}{2}\right) \Rightarrow L_{WL} = \frac{\pi V^2}{2g}(2k+1) \Rightarrow \frac{L_{WL}\cdot g}{V^2} = \left(\frac{2k+1}{2}\right)\pi \Rightarrow \frac{1}{F_n^2} = \frac{\pi}{2}(2k+1)$$

$$\Rightarrow F_n = \sqrt{\frac{2}{\pi}\,\frac{1}{2k+1}}$$

$k = 1, 3, 5, \ldots$ (فرد) $\Rightarrow$ هم فاز

$k = 2, 4, 6, \ldots$ (زوج) $\Rightarrow$ غیرهم فاز

k	F_n
1	$\simeq 0.5$
2	$\simeq 0.3$
3	

توجه: طراحی کشتی در اعداد زوج صورت می‌گیرد (شرایط هالو).

PqPCO

Generated by CamScanner

Subject:
Year. Month. Date. ( )

تمرین: اگر $L_B = L_{WL} - \frac{\lambda}{5}$ باشد، طول کشتی 200m باشد، سرعت طراحی؟

$L - \frac{\lambda}{5} = k\frac{\lambda}{2} = \dots$ ، $\lambda = 2\pi\frac{v^2}{g}$ $\Rightarrow F_n = \frac{V}{\sqrt{Lg}} = f(k)$

k های مختلف $(1, 2, 3, \dots)$ قرار می‌دهیم و برای این کشتی خاص $15 < F_n < 20$ قابل قبول است.

توجه: $L_B = B \cdot L_{WL}$ ، $B = \begin{cases} 0.72 & \text{Merchant} \quad \text{کشتی تجاری} \\ 0.9 & \text{Naval Vesel} \quad \text{کشتی نظامی} \end{cases}$

L_B \ k	k=1	k=2	k=3	k=4
$L_{WL} - \frac{\lambda}{4}$				
$L_{WL} - \frac{\lambda}{5}$				
$0.72\,L_{WL}$				
$0.9\,L_{WL}$				
$0.8\,L_{WL}$				

محاسبه اعداد فرود برای کشتی‌های مختلف (L_B):

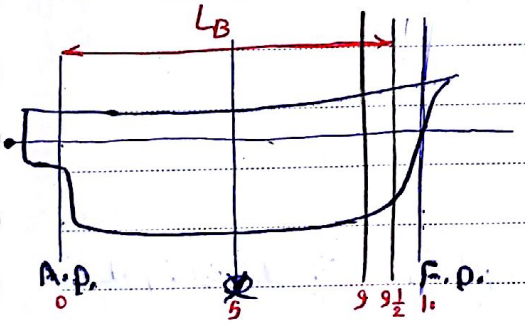
اگر $L_B = k\frac{\lambda}{2} = B.L_{WL}$ ، $\lambda = 2\pi\frac{v^2}{g}$ باشد:

$$\frac{k}{2}\,2\pi\frac{v^2}{g} = B.L_{WL} \Rightarrow F_n^2 = \frac{v^2}{Lg} = \frac{B}{k\pi}$$

$$\Rightarrow F_n = \sqrt{\frac{B}{k\pi}}$$

L_B: فاصله بین اولین قله موج ایجاد شده در سینه تا اولین تقعر موج ایجاد شده در پاشنه.

تمرین: طول یک کشتی کانتینربر 220m است. اگر اولین قله موج در ناحیه سینه کشتی در نقطهٔ (ایستگاه) $9\frac{1}{2}$ واقع شود، سرعت های پیچ و هالو را بدست آورید.



$L_B = L_{WL} - \frac{1}{20}L_{WL} = k\frac{\lambda}{2}$ ، $\lambda = 2\pi\frac{v^2}{g}$

$$\rightarrow \frac{19}{20}L_{WL} = \frac{2v^2}{g}\frac{k}{2} \rightarrow \frac{Lg}{v^2} = \frac{k}{2}\,\frac{2\pi 20}{19}$$

$$\rightarrow \frac{1}{F_n^2} = \frac{20k\pi}{19} \rightarrow F_n = \sqrt{\frac{19}{20k\pi}}$$

توجه ۱: در آب عمیق: $\lambda = 2\pi\frac{v^2}{g}$ ؛ در آب کم عمق: $\lambda = 2\pi\frac{v^2}{g}\tanh\left(\frac{2\pi\lambda}{H}\right)$ ← عمق آب

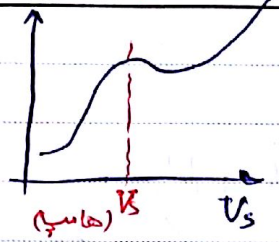
توجه ۲:

هامپ اصلی Primary Hump (k=1) ✓

هالو اصلی Primary Hollow (k=2) ✓

PAPCO

Generated by CamScanner



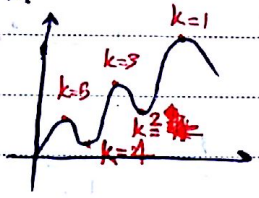
حدود فرود اصلی در هامپ تقریباً 0.5 است. سرعت

- توجه: در حال حاضر کشتی های تجاری (با آلی "20") عدد فرود شان کمتر از 0.4 است.

$$F_n = 0.5 \text{ بررسی} \rightarrow F_n = 0.5 = \frac{V_S}{\sqrt{Lg}} \xrightarrow{L=160} \frac{V_S}{40} \rightarrow V_S = 40\,kn$$

$$V_S = 20\,m/s \quad \text{(S.I)}$$

* برای محاسبه سرعت طراحی بجای k اعداد 2، 4، 6 را می گذاریم و مقدار این سه عدد را بررسی می کنیم.



k=2 Naval , k=6 VLCC , k=64 General cargo

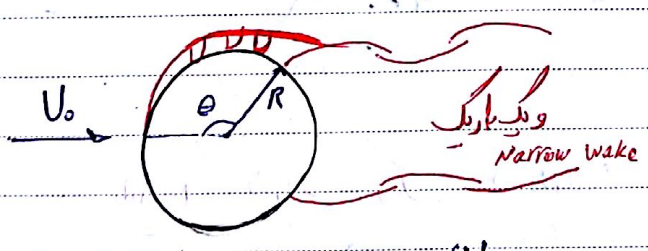
- مقاومت فرم یا مقاومت وابسته به شکل:

این مقاومت تابعی از شکل بدنه و نوع جریان (آرام یا آشفته) است، یعنی هم تابعی از ویسکوز و هم تابعی از غرو داست، در دو مولفه ی قبلی دیدیم که مقاومت اصطکاکی تابعی از ویسکوز بود و مقاومت موج تابعی از عدد فرود بوده است.

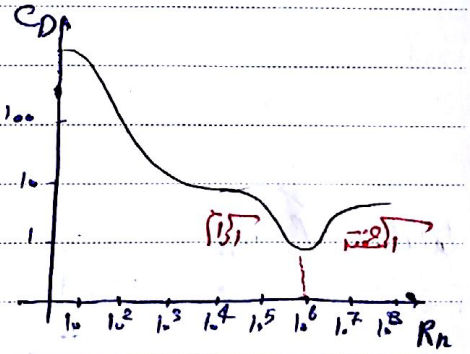
$$R_f = f(R_n) \quad , \quad R_w = f(F_n)$$

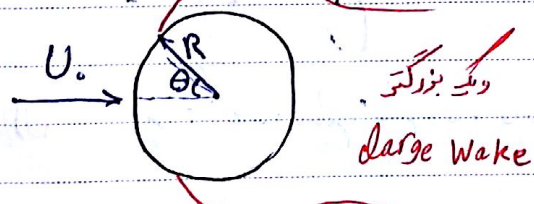
$$R_{Form} = f(F_n, R_n) \checkmark \qquad R_n = \frac{V.L}{\nu} \quad , \quad F_n = \frac{V}{\sqrt{Lg}}$$

مثال: سیلندر را بررسی می کنیم، جریان در سیلندر و جدایش جریان و ویک پشت سیلندر را بررسی می کنیم.



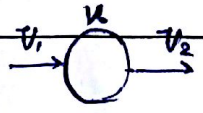
آشفته: $R_n > 10^5$ جدایش جریان $\theta = 120°$, $C_D = 0.3$





* ضریب درگ برای سیلندر برحسب R_n

* ویک = سرعت ورودی − سرعت خروجی



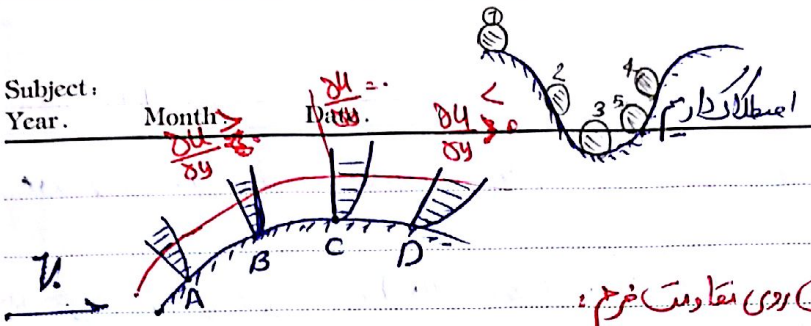
$R_n < 10^5$ $\theta = 82°$, $C_D = 1.2$

PAPCO
Generated by CamScanner

Subject:
Year. Month. Day.

جدایش: (Separation)

اصطلاحاً داریم:

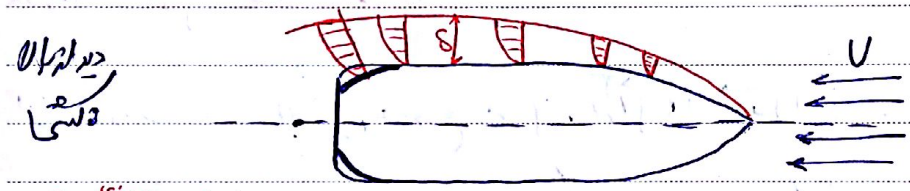


* توضیحاتی در مورد جدایش جریان و اثرات آن روی مقاومت فرم:

در شکل قبلی دیدیم که در نزدیکی دیواره مستوم میدان در نقطه C صفر شده و $\frac{\partial u}{\partial y}\Big|_{y=0} = 0$ و در نقطه D جریان معکوس (Reverse) شده است، مقاومت با جدایش جریان ارتباط مستقیم دارد، یعنی اثر جدایش باعث می‌شود تا مقاومت افزایش یابد، ایجاد جدایش تابعی از شکل جسم و سرعت جریان است.

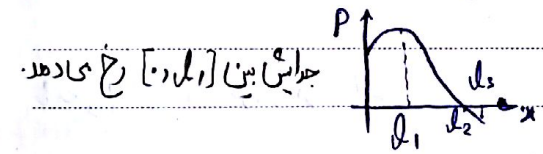
در سیلندر دیدیم با تغییرات عدد رینولز ضریب درگ تغییر کرد، برای کشتی هاهم همینطور.

* معمولاً آزمایشگاه 1، 2، 3 و 8 جدایش جریان داریم.

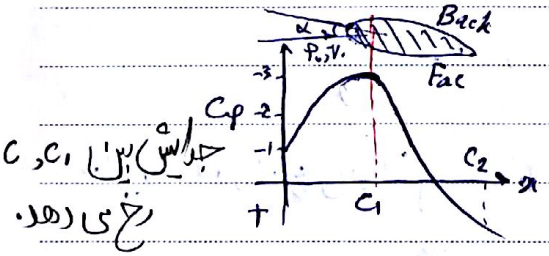


* شرط لازم برای جدایش جریان: $\frac{\partial p}{\partial x} > 0$ (فشار) باشد.

شرط کافی برای جدایش جریان: $\frac{\partial u}{\partial y}\Big|_{y=0} = 0$ باشد.

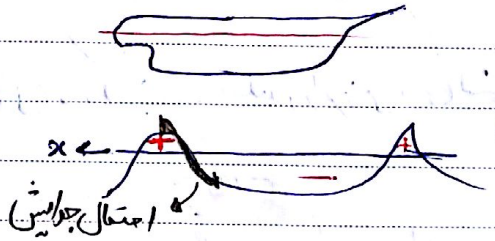


جدایش بین x_1 و x_2 رخ می‌دهد.



جدایش بین C_1 و C_2 رخ می‌دهد.

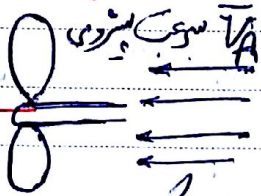
$$C_p = \frac{P - P_0}{\frac{1}{2}\rho V_0^2}$$



* یادآوری:

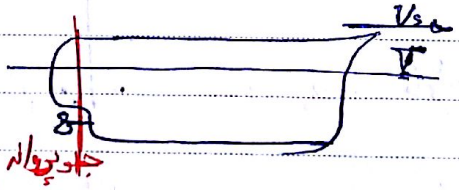
تعریف ویک: (Wake)

«ویک در پشت سیلندر»

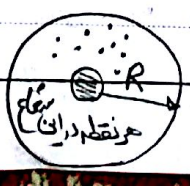


$Wake = V_S - V_A$

سرعت پیشروی = سرعت کشتی



اگر در بالادست پروانه یک مقطع بزنیم و به شعاع R پروانه سرعت جریان ورودی به پروانه را برسی می‌کنیم.



LDV = Laser Doppler Velocimeter

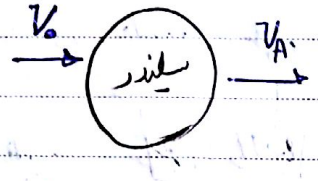
ابزار اندازه‌گیری سرعت جریان‌ها

PAPCO
Generated by CamScanner

Non Uniform $\vec{V} = V(x,y,z,t)$

Un Steady

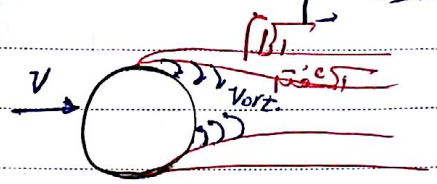
نسبت سرعت پیشروی $J = \frac{V_A}{nD}$



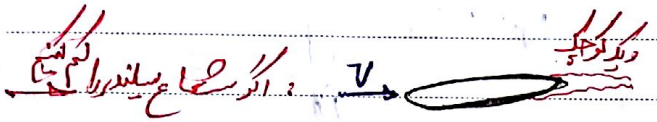
$Wake = V_0 - V_A$

$Reynolds \begin{cases} < 10^5 \\ > 10^5 \end{cases}$

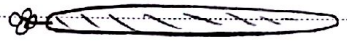
در بحث سیلندر داشتیم:



اگر جسم سیلندر را کمی کشیده کنیم:



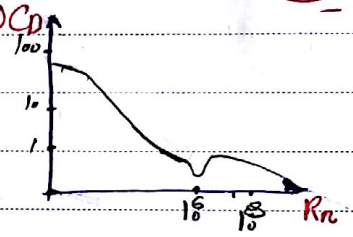
بررسی از دو حالت:

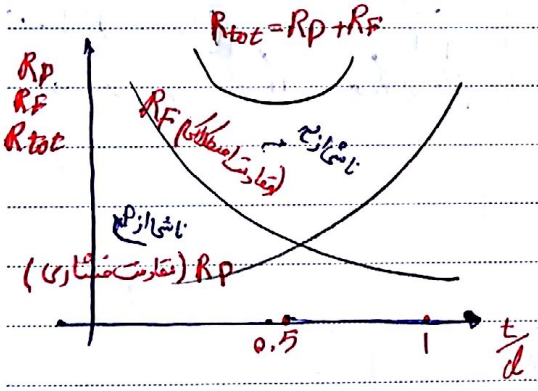


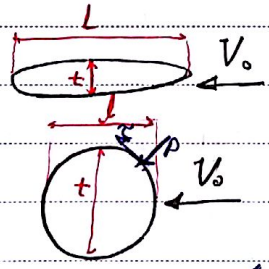
بعلت مقطع مسطح دیگر گردابه تولید می‌کند.

- سویل / مولفه مقاومت، مقاومت فرم است. یا مقاومت وسکوزفشاری یا مقاومت ورتکس یا مقاومت گردابه

$R_{form} = f(\text{شکل جسم}, \text{نوع جریان})$ یا $R_{form} = f(F_n, R_n)$

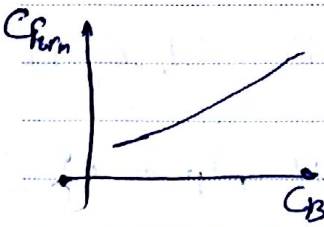


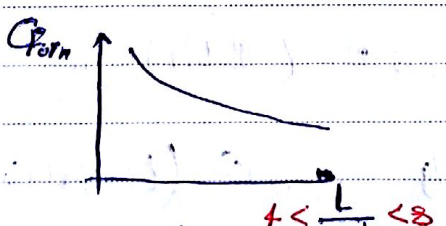




حالتی { Bluff Bodies
Slender ~ لاغر

مقاومت فرم: مقاومتی که به شکل جسم بستگی دارد و به پدیده جدایش جریان (Separation Flow) ارتباط مستقیم دارد. در کشتی‌ها این مولفه از مقاومت در حدود حداکثر 20٪ مقاومت کل بخودش اختصاص می‌دهد. هرچه نسبت لاغری $\left(\frac{L}{\nabla^{1/3}}\right)$ بزرگتر باشد این مولفه کوچک خواهد بود.





$\frac{L}{\nabla^{1/3}}$ = Slenderness ratio

کشتی‌ها تجاری بین 4 و 8 است.

$V = 1 \frac{m}{s}$

$L = 2m$

$\nu = 10^{-6}$

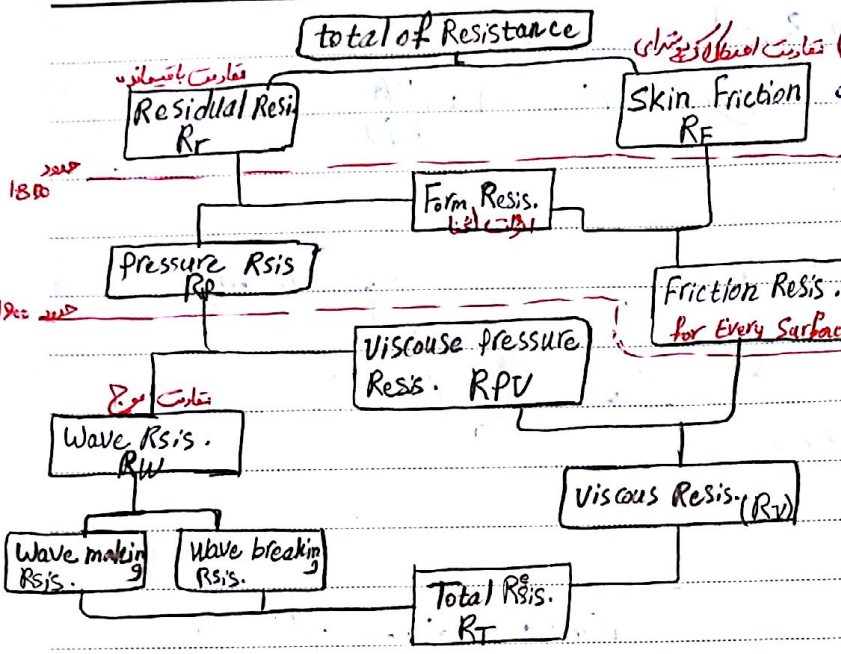
$R_n = \frac{VL}{\nu} = 2 \times 10^6$ (بدون واحد)

Turbulent

Generated by CamScanner

مولفه‌های مقاومت (یا تجزیه مقاومت) - Components of Rsistance (Decomposition)

Subject:
Year. Month. Date. ( )



* مقاومت کل کشتی ≡ مقاومت اصطکاکی پوسته‌ای + مقاومت باقیمانده

$R_r + R_F = R_{Tot}$

* آزمایش فرود Froude در سال 1850 میلادی

در انگلیس مدل کشتی را اینجا قرار داد.

$R_F = f S_w V_s^{1.852}$

L	1.	2.	3.	...
Ft	...	...	...	...

- تقسیم بندی مولفه‌های مقاومت:

مقاومت کل (R_T)

- pressure Resis (R_P)
  - Wave making Rsis. (R_W)
  - Viscouse pressure Resis. (R_{PV}) ← مولفه ترکیبی از فشار و تنش
- Skin friction Rsis. (R_F)
  - Viscouse Rsis. (R_V) (مولفه موج سازی، ویسکوز، اصطکاک پوسته‌ای)

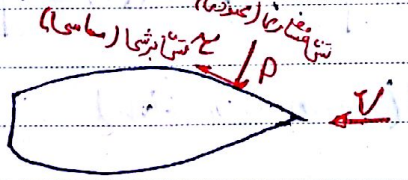
مولفه‌های مقاومت را از سه منظر می‌توانیم تقسیم کنیم:

- از منظر جهت (مقاومت مماسی یا برشی و مقاومت عمودی یا فشاری)
- از منظر انرژی (مقاومت موج و مقاومت ویسکوز)
- از منظر کلی می‌توانیم به سه دسته تقسیم کنیم

مولفه‌های مقاومت

- Energy in Wake
- Energy in Wave Pattern Well away from vehicle
- Total Energy loss

مولفه‌های انرژی



- Normal Resis.
- tangential Rsis.

- محاسبه مقاومت: (Estimation, Prediction, Calculation) محاسبه مقاومت کل کشتی به سه روش:

امکان پذیرات. ① روش تست مدل (در آزمایشگاه) ② روش حل عددی معادلات حاکم (CFD: Computation Fluid Dynamics) ③ روش Practically یا کاری Statistically

ادامه ② نرم افزاری ... CFX، Fluent

PqPCO

Generated by CamScanner

- محاسبه مقاومت با استفاده از تست مدل: برای محاسبه مقاومت وانش کشتی ها لازم است بعد از طراحی تقریبی و خطوط اولیه یک مدل مشابه کشتی بسازیم و در آزمایشگاه حوضچه کشش (Towing Tank) تست کنیم، برای این کار نیاز است شرایطی بین مدل و کشتی برقرار باشد.

اولین شرط: شرط تشابه هندسی:

S → ship
M → Model

$$\frac{L_S}{L_M} = \frac{B_S}{B_M} = \frac{T_S}{T_M} = \lambda \quad (\text{عدد مقیاس} = \lambda)$$

$$\frac{\nabla_S}{\nabla_M} = \lambda^3 \; ; \; \frac{S_S}{S_M} = \lambda^2 \qquad C_B(S) = C_B(M)$$

دومین شرط: شرط سینماتیکی (kinematic): یعنی نسبت سرعت، نسبت شتاب، نسبت مسافت، نسبت زمان

$$a_S = (?)\, a_M \quad , \quad V_S = (?)\, V_M$$

این تشابه سینماتیکی بیان می‌کند، سرعت جریان سیال در اطراف مدل و کشتی چه ارتباطی دارند. برای اینکار از نسبت سرعت پیشروی مثال ل کمک می‌گیریم.

$$J = \frac{V_A}{nD} \rightarrow J_S = J_M \rightarrow \left(\frac{V_A}{nD}\right)_S = \left(\frac{V_A}{nD}\right)_M$$

سومین و مهمترین شرط، تشابه دینامیکی (kinetic): این شرط بیان می‌کند که کلیه نیروهای وارد بر کشتی به کلیه نیروی های وارد بر مدل، نیز با یک مقدار ثابت است.

$$\frac{F_S}{F_M} = K = Cont.$$

چه نیروهایی به کشتی وارد می‌شود؟ R_W ، R_F ، R_{Form} ، F_B ، T ، نیروی لنگر پروانه

(در عمل این تشابه به طور کامل برقرار نیست!)

قبل از تشابه دینامیکی نیاز به یک آنالیز ابعادی انجام دهیم (خصوصیات سیالات):

$$R_T = f(V, L, \rho, \mu, g) \qquad \text{بی‌بعد سازی} \qquad C_T = \frac{R_T}{\frac{1}{2}\rho V^2 S} \quad , \quad C_T = f(F_n, R_n)$$

R_T: مقاومت کل کشتی — C_T: ضریب مقاومت کل

که در آن: $F_n = \frac{V_S}{\sqrt{Lg}}$ ، $R_n = \frac{\rho V L}{g} = \frac{VL}{\nu} = \frac{\text{نیروی اینرسی}}{\text{نیروی ویسکوز}} = \frac{ma}{\mu \frac{du}{dy}}$

$= \frac{\text{نیروی اینرسی}}{\text{نیروی گرانش}}$ (F_n : عدد فرود) ؛ ($R_n = \frac{\text{نیروی اینرسی}}{\text{نیروی کشش سطحی}}$: عدد رینولدز)

PqPCO
Generated by CamScanner

* نیروی اصطکاکی تابعی از رینولز است ، نیروی فشاری تابعی از فرود است ، نیروی موج سازی تابعی از فرود است ، نیروی ویسکوز فشاری تابعی از هر دو است.

Subject:
Year. Month. Date. ( )

بطور کلی نیروی موج از جنس گرانش است.

مقاومت موجسازی

* $\frac{R_{W(S)}}{R_{W(M)}} = k_1 \rightarrow F_{n(S)} = F_{n(M)} \rightarrow \frac{V_S}{\sqrt{L_S \cdot g}} = \frac{V_M}{\sqrt{L_M \cdot g}} \rightarrow V_S = \sqrt{\lambda} \cdot V_M$ ✓

$\rightarrow 15 < \lambda < 45$

طول مدل آزمایش (4m ~ 10m) $\Rightarrow 4m < L_M < 10m$

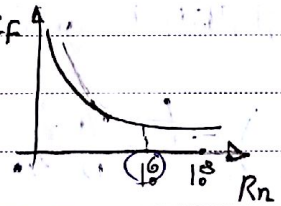
* ITTC = International Towing Tank Conference.

* $\frac{R_{F(S)}}{R_{F(M)}} = k_2 \Rightarrow R_{n(S)} \overset{?}{=} R_{n(M)} \rightarrow \left(\frac{VL}{\nu}\right)_M = \left(\frac{VL}{\nu}\right)_S \rightarrow V_M L_M = V_S L_S \rightarrow$

$\rightarrow V_M = V_S \lambda$ ← نتیجه اینکه اعداد k_1 و k_2 باهم برابرنیستند ، بنابراین در محاسبات خطا پیدا می شود. بعبارتی در این روش محاسبات همراه خطا است.

* $\frac{R_{W(S)}}{R_{W(M)}} = \frac{\frac{1}{2}\rho_S V_S^2 S_S C_{WS}}{\frac{1}{2}\rho_M V_M^2 S_M C_{WM}} = \lambda \cdot \lambda^2 \cdot \frac{C_{WS}}{C_{WM}} = \lambda^3 \frac{C_{WS}}{C_{WM}} = \lambda^3$ ← چون فرودشان برابراست

$\frac{R_{F(S)}}{R_{F(M)}} = \lambda^3 \frac{C_{F(S)}}{C_{F(M)}}$



$= \lambda^3 \frac{C_{F(S)}}{C_{F(M)}} \rightarrow > 10^6$ ←

جهت کاهش خطا در عدم تشابه کامل دینامیکی رینولز این است که برای مدل عدد رینولز بزرگتر از 10^6 تست گردد.

- روش ITTC-57 : جهت محاسبه مقاومت کشتی : ① مقاومت کل مدل را در سرعت طراحی اندازه می گیریم. $V_M = \frac{V_S}{\sqrt{\lambda}}$ ← $R_T = measure$? $\rightarrow$ $C_{T_M} = \frac{R_{T_M}}{\frac{1}{2}\rho V_M^2 S_M}$ ② ضریب مقاومت

$C_{R_M} = C_{T_M} - C_{F_M}$ ③ ضریب مقاومت باقیمانده

$R_{n_M} = \frac{V_M L_M}{\nu}$ ، $C_{F_M} = \frac{0.075}{(\log R_{n_M} - 2)^2}$: اصطکاکی مدل را محاسبه می کنیم

$C_{R(M)} = C_{R(S)}$ ④

$C_{T_S} = C_{F(S)} + C_{R(S)} + \underbrace{\delta_{C_{F(S)}}}_{\text{زبری سطح}}$ $C_{F(S)} = \frac{0.075}{(\log R_{n_S} - 2)^2}$ محاسبه ⑤

(برای کشتی ابزارات زبری سطح در نظر گرفته شود)

$R_{T(S)} = \frac{1}{2}\rho C_{T(S)} V_S^2 S_S$ ⑥ مقاومت کل کشتی ، توان کل $P_E = R_T \cdot V_S$

PqPCO

V_S, V_M : ویسکوزیته سینماتیکی آب در مدل و کشتی

Generated by CamScanner

"هیدرودینامیک"

روش محاسبه δCF (اثرات زیری سطح):

1) $\delta CF = 0.35\times10^{-3} - 2\,C_{lpp}\times10^{-6}$

2) $\delta CF = 0.11\,(R_n\times10^{-9} - 2.1 - a)^2 - a + 0.62$, $a = \max(0.6, \min(C_B, 0.8))$

پس 30، 40 سال روش جایگزین ITTC-57.

روش ITTC-78: در این روش مقاومت را به 3 مولفه تقسیم می‌کنیم:

$R_T = R_W + R_F + R_{Form}$

مراحل روش محاسبات بصورت زیر است: ① در سرعت طراحی شناور (V_S) مقدار V_M را بدست می‌آوریم

$V_M = \frac{V_S}{\sqrt{\lambda}}$ مدل مشابه کشتی را در این سرعت V_M تست نموده و مقدار R_{TM} را اندازه می‌گیریم. (از دینامومتر

در آزمایشگاه TT) ② $C_{FM} = \frac{0.075}{(\log R_{nM} - 2)^2}$ ③ $C_{TM} = \frac{R_{TM}}{\frac{1}{2}\rho V_M^2 S}$ ④ $C_W = C_{TM} - (1+k)\,C_{FM}$

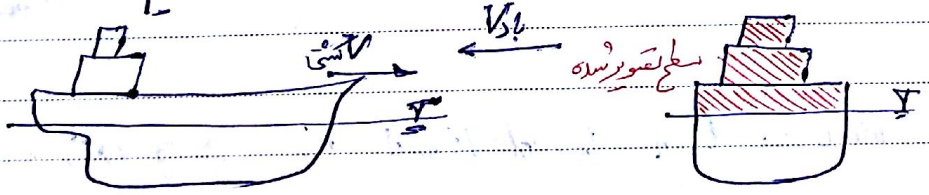
k فاکتور فرم است. $C_{Form} = k.C_{FM}$. توجه داشته باشید C_W ، k برای مدل و کشتی یکسان هستند.

یادآوری: تفاوت این روش با روش ITTC-57 در $C_{TS} = C_W + (1+k)C_{FS} + \delta CF + C_{Air}$ ⑤

$C_{Air} = 0.001\frac{A_T}{S_{WS}}$, $C_{FS} = \frac{0.075}{(\log R_{nS} - 2)^2}$ ⑥ , $R_T = R_{Form} + R_W + R_{air}$ مقاومت باد نسبی است.

$R_{TS} = \frac{1}{2}\rho C_{TS} V_S^2 . S_{(S)}$ ⑦ $\delta CF = \left(105\sqrt[3]{\frac{k_S}{L}} - 0.64\right)10^{-3}$ (k_S: معادل زبری، L: طول کشتی) . A_T: Frontal Area

A_T: سطح بالای خط آب را تصویر می‌کنیم و سطح تصویر شده را بعنوان A_T در نظر می‌گیریم.



مثال: A Ship Model (Scale $\lambda=23$) was tested in fresh water with

$R_{TM} = 104.1\,(N)$, $V_M = 2.064\,(m/s)$, $S_M = 10.671\,(m^2)$, $L_m = 7.187\,(m)$, $\rho_m = 1000\,(kg/m^3)$

; $\rho_S = 1026\,(kg/m^3)$; $\nu_m = 1.14\times10^{-6}\,(m^2/s)$, $\nu_S = 1.19\times10^{-6}\,(m^2/s)$

What is the pridiction for the total Calm-Water Resistance in Sea

PqPCO
Generated by CamScanner

Water of the full-scale ship following ITTC-57 = ?

Subject:
Year. Month. Date. ( ) Assume $\delta CF = 0.0002$

(book Site. elsevier.com/9780.8097/1566 : Bertram سایت کتاب)

Solution: $l_S = \lambda l_M = 165.3\,m$, $V_S = V_M\sqrt{\lambda} = 9.899\,\frac{m}{s}$

$S_S = \lambda^2 S_M = 5645\,m^2$, $R_{nM} = \frac{V_M l_M}{\nu_M} = 1.301\times10^{7}$, $R_{nS} = \frac{V_S L_S}{\nu_S} = 1.375\times10^{9}$

$C_{fM} = \frac{0.075}{(\log R_n - 2)^2} = 2.867\times10^{-3}$, $C_{fS} = \frac{0.075}{(\log R_{n_S} - 2)^2} = 1.472\times10^{-3}$, $R_{SM} = \frac{1}{2}\rho C_{FM} V_M^2 S_M = 65.1$ (N)

$R_{SS} = \frac{1}{2}\rho C_{FS} V_S^2 S_S = 417.7\,(kN)$, $R_{RM} = R_{TM} - R_{FM} = 104.1 - 65.1 = 39\,N$

$C_{RM} = \frac{R_{RM}}{\frac{1}{2}\rho V_M^2 S_M} = 1.718\times10^{-3} = C_{RS}$, $C_{TS} = C_{RS} C_{FS} + \delta CF = (1.718 + 1.472 + 0.2)10^{-3} = 3.39\times10^{-3}$

$R_{TS} = \frac{1}{2}\rho C_{TS} V_S^2 . S_S = 962.9\,(kN)$, $V_S = 9.899\,\frac{m}{s}$ $V_S = \frac{9.899}{0.5144}$

Ex.2: An under Water Vehicle shall be tested to make a Resistance پیش‌بینی کردن prediction. A Streamline body (بدنه‌ی باریک) is tested in a Wind Tunnel (تونل باد). the following data is given:

$l_M = 1.5\,(m)$, $S_M = 1.2\,m^2$, $V_M = 30\,\frac{m}{s}$, $T = 25\,^\circ C$

the density and viscousity of air at Standard atmospheric Pressure are

$\rho = 1.293\,\frac{273}{T+273}\,(\frac{kg}{m^3})$; دما $(^\circ C)$, $\mu = 10^{-5}(1.723 + 0.0047T)(\frac{kg}{ms})$

The Model Resistance measured in Wind Tunnel is 3.9 (N).

The full-Scale Vehicle is 9m, long and operated (عمل کردن) in the ocean (اقیانوس) at 15°C ($\rho = 1026\,\frac{kg}{m^3}$, $\nu = 1.19\times10^{-6}\,\frac{m^2}{s}$)

الف) کدام یک از قانون (Similarity law) برقرار است؟

ب) مقاومت مقیاس کامل چقدر است؟ (مقاومت کشتی)

PAPCO

Generated by CamScanner

ج) مقاومت کشتی براساس ITTC-78 در سرعت $2\frac{m}{s}$ چقدر است؟

د) در چه شرایطی تشابه کامل دینامیکی برقرار است؟

الف) چون بشناور بطور کامل در زیر آب هست R_W نداریم (چون موج نداریم)، تشابه فرود هم نداریم

چون فرود برای کشتی روی آب است بنابراین تشابه رینولز برقرار است: $R_{nS} = R_{nM}$

$\rho_M = 1.1845 \frac{kg}{m^3}$, $\mu_M = 1.84\times10^{-5}(\frac{kg}{m.s})$, $\nu_M = \frac{\mu}{\rho} = 1.55\times10^{-5}(\frac{m^2}{s})$

$R_{n_M} = \frac{V_M L_M}{\nu_M} = 2.896\times10^6 = R_{n_S} = \frac{V_S l_S}{\nu_S} \rightarrow V_S = 0.3829(\frac{m}{s})$

ب)

$C_{TM} = \frac{R_{TM}}{\frac{1}{2}\rho V_M^2 S_M} = 6.097\times10^{-3}$, $S_S = S_M(\frac{\lambda l_S}{l_M})^2 = 43.2\,m^2$

چون رینولز برقرار است $R_{nM} = R_{nS} \Rightarrow C_{TS} = C_{TM}$

$\rightarrow R_{TS} = \frac{1}{2}\rho_S C_{TS} V_S^2 S_S = \frac{1}{2}\times1026\times6.097\times10^{-3}\times0.3829^2\times43.2 = 19.8(N)$

ج)

$R_W = 0$ ، $R_V = (1+k)R_F = R_F + R_{Form} = R_T$ ، $R_{Form} = kR_F$ (مقاومت ویسکوز)

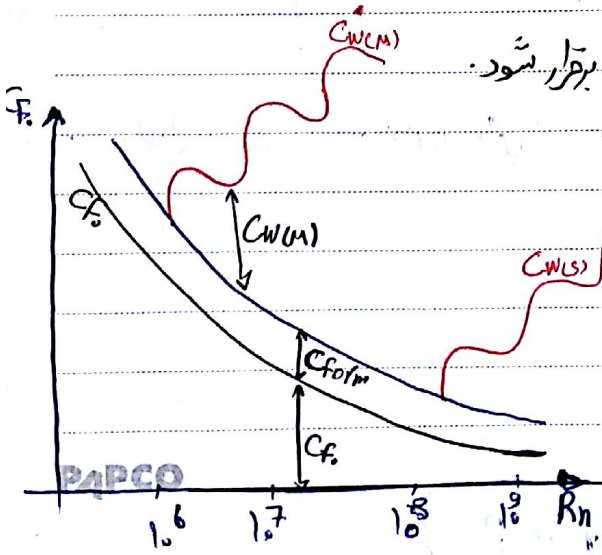
$C_{F_M} = \frac{0.075}{(\log R_{n_M} - 2)^2} = 3.767\times10^{-3}$

$1+k = \frac{C_T}{C_F} = 1.6185$ (در واقع $\left\{\frac{R_T}{R_F} = \frac{C_T}{C_F}\right\}$ $\left\{\frac{R_T}{R_W} = \frac{C_T}{C_W}\right\}$)

$R_{n(S)} = \frac{VL}{\nu} = \frac{2\times9}{1.19\times10^{-6}} = 15.12\times10^6$, $C_F = \frac{0.075}{(\log R_n - 2)^2} = 2.795\times10^{-3}$

$\rightarrow C_T = (1+k)C_F = 1.6185\times2.793\times10^{-3} = 4.52\times10^{-3}$, $R_T = \frac{1}{2}\rho C_T V_S^2 S_S \doteq 401(N)$

د) باید در اقیانوس در دمای حدود $-163^\circ C$ تست شود تا رینولز برقرار شود.



- نمودار مولفه‌های مقاومت بر حسب رینولز:

① نمودار ضریب اصطکاکی بر حسب رینولز. $C_{f_0} = \frac{0.075}{(\log R_n - 2)^2}$

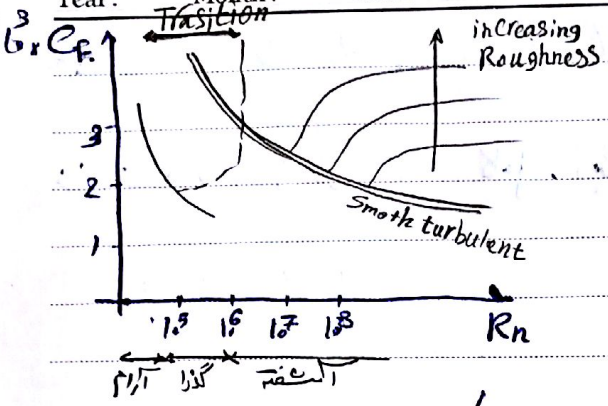
② نمودار ضریب مقاومت فرم ~ ~ ~ $C_{Form} = kC_{f_0}$

③ ~ ~ ~ ~ موج سازی ~ ~ ~

Generated by CamScanner

$C_{T(M)} = C_{F(M)} + C_{Form(M)} + C_{W(M)}$, $C_{T(S)} = C_{F_0(S)} + C_{Form(S)} + C_{W(S)}$

Subject:
Year. Month. Date. ( ) $\Rightarrow C_{W(S)} = C_{W(M)}$, $C_{T(M)} > C_{T(S)}$

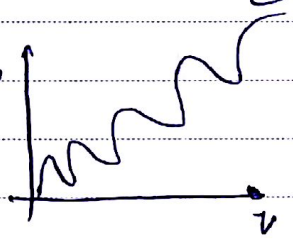


$R_n > 10^6$ آشفته
$10^5 < R_n < 10^6$ گذرا
$R_n < 10^5$ آرام

ضریب مقاومت دیسکار: $C_V = C_{F_0} + C_{Form} = (1+k) C_{F_0} \Rightarrow \frac{C_V}{C_{F_0}} = 1+k$

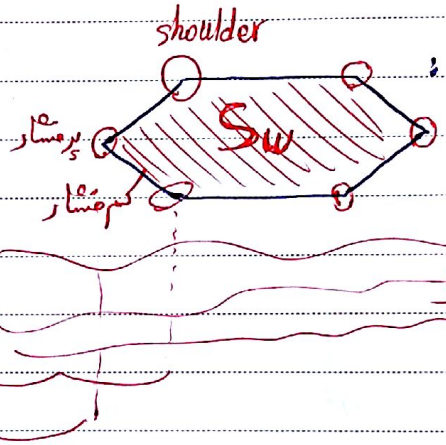
- روش هاگنر: (Heughs Methods) بطور کلی مقاومت موج سازی متوان 6 ام سرعت متناسب است.

$R_W \propto V_S^6$ ↓ چون تداخل موج سینه و پاشنه کشتی و همچنین امواج shoulder است



$R_W = k_2 V^6$

نمای بالای کشتی:

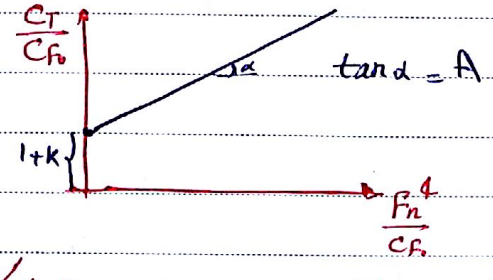


$C_W = \frac{R_W}{\frac{1}{2}\rho V^2 S} \rightarrow C_W \propto V^4$

$F_n = \frac{V_S}{\sqrt{Lg}} \rightarrow C_W \propto F_n^4 \Rightarrow C_W = A F_n^4$

$C_T = (1+k) C_{F_0} + C_W = (1+k) C_{F_0} + A F_n^4 \rightarrow \frac{C_T}{C_{F_0}} = (1+k) + (\tan\alpha) \frac{F_n^4}{C_{F_0}}$

$\frac{C_T}{C_{F_0}} = (1+k) + A \frac{F_n^4}{C_{F_0}}$ $\quad y = b + Ax$



- فرمولهای تجربی (کاربردی) برای محاسبه k (فاکتور فرم):

① Watanabe: $k = -0.095 + 25.6 \frac{C_B}{(\frac{L}{B})^2 \sqrt{\frac{B}{T}}}$

② Conn & Foguson: $k = 18.7 \left[C_B \frac{B}{L} \right]^2$

③ GrigSon (ITTC تایید): $k = 0.028 + 3.3 \left(\frac{S_W}{L^2} \sqrt{C_B \frac{B}{L}} \right)$

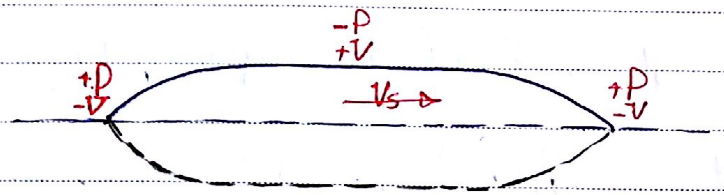
P4PCO
Generated by CamScanner

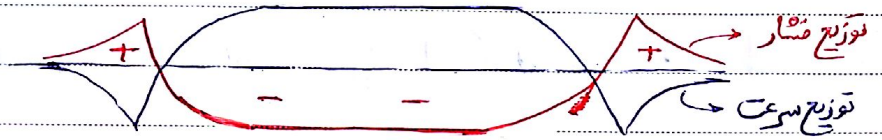
Subject:
Year. 96 Month. 12 Date. 7 ( )

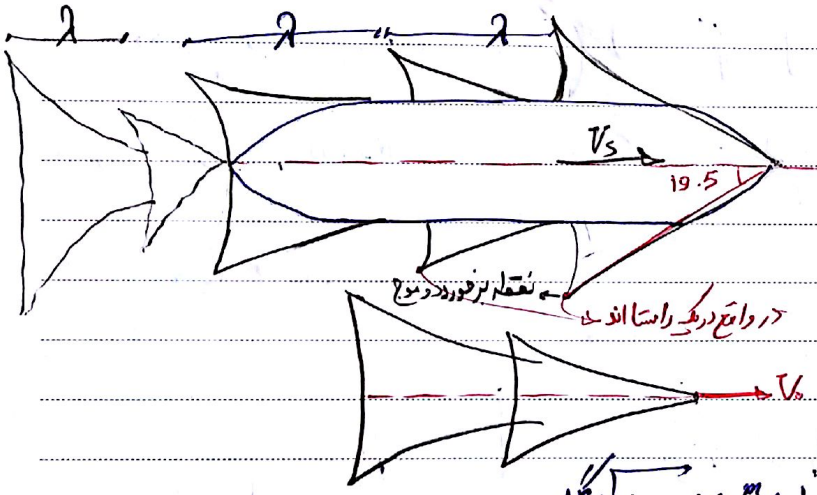
هیدرودینامیک

Book کتاب : Ship Resistance & Propulsion 2011 By: Moland Turnock, Hudson
دانشگاه ساوت هامپتون انگلیس

- الگو موج کلوین: یک کشتی با سرعت V_s حرکت می‌کند. سرعت و فشار بصورت نمودار زیر در راستای طولی کشتی می‌باشد.







عمیق $\frac{\text{عمق دریا}}{\text{طول کشتی}} = \frac{d}{T} > 5$

آب عمیق { Deep Water
shallow ≈
intermediate ≈

- مثال: یک مدل 6 متری برای طراحی یک کشتی بطول 180 m در آزمایشگاه حوضچه کشتی استفاده شده است، سرعت مدل را در $1.61 \frac{m}{s}$ توسط نیروی درگ، نیروی 20(N) اندازه‌گیری شده است. سطح خیس مدل $4m^2$ می‌باشد، مطلوب است سرعت متناظر کشتی و توان موثر؟ با فرض اینکه ضریب مقاومت مستقل از مقیاس باشد. (برای سادگی محاسبات)

$Scale = \frac{180}{6} = 30$

$V_S = V_M \sqrt{\lambda} = 1.61 \times \sqrt{30} = 8.824 (\frac{m}{s}) = 17.15 (knots)$, $F_n = \frac{V_s}{\sqrt{Lg}} = \frac{8.824}{\sqrt{180 \times 10}} = 0.21$ (بی‌بعد)

$(C_{T(S)} \simeq C_{T(M)}$ فرض) $C_{TM} = \frac{R_{TM}}{\frac{1}{2} \rho V_M^2 S}$, $R_{TS} = \frac{1}{2} \rho C_T V_S^2 S_S = \lambda^3 \cdot C_{TS}$

$\frac{R_{TS}}{R_{TM}} = \frac{\frac{1}{2} \rho_S V_S^2 C_{TS} S_S}{\frac{1}{2} \rho_M V_M^2 C_{TM} S_M} = \lambda \cdot \lambda^2 = \lambda^3$ $R_{TS} = \lambda^3 \cdot R_{TM} = 30^3 \cdot 20 = 540 (kN)$

$\rightarrow P_{F(S)} = R_{TS} \cdot V_S = 4771 (kW)$

PqPCO

$\Delta_S = \Delta_M \Rightarrow \rho_S \cdot \nabla_S = \rho_M \cdot \nabla_M$

Generated by CamScanner

- مقاومت ضمائم (APPendages Resis.) : کشتی در حالت ابتدایی و طراحی مقدماتی بصورت Bare hull است یعنی بدون ضمائم می‌باشد. تا هم حال مباحثی که خدمتشان داشتیم محاسبه مقاومت کشتی که شامل سه ترم مولفه (1) اصطکاکی (2) موج سازی (3) مقاومت فرم. همه این سه مولفه برای بدنه بدون ضمائم بوده است و در آب آرام Still (calm) Water ، Bare hull محاسبه مقاومت

اما کشتی در حالت واقعی وارد دریای طبیعی که امواج دارد محاسبه مقاومت در شرایط امواج و با ضمائم (Appendages) باید مورد بررسی قرار گیرد. اما ملحقات (ضمائم) شامل چه چیزهایی است؟

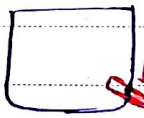
① پروانه و سکان ② براکت ، shafts ③ بیلج ④ Bow Thruster یا Aft Thruster

⑤ Sonar dome

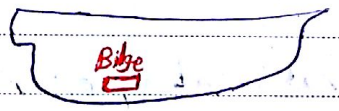
* Bilge { 1- active فعال / 2- passive غیرفعال

* هدف از بیلج: کاهش حرکت رول کشتی

بیلج فعال → Fin Stabilizer فین متعادل کننده



در مواقع ضروری فین از محل خودش بیرون می‌آید و مورد استفاده قرار می‌گیرد.

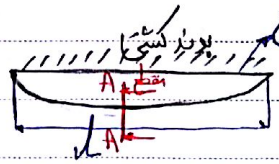


فین‌ها شبیه بال هستند و از این مقطع NACA است.
← در واقع ناسا امروزی

National Advisay Council for Aeronation

* Foil = Wing

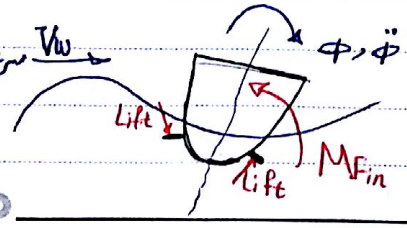
محاسبه مقاومت بیلج غیرفعال: Passive بیلج





اغلب از ح به دلیل کوچکی صرف نظر می‌کنیم.

$$D_B = \frac{1}{2}\rho S V^2 C_F \left[2 - \frac{2z}{x+y}\right]$$

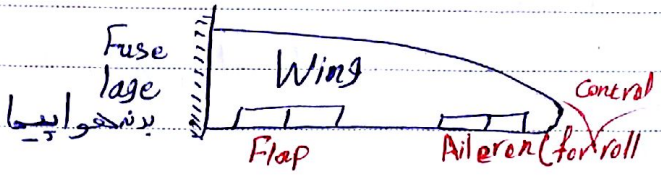


* Active Fin (Fin Stabilizer) :

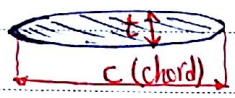
Generated by CamScanner

* Control Surface: Fin stabilizer, Rudder, Flap, Aileron, Trim-Tab,
(درهواپیما) (درشناور تندرو)

Interceptor, Hydro Plan
(درشناورهای تندرو) (درزیردریایی)



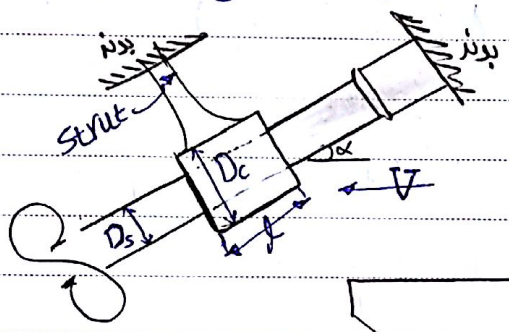
درگ (مقاومت) سطوح کنترل (C.S.) با ضخامت t و کورد c:



$C_D = C_F\left(1+2\left(\frac{t}{c}\right)+60\left(\frac{t}{c}\right)^4\right)$, $R_{c.s.} = \frac{1}{2}\rho C_D V^2 . S$

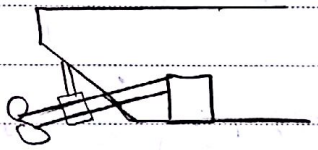
$\begin{cases} S = \text{Span} \times \text{chord} \times 2 \\ V: \text{سرعت کشتی} \end{cases}$

درگ Shaft & Bossing



درگ شفت

$D_{shaft} = \frac{1}{2}\rho l_{SH} D_S V^2 (1.1 \sin^3\alpha + \pi C_f)$



رابطه کلی برای محاسبه قسام R:

$R_{APP} = \frac{1}{2}\rho V_S^2 C_F (1+k_2)_E \sum S_{APP} + R_{BT}$ (از هولتروپ)

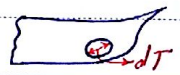
where: $(1+k_2)_E = \frac{\sum (1+k_2) S_{APP}}{\sum S_{APP}}$

Appendes نوع	k_2+1
Bilge keels	1.4
Shafts	2-4
Stabilizer Fins	!

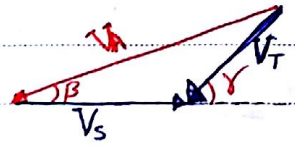
$R_{Bt} = \pi \rho V_S^2 d_T C_{BT}$

Bow truster

$C_{BT} = (0.003 \sim 0.012)$



مقاومت هوا (Air Resistance): اگر سرعت کشتی V_S و سرعت باد V_T باشد.



$R_{Air} = \frac{1}{2}\rho_A C_D A_P V_A^2$

$\rho_A = 1.25\ kg/m^3$, A_P: سطح تصویر شده کشتی در بالای WL , $C_D = 0.9 \sim 1.1$

$V_A^2 = V_S^2 + V_T^2 + 2 V_T V_S \cos(\pi - \gamma)$

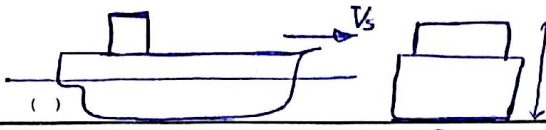
نوع کشتی	درصد مقاومت هوا
Tanker	2
Container	4
Ferry	3
Passenger Ship	6
Bulk Carrier	2-3

محدوده سرعت باد: 15 تا 25 گره دریایی

Generated by CamScanner

Subject:
Year. Month. Date. ( )

- مقاومت آیرودینامیک کشتی :



$B=20$
$h=20$

سطح بالایی خط آب

$R_{Air} = \frac{1}{2}\rho C_D V_s^2 \cdot S_{Proj} = \frac{1}{2} \times 1.25 \times 1 \times 10^2 \times 20 \times 20 = 20\,kN$

(← ساحت تصویر شده)

* حداکثر مقاومت باد : ٪۱۰ کل مقاومت کشتی را می‌تواند بخودش اختصاص دهد

* کشتی های Passengership بیشترین درصد مقاومت کشتی را دارند.

«فصل بعد»

حرکت کشتی در (Shallow Water) و در کانالها.

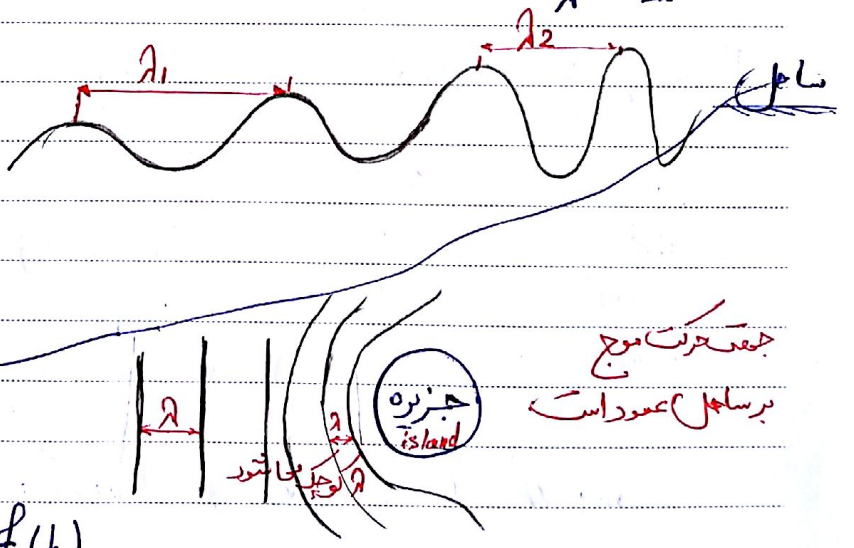
اگر $\frac{h}{\lambda} \geq \frac{1}{2}$ باشد (h: عمق دریا ، λ: طول موج) ← آب عمیق (deep Sea).

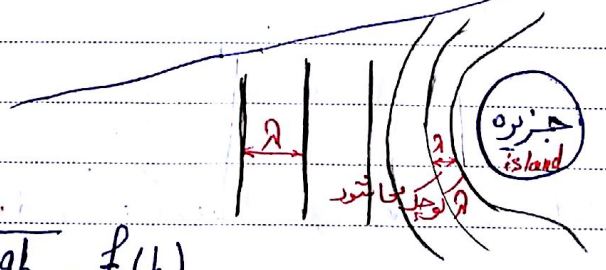
$\lambda = \frac{2\pi V_s^2}{g}$ مبدا داشتیم ، $V_w = \sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi}}$ سرعت موج

اگر $\frac{h}{\lambda} \leq \frac{1}{20}$ باشد ← دریای کم عمق (Shallow Water)

$V_w = \sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi}} \tanh\left(\frac{2\pi h}{\lambda}\right)$

عمق	λ	سرعت	مکانیکی	راننده
کم عمق	کم	کم	زیاد	زیاد
عمیق	زیاد	زیاد	کم	کم





جهت حرکت موج برساحل عمود است

* Shallow Water $V_w = \sqrt{gh} = f(h)$

$F_{nh} = \frac{V_s}{\sqrt{gh}}$ عدد فرود عمقی

- $F_{nh} < 0.5$ عمیق
- $F_{nh} = 1$ critical عدد فرود عمق بحرانی
- $0.5 < F_{nh} < 1$ Sub-critical
- $F_{nh} > 1$ Super Critical

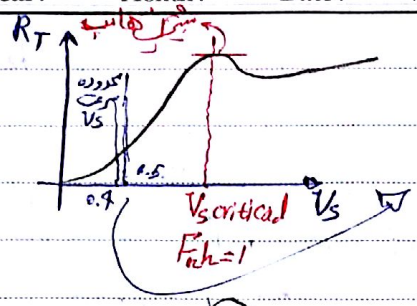
اگر کشتی با سرعت V_s در دریایی با عمق h حرکت کند ، عدد فرود $F_{nh}=1$ عدد بحرانی است یعنی

سرعت بحرانی کشتی است. در این سرعت بیشترین مقاومت را داریم. $V_{s\,critical} = \sqrt{gh}$

PqPCO

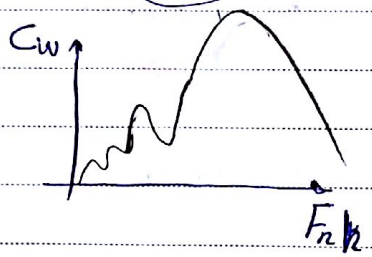
Generated by CamScanner

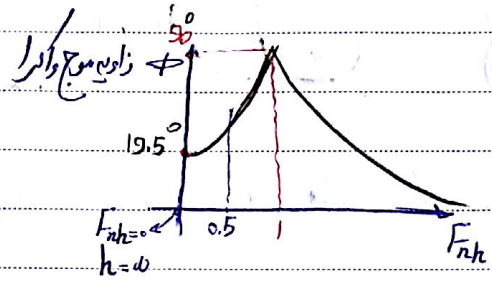
Subject :
Year . Month . Date . ( )

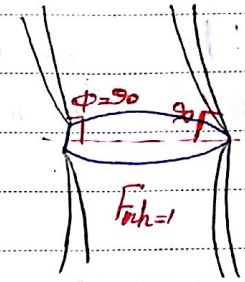


در عمل سرعت کشتی در آب کم عمق باید $(40\sim50)\%V_S$ باشد.

در آب عمیق $V_S = 20\,kn$
$F_{nh}=1$ در $V_S \le 10\,kn.t$



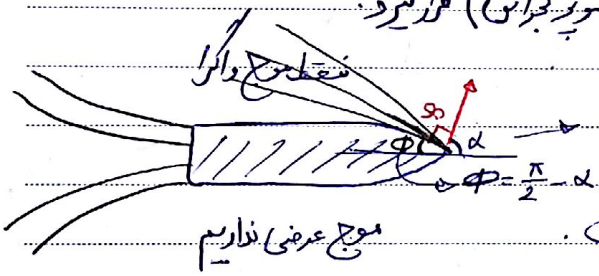




no Transverse Wave
only Doversent

در نتیجه موجب ایجاد موج ایزولد می‌شود (موج ایزولد $\lambda=\infty$).

فرض کنید که کشتی از $F_{nh}=1$ عبور کند و در ناحیه $F_{nh}>1$ (سوپر جرانی) قرار گیرد.

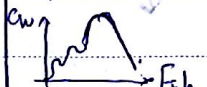


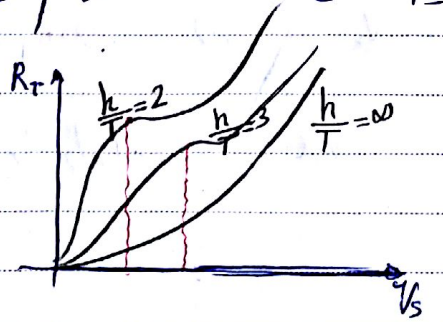
$\alpha = \cos^{-1}\left(\frac{1}{F_{nh}}\right) \quad F_{nh}>1$

موج عرضی نداریم

شبه حرکت شناور تندرو در عدد فرود $F_{nh}>2$ است.

حرکت کشتی در $F_{nh}>1$ شبه حرکت شناور تندرو در عدد فرود طولی بزرگتر از 2 است.

	$F_{nh}<0.5$	$0.5<F_{nh}<1$	$F_{nh}=1$	$F_{nh}>1$
Φ_w	$\Phi=19.5^\circ$	$20<\Phi<90$	$\Phi=90^\circ$	$\Phi<90^\circ$
C_W		~~دارد~~	~~موج ایزولد~~	~~دارد~~
موج واگرا	دارد	دارد	موج ایزولد	دارد
موج عرضی	دارد	دارد (رو به زوال است)	ندارد	ندارد



h: عمق دریا
T: آبخور کشتی

* هر چه قدر $\frac{h}{T}$ کوچک باشد مقدار $V_{S\,critical}$ کاهش می‌یابد.

P4PCO

Generated by CamScanner

* **Loss of Speed:** کاهش سرعت کشتی در عمق $\frac{\Delta V}{V} = 0.1242\left[\frac{A_M}{h^2} - 0.05\right] + 1 - \left[\tanh\left(\frac{gh}{V^2}\right)\right]^{0.5}$

Subject: Year. Month. Date. ( )

$C_M \cdot B \cdot T = S_{\text{کشتی}} = A_M$: سطح مقطع عرضی کشتی ، h : عمق دریا

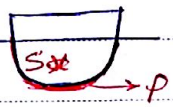
in canal: $\frac{V_h}{V_\infty} = 1 - 0.09\left[\frac{\sqrt{A_M}}{R_H}\right]^{1.5}$

V_∞ : سرعت کشتی در آب عمیق ، R_H : شعاع هیدرولیک

V_h : سرعت کشتی در کانال ، P : محیط مقطع میانی کشتی

h : عمق کانال ، b : عرض کانال

$R_H = \frac{bh}{b+2h} = \frac{bh - A_m}{(b+2h+P)}$



$S_{\text{کشتی}} = A_M$

EX: A cargo Vessel has $L = 135\,m$, $B = 22\,m$, $T = 9.5\,m$, $V_s = 13\,knot$

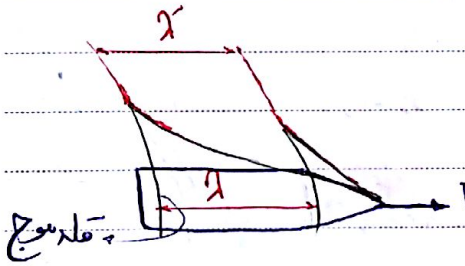
الف) Speed loss?

ب) When Travelling the same power in $h = \infty$, $h = 14\,m \longrightarrow V_h = ?$

ج) $b = 200\,m$, $h = 14\,m \longrightarrow V_h = ?$

river

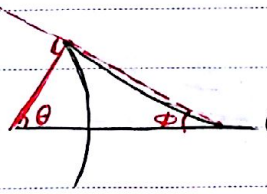
* $\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^3$, $\frac{R_1}{R_2} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^2$ $\qquad A.C. = \frac{\Delta^{\frac{2}{3}} V_s^3}{P_s}$



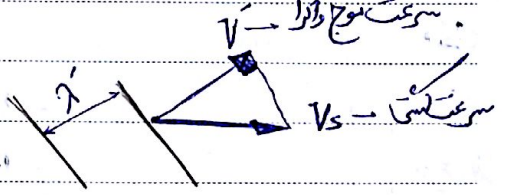
موج عرضی و موج واگرا: دونوع موج در کشتی داریم: ① موج عرضی که λ' است

② موج واگرا که λ' است. $\lambda' = \lambda \cos^2\theta$

طول موج عرضی $\lambda = 2\pi \frac{V_s^2}{g}$ طول موج واگرا: $\lambda' = 2\pi \frac{V_s^2}{g}\cos^2\theta$



$\begin{cases} \phi = 19.47 \\ \theta = 70 \end{cases}$



لازم به ذکر است اگر سرعت کشتی V_s باشد، سرعت موج عرضی ایجاد شده با همان سرعت V_s برابر است ولی سرعت موج واگرا برابر است $V_s \cos\theta$

V_s : سرعت کشتی

V_s : موج عرضی ~ $\lambda' = \lambda \cos^2\theta$

$V_s \cos\theta$: موج واگرا ~

مقدار θ در آب عمیق تقریبا برابر $70°$ است.

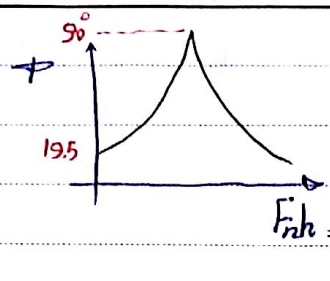
اگر آب کم عمق باشد موج عرضی نداریم و فقط موج واگرا داریم یعنی در $F_{nh} > 1$ کشتی در شرایطی قرار می‌گیرد که

PaPCO

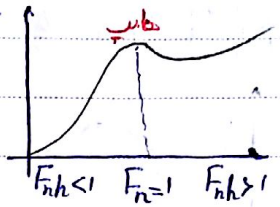
از مقطع هایپ اصلی عبور کرده و در شرایط پلنینگ قرار می‌گیرد.

Generated by CamScanner

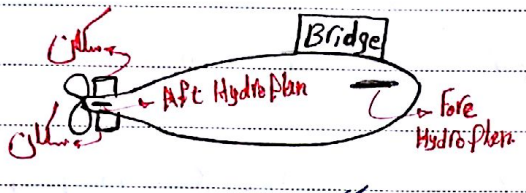
هیدرودینامیک

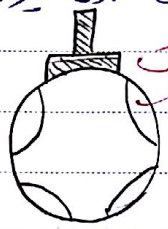


ضریب مقاومت کل C_T



- مقاومت زیردریایی (Sub marine): اگر عمق غوطه وری زیردریایی بیشتر از 5D باشد، مقاومت موج سازی نداریم. $R_w = 0$

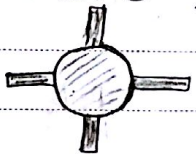




L: طول
D: قطر
غوطه ور (زیرآب) $W > F_B$

زیرآب رفتن و بالا آمدن زیردریایی با پرکردن و تخلیه آب مخزن بالاست صورت میگیرد.

شبیه سکان در کشتی است.



Aft = for Control Trim

هیدروپلن (جلویی و عقبی):

* وقتی 4 تا هیدروپلن داریم بهتر است تعداد پره ها 4 تا باشد. 3، 5، 7 تا باشد.

$R_F = \frac{1}{2}\rho(C_F + \delta C_F) V_s^2 . S_{wet}$ ✓ (Frictional Resis.)

$S_{wet} = 0.8\pi D l$

δC_F = اثر زبری سطح

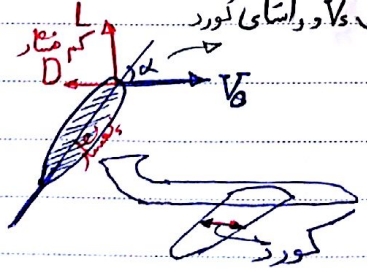
$R_{Form} = k . R_F$ ✓ , $k = \left(\frac{D}{l}\right)^{1.5} + 60\left(\frac{D}{l}\right)^4$

* اگر سیال غیرلزج باشد $\rightarrow R_F = 0 \rightarrow R_{Form} = 0 \rightarrow R_w = ?$



نکته مهم: R_w تابعی از ویسکوز سیال نیست. در سیال ایده آل R_w داریم.

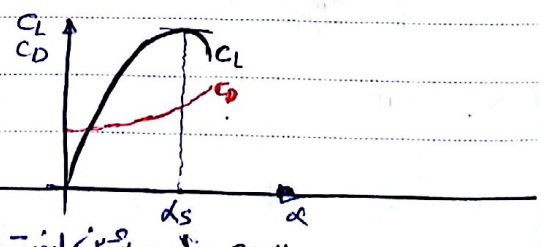
- هیدرودینامیک فویل:



اجسام:
- لیفتینگ ← Lifting body ← فویل - بال - سکان
- غیرلیفتینگ ← Non lifting ← بدنه کشتی - کره - سیلندر

لیفت $L = \frac{1}{2}\rho C_L V_0^2 . S$

درگ $D = \frac{1}{2}\rho C_D V_0^2 . S$

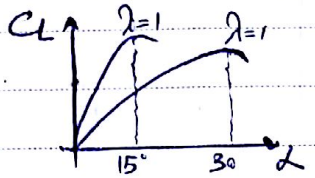


Generated by CamScanner

چرا زاویه استال داریم؟ پدیده جدایش باعث استال می‌شود.

Subject:
Year. Month. Date. ( )

$\alpha = f(\lambda, Rn, \frac{t}{c}, \frac{f}{c}) \rightarrow f = (\lambda)$ مهمترین $\lambda = \frac{\text{طول بال}}{\text{کورد}} = \frac{\text{اسپن}}{\text{کورد}}$



97.1.26

حل یک مثال از مدل تست و مقاومت کشتی:

قرار است یک کشتی به ابعاد زیر طراحی شود، $S_{W(S)} = 16000\ (m^2)$, $C_B = 0.725$, $T = 14.9m$, $B = 42m$, $L_S = 232m$

, $\rho_S = 1025.9\ (\frac{kg}{m^3})$, (سطح تصویر شده در بالای WL) $A_T = 1260\ (m^2)$, (زبری بدنه کشتی) $AHR = ks = 150\ (\mu m)$

برای محاسبه مقاومت و توان مفید آن از تست مدل استفاده می‌کنیم، یک مدل مشابه $\nabla_S = 1.188 \times 10^{-6}\ (\frac{m^2}{s})$

کشتی بطول $7m$ در آزمایشگاه حوضچه کشتی تست می‌کنیم. در سرعت $1.34\ (\frac{m}{s})$ مقدار مقاومت

$R_T = ?$, $P_E = ?$ اندازه‌گیری شده است $54.74\ (N)$. مطلوب است مقاومت و توان مفید یا موتر کشتی.

(ITTC_78)

$\lambda = \frac{L_S}{L_M} = \frac{232}{7} = 33$ سرعت کشتی: $V_S = V_M \sqrt{\lambda} = 1.34\sqrt{33} = 7.714\ \frac{m}{s}$

$\rightarrow V_S = 15\ knot$ $\quad 1\ KNot = 0.5144\ \frac{m}{s}$

در سرعت 15 گره دریایی می‌خواهیم R_T, P_E را محاسبه کنیم.

Step 1: $C_{TM} = \frac{R_{TM}}{\frac{1}{2}\rho_M V_M^2 S_{W(M)}}$ که $\rho_M = 998\ \frac{kg}{m^3}$, $\nu_M = 1.004 \times 10^{-6}\ (\frac{m^2}{s})$

بهتر است ابعاد مدل و $S_{W(M)}$ را بدست آوریم:

$S_{W(M)} = \frac{S_{W(S)}}{\lambda^2}$, $\lambda = \text{Scale}$ مقیاس $\rightarrow S_{W(M)} = 14.566\ (m^2)$

$C_{T(M)} = \frac{51.74}{\frac{1}{2} \cdot 998 \times 1.34^2 \times 14.566} = 3.964 \times 10^{-3}$ (واحد ندارد، بی‌بعد)

$C_{F(M)} = \frac{0.075}{[\log Rn_M - 2]^2}$, $R_{n(M)} = \frac{V_M L_M}{\nu_M} = \frac{1.34 \times 7}{1.004 \times 10^{-6}} = 9.3426 \times 10^{6}\ (-)$

$\Rightarrow C_{F(M)} = 3.0357 \times 10^{-3}\ (-)$ ✓

رابطه Watanabe:

$C_{T(M)} = C_{W(M)} + (1+k) C_{F(M)}$, $k =$ فاکتور فرم $= -0.095 + 25.6 \frac{C_B}{(\frac{L}{B})^2 \sqrt{\frac{B}{T}}} = 0.2673$

فاکتور فرم برای کشتی و مدل یکسان است.

Generated by CamScanner

$\Rightarrow C_{WM} = C_{TM} - (1+k)C_{FM} = 0.1168 \times 10^{-3}\ [-] = C_{WS}$

Step 2: $C_{TS} = C_{WS} + (1+k)C_{FS} + \delta C_F + C_{Air}$

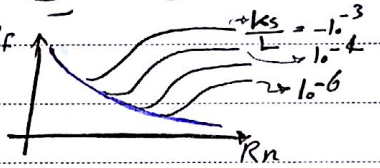
برای بدنه کشتی زبری سطح داریم و همچنین کشتی در دریا حرکت می‌کند، مقاومت هوا هم داریم در حالیکه برای مدل این دو تا رو نداریم.

$C_{F(S)} = \frac{0.075}{[\log R_{n(S)} - 2]^2}$, $R_{n(S)} = \frac{V_S \cdot l_S}{\nu_S} = \frac{7.714 \times 232}{1.88 \times 10^{-6}} = 1.506 \times 10^9$

$\Rightarrow C_{F(S)} = 1.455 \times 10^{-3}\ (-)$ ✓

توجه داشته باشیم که $C_{FS} < C_{FM}$ یعنی با افزایش عدد رینولز ضریب مقاومت اصطکاکی پوسته کاهش می‌یابد.

(Skin Friction Coefficeint)



Step 3:

$\delta C_F = 10^{-3}\left[105\sqrt{\frac{k_s}{l_s}} - 0.64\right] = \begin{cases} k_s = 150 \times 10^{-6}\ (m) \\ l_s = 232\ (m) \end{cases} \rightarrow = 0.267 \times 10^{-3} \simeq 3 \times 10^{-4}\ (-)$ ✓

$C_{Air} = 0.001\frac{A_T}{S_{W(S)}} = 0.001 \times \frac{1260}{16000} = 0.078 \times 10^{-3} = 0.78 \times 10^{-4}$

$C_{T(S)} = 2.509 \times 10^{-3}\ (-)$ Step 4: $R_{T(S)} = \frac{1}{2}\rho C_{T(S)} V_S^2 S_{W(S)} = 1.1276\ (MN)$

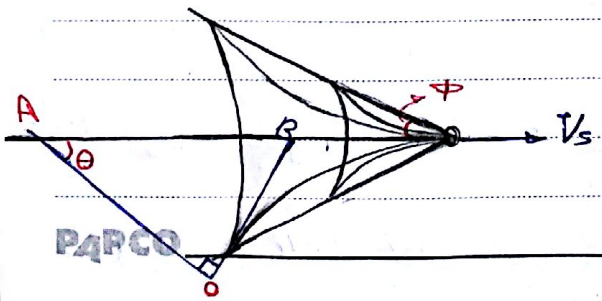
$P_{F(S)} = R_{T(S)} \cdot V_S = 8.7\ (MW)$ ✓

ب) اگر بازدهی راندمان کل η_0 باشد، توان موتور چقدر است؟

$P_B = \frac{P_E}{\eta_T} = \frac{8.7}{0.7} = 12.43\ (MW)$

«در امتحان یک نمونه از این شال داده می‌شود.»

روابط طول موج عرضی و واگر (تصحیح):

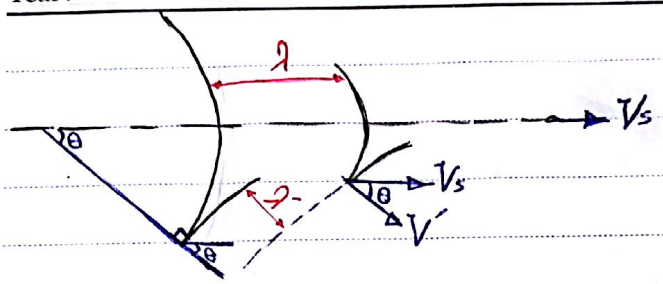


$\Phi = 19.47$, OB: خط مماس بر دو موج عرضی و واگر

$OB \perp OA$

Generated by CamScanner

Subject:
Year. Month. Date. ( )

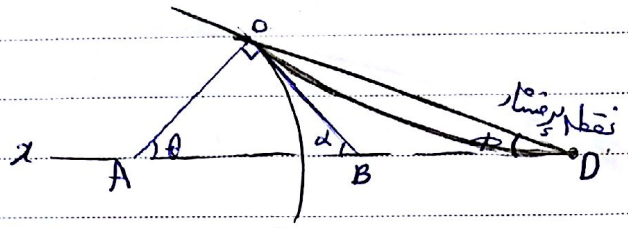


طول موج، موج عرضی: $\lambda = 2\pi \frac{V_s^2}{g}$

و اگر: $\lambda' = \lambda \cos\theta$ " "

سرعت موج عرضی: V_s (سرعت کشتی)

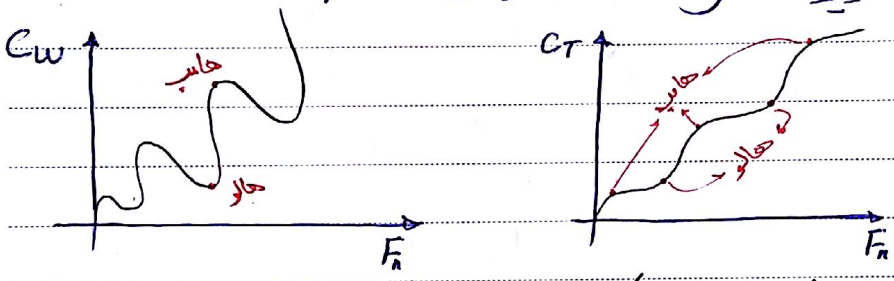
و اگر " " $V' = V_s \cos\theta$



در آب عمیق $\hat{OD}z = \phi = 19.5$

مثلث OAB قائم الزاویه است. $\hat{OBz} = \alpha$ ، $\hat{OAD} = \theta$

سوال: چرا در منحنی مقاومت - سرعت تغییرات سرعت بصورت نوسانی است؟

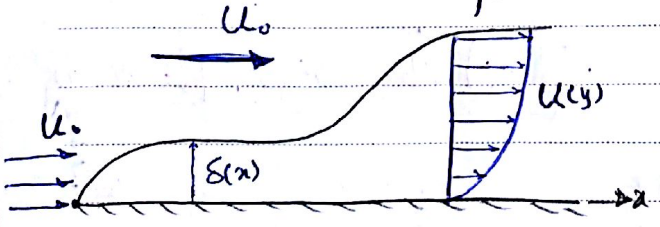


$C_T = C_W + (1+k) C_F$

جواب: تداخل امواج ایجاد شده در ناحیه سینه کشتی یا پاشنه کشتی باعث می‌شود تا شرایط Hump ، Hollow ایجاد شود. شرایط هاپ شرایطی است که دو تا موج با هم همفاز هستند و باعث افزایش مقاومت می‌شوند.

شرایط هالو شرایطی است که دو تا موج غیر همفازند و باعث کاهش مقاومت می‌شوند.

- لایه مرزی و جریان اشفته: هرجسمی که حرکت می‌کند بعلت ویسکوزیته سیال با جسم یک لایه مرزی ایجاد می‌شود که این لایه مرزی Boundry layer دارای ضخامت $\delta(x)$ است. برای صفحه تخت اگر یک جریان U_0 به صفحه برخورد کند لایه مرزی بصورت شکل زیر داریم:



$U(y)$ سرعت در داخل لایه مرزی است. اگر در فاصله $y = \delta$ سرعت لایه $0.99 U_0$ برسد مقدار δ را ضخامت لایه مرزی می‌گویند.

$U(y) < U_0$ (در داخل مرز)

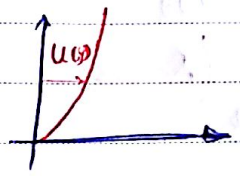
PAPCO
Generated by CamScanner

Subject:
Year. Month. Date. ( )

$Re_x = \frac{U_0 x}{\nu}$ if $\begin{cases} Re_x < 5\times10^5 & \text{laminar} \\ Re_x = 5\times10^5 & \text{گذرا (جریان)} \\ Re_x > 10^5 & \text{Turbulent} \end{cases}$ entire of plate are Turb. Flow (Total)

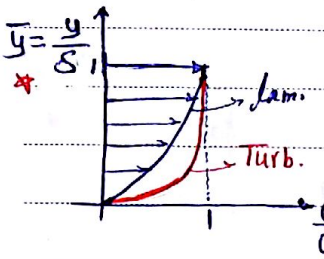
$\nu = 10^{-6}$

$u(y=0) = 0$, $\frac{\partial u}{\partial y} \neq 0$ $\left\{ \tau_w = \mu \frac{\partial u}{\partial y}\Big|_{y=0} \right.$ تنش دیواره



, $\tau_w . A = F$ نیرو

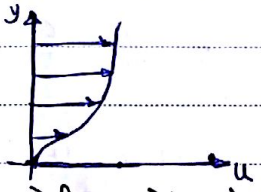
$Re_x(critical) = \frac{U_0 x}{\nu} = 5\times10^5 \rightarrow x_{cr.} = \frac{5\times10^5 \times \nu}{U_0}$



$\begin{cases} \text{(آرام) lam: } \bar{u} = A\bar{y}^3 + B\bar{y}^2 + C\bar{y} + D \\ \text{(آشفته) Tur.: } \bar{u} = \bar{y}^{\frac{1}{n}} \quad , \quad n = \log Re \end{cases}$

توجه، همیشه جریان را آشفته در نظر می‌گیریم (در کشتی‌ها):

$\begin{cases} \delta = \frac{0.37\,x}{\sqrt[5]{Re_x}} \\ C_{f_x} = \frac{0.058}{\sqrt[5]{Re_x}} \end{cases}$ $\left(\begin{array}{l} Re_x = \frac{U_0 x}{\nu} \text{ عدد رینولز محلی} \\ Re_L = \frac{U_0 L}{\nu} \text{ کل} \end{array} \right)$ $\begin{cases} \tau_w = \frac{1}{2}\rho U_0^2 . C_f \\ \tau_w . S = R_f = \frac{1}{2}\rho C_F U_0^2 . S \\ C_F = \frac{\int_0^L C_{f_x} dx}{\int_0^L dx} \end{cases}$

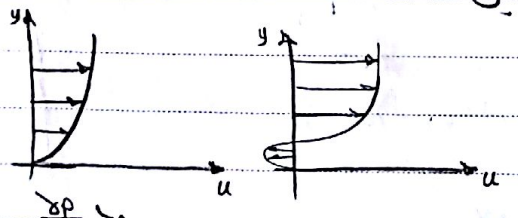
سوال؟: 

(برای نمودار: $\frac{\partial p}{\partial x} > 0$, $\frac{\partial u}{\partial y} = 0$)

در چه حالتی؟ $\frac{\partial u}{\partial y}\Big|_{y=0} = 0$

(Inception Point) نقطه شروع پدیده جدایش ✓ (آغازین)

شرط کافی $\frac{\partial u}{\partial y}\Big|_{y=0} = 0$, شرط لازم $\frac{\partial p}{\partial x} > 0$ ← برای پدیده جدایش





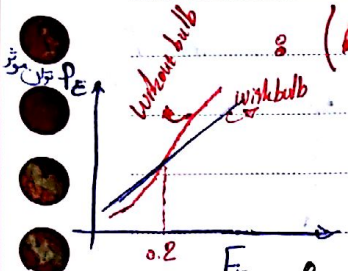
برای بدنه‌ی کشتی‌ها مقاومت ویسکوز فشاری تابعی از عدد رینولز شکل به بدنه است، معمولا $Re_x > 10^6$ است و در نزدیکی پاشنه کشتی بعلت فرم بدنه احتمال وقوع جدایش جریان را داریم. از منظر سیالاتی شرط لازم و کافی ($\frac{\partial p}{\partial x} > 0$, $\frac{\partial u}{\partial y}\Big|_{y=0} = 0$) برای وقوع این پدیده این است که گرادیان فشار مثبت و گرادیان سرعت صفر باشد.

Generated by CamScanner

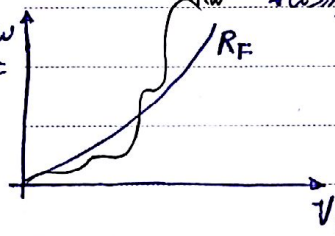
در صنایع طرح هایی برای جلوگیری از جدایش جریان بکار می گیرند، مثلا استفاده از MHD، مواد هوشمند، در بدنه slot و porous سطانی شکل زیر برای جلوگیری از این پدیده است.

در حقیقت معنی فیزیکی این طرح ها این است که به سیال ممنتوم می دهیم تا $\left.\frac{\partial u}{\partial y}\right|_{y=0}$ برابر صفر نشود.

- طرح هایی برای کاهش مقاومت در کشتی (Resistance Reduction in the Ship)

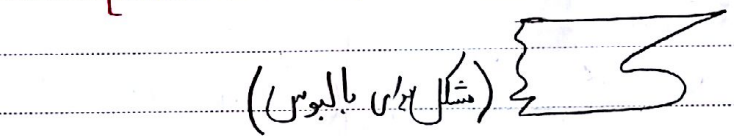


① استفاده از بالبوس: (Bulbows): باعث کاهش طمنه موج در بینی می شود.



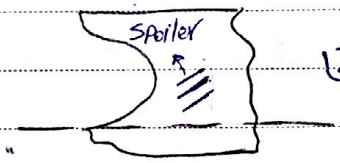
* Using the Bulb cause { increase R_F / decrease R_W

$P_E = R_T \cdot V_s$



(شکل برای بالبوس)

② استفاده از Spoiler در پاشنه کشتی

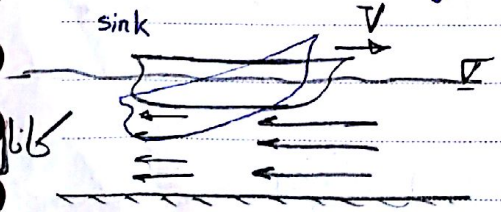


③ Micro_Riblet شیار

④ نسبت $\frac{B}{T}$ رو به افزون در محدود 2.5 باشد (٪)

⑤ $-2\% < \frac{LCB}{L}\Big|_{from\ \otimes} < 2\%$ ترسیم جزئی به سمت Aft بهتر (خوب) است. $T_A > T_F \rightarrow$ Trim by Aft

* پدیده Squat: در جاهایی که عمق آب کم است و در کانالها. اگر سرعت کشتی از یک مقدار حدی بیشتر شود بعلت افزایش سرعت جریان سیال آب زیر کف کشتی، افت فشار ایجاد می شود و باعث می شود ناحیه پاشنه کشتی افزون بیشتری بگیرد که به آن Squat می گویند.



$$S_{max} = \frac{C_B \cdot S_B \cdot V_s}{20} \quad (m)$$

(0.81, 2.08)

بیشترین میزان ضرورتگی کف پاشنه.

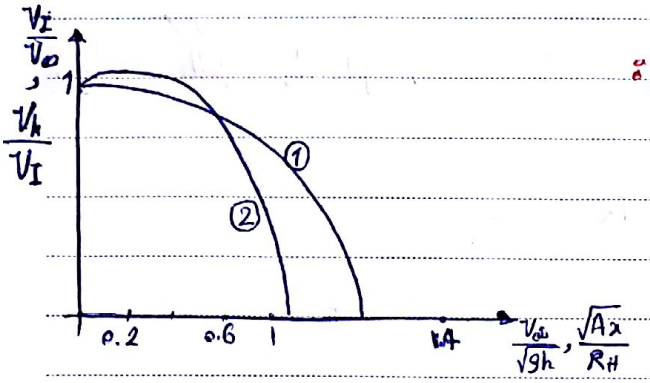
S_B

Generated by CamScanner

- مثال: یک کشتی Bulk Cariar به عرض 40m و آبخور 11m و $C_B = 0.8$ با سرعت 5 knot در رودخانه‌ای

به عرض 200m و عمق 14m عبور می‌کند. مقدار Squat حداکثر $\delta_{max} = 0.25m$

- نمودار Schlichtin برای محاسبه سرعت کشتی در کانال:



R_H: شعاع هیدرولیکی ، V_0: سرعت کشتی در آب عمیق

V_I: سرعت intermediate (سرعت کمکی) ، h: عمق کانال

A_x یا S_x: سطح مقطع عرضی کشتی

نمودار ① رابطه بین $\frac{V_h}{V_I}$ برحسب $\frac{\sqrt{A_x}}{R_H}$ است ، و نمودار ② رابطه بین $\frac{V_I}{V_0}$ برحسب $\frac{V_0}{\sqrt{gh}}$ است.

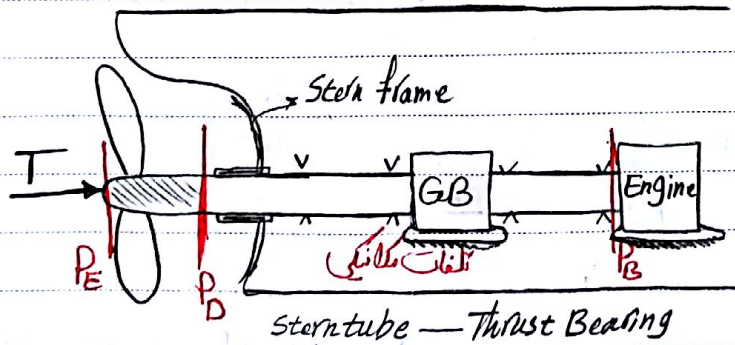
97,1,27

سیستم رانش و پروانه: بهترین سیستم جلوبرنده یا پیش برنده در کشتی‌ها پروانه است ، پروانه جزء خانواده Lift — Trust محسوب می‌شود ، یعنی نیروی لیفت یا تراست تولید می‌کند. T

قدرتی که از موتور تولید می‌شود (P_B) و از طریق شفت گیربکس یا تاقان‌ها به پروانه داده می‌شود یعنی توان داده شده به پروانه P_B است. این توان P_B که برابر است با گشتاور در سرعت زاویه‌ای $P_D = Q.W$

یعنی باعث چرخیدن پروانه می‌شود با سرعت n . $W = 2\pi n$

پروانه در سیال آب می‌چرخد (rotate) و نیروی پیش‌ران تولید می‌کند ، شکل زیر از توان موتور تا توان پروانه را نشان می‌دهد.



Sterntube — Thrust Bearing

$P_B - P_D =$ تلفات مکانیکی

$P_D - P_E =$ تلفات هیدرودینامیکی

بازده مکانیکی $\eta_M = \frac{P_D}{P_B}$ ، بازده هیدرودینامیکی $\eta_{Hyd} = \frac{P_E}{P_D}$

PAPCO

P_B = Brake power قدرت ترمزی { P_E = Effective power { P_D = Delivered Power قدرت تحویلی

Generated by CamScanner

سوال: چرا پروانه در جلوی شناور قرار داده می‌شود؟

Subject:
Year. Month. Date. ( )

① فاصله کشتی با نقطه Pivot ② احتمال آسیب دیدگی و برخورد سینه کشتی با دیگر اجسام (Iceberge توده یخ) ③ در سینه کشتی بالبوس داریم و فضایی برای پروانه نداریم ④ ...

تلفات مکانیکی و بازده کل:

$$\eta_M = \frac{P_D}{P_B} \approx (0.95 \sim 0.98) \quad \text{0.92 تقریبی}$$

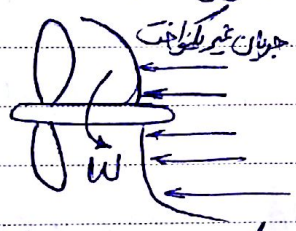
$$\eta_{Hyd} = \frac{P_E}{P_D} = \frac{P_E}{P_T} \cdot \frac{P_T}{P_{D'}} \cdot \frac{P_{D'}}{P_D} = \eta_H \cdot \eta_o \cdot \eta_R$$

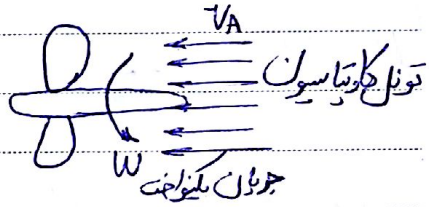
$P_E = R_T \cdot V_S$ ، $P_T = T V_A$ قدرت تراست ، $P_{D'} = Q' \cdot W$ ، $P_D = Q \cdot W$

V_A: سرعت پیشروی ، T: تراست ، R_T: مقاومت کل ، Q: گشاور داده شده به پروانه در شرایط اوپن واتر و Q': گشاور داده شده به پروانه در شرایط Behind (پشت بدنه)

Q': گشاور داده شده به پروانه در شرایط Behind of ship ، Q: گشاور داده شده به پروانه در شرایط اوپن واتر

شرایط واقعی:





تونل کاویتاسیون، یک دستگاه آزمایش برای تست مدل پروانه است. عملکرد هیدرودینامیکی پروانه در آنجا بدست می‌آید (اندازه‌گیری می‌شود)

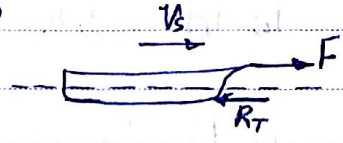
برای تست مدل کشتی ← Towing Tank

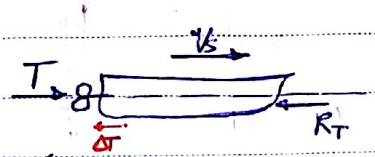
برای تست مدل پروانه ← Cavitation Tunnel

$$\eta_H = \frac{P_E}{P_T} = \frac{R_T \cdot V_S}{T \cdot V_A} = \frac{1-t}{1-W}$$ بازده بدنه ، $T = \frac{R_T}{1-t}$ ، $V_A = (1-W) V_S$

W: فاکتور ویک ، t: فاکتور مکش تراست.

توضیح در مورد $T = \frac{R_T}{1-t}$ دو حالت زیر را در نظر می‌گیریم: ① کشیدن مدل با سرعت V_S ② نیروی رانش توسط پروانه و سرعت V_S





ΔT: درگ اضافی ناشی از مکش پروانه در پاشنه.

$$\frac{T}{T} = \frac{\Delta T}{T} + \frac{R_T}{T} \rightarrow 1 = t + \frac{R_T}{T}$$

PqPCO

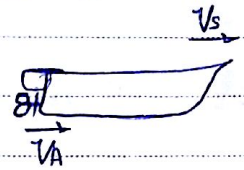
Generated by CamScanner

- توضیح در مورد $V_A = V_S(1-W)$: اختلاف بین سرعت کشتی و سرعت پاشنه کشتی.



$V_o - V_i =$ ویک

برای کشتی :



$$\frac{V_S}{V_S} - \frac{V_A}{V_S} = \frac{Wake}{V_S} = W \rightarrow 1 - \frac{V_A}{V_S} = W \Rightarrow V_A = V_S(1-W)$$

سرعت پیش‌روی

$$\star \eta_o = \frac{P_D}{P_{D'}} = \frac{T \cdot V_A}{Q' \cdot 2\pi n} \quad \begin{cases} T = K_t \rho n^2 D^4 \\ Q = K_q \rho n^2 D^5 \\ J = \frac{V_A}{nD} \end{cases} \Rightarrow \eta_o = \frac{K_t}{K_q} \frac{J}{2\pi}$$

K_t, K_q, η_o → open water characteristis (مشخصات این واتر پروانه)

$\star$ K_q ، K_t به ترتیب ضریب تراست و گشتاور هستند و باید برای مدل و نمونه اصلی برابر باشد.

$\rho \left(\frac{kg}{m^3}\right)$: چگالی آب $\quad$ $D(m)$: قطر پروانه $\quad$ $n(RPS)$: دور در ثانیه

$$\Rightarrow K_t = \frac{T}{\rho n^2 D^4} \text{ ضریب تراست} \quad K_q = \frac{Q'}{\rho n^2 D^5} \text{ ضریب گشتاور} \quad \eta = \frac{K_t}{K_q} \cdot \frac{J}{2\pi}, \; J = \frac{V_A}{n_D}$$

(η: بازده پروانه، J: ضریب پیش‌روی)

$\star$ η_R : Relative Rotative Efficiency بازده پروانه $\quad \eta_R = \frac{P_{D'}}{P_D} = \frac{Q'}{Q}$

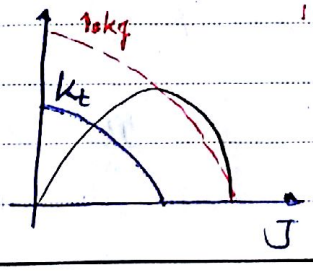
* پارامترهای هندسی و فیزیکی پروانه

بازده پروانه در پاشنه کشتی (Behind of Ship)

$$\eta_B = \eta_o \cdot \eta_R \rightarrow \eta_{Hyd} = \eta_B \cdot \eta_H$$

$$\eta_{Tot} = \eta_{Hyd} \cdot \eta_M$$ بازده راندمان کل

- نمودار ضریب تراست، ضریب گشتاور و بازده برحسب J:



$K_q < K_t$

Generated by CamScanner

Subject:
Year. Month. Date. ( )

- مثال، یک کشتی با پروانه‌ی 4 پره‌ای با سرعت 18 kn در آب آرام دارای توان موتور 10,000 kW دارد. پارامترهای راندمان $t=0.15$ ، $w=0.2$ ، $\eta_R=1.02$ است.

قطر پروانه 5m است، دور 150 Rpm است. اگر توان تحویلی به پروانه 14000 kW و بازده مکانیکی 0.95 شد مطلوب است T ، Q ، بازده بدنه، بازده اوپن واتر، توان موتور، ضریب پیشروی، ضریب تراست، ضریب گشتاور؟

$$V_S = 18 \times 0.5144 \approx 9\ m/s \quad , \quad V_A = V_S(1-w) = 18 \times 0.5144 (1-0.2) = 7.2\ m/s$$

$$J = \frac{V_A}{n_D} = \frac{7.2}{\frac{150}{60} \times 5} = \checkmark \quad , \quad R_T = \frac{P_E}{V_S} = \frac{10,000}{9} = \checkmark \quad , \quad T = \frac{R_T}{1-t} = \frac{R_T}{0.85} = \checkmark$$

$$Q = \frac{P_D}{\omega} = \frac{14,000}{0.2} \checkmark \quad , \quad Q' = \eta_R \times Q = 1.02 \times \frac{14000}{0.2} \checkmark$$

$$K_T = \frac{T}{\rho n^2 D^4} \checkmark \quad , \quad K_Q = \frac{Q'}{\rho n^2 D^5} \checkmark \quad , \quad \eta_o = \frac{K_T}{K_Q} \cdot \frac{J}{2\pi} \checkmark \quad , \quad \eta_{Hull} = \frac{1-t}{1-w}$$

* رابطه کلی η_R :

$$\eta_R = \frac{Q'}{Q} \cdot \frac{T}{T'} = \frac{Q_0}{Q} \times \frac{T}{T_0}$$

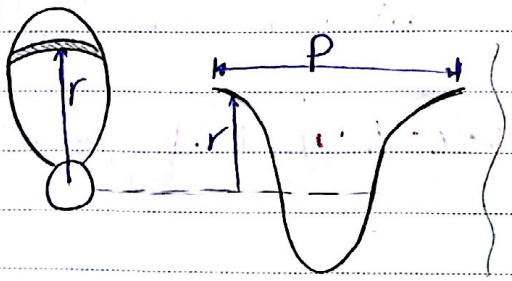
بزرگوارهایی که این جزوه رو یادداشت می‌کنید یادتون باشه ۱۵۰ سال عمر کردن یادتون باشه 😊

در روش Thrust Identity که بیشتر کارشناسی استفاده می‌شود $(T=T_0)$ ←

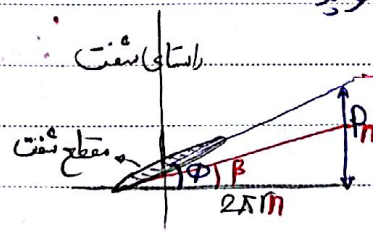
* پارامترهای هندسی پروانه: قطر پروانه (D) - تعداد پره‌ها (Z) - گام (Pitch) - سطح پره - ریک و اسکیو و مقطع پره

* خصوصیات پروانه: J - عدد رینولز - عدد فرود - عدد کاویتاسیون - ضریب فشار - عدد وبر - عدد اویلر

- گام هندسی پروانه (Geometrical Pitch): اگر پروانه یک دور در سیال (Solid) بدون لغزش (محیط سالید)

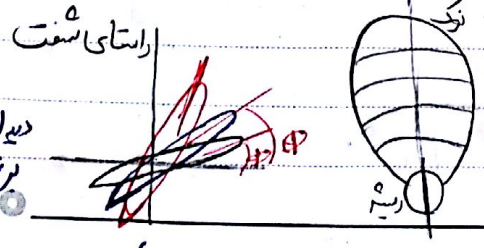


بچرخد مقدار پیشروی را گام (P) می‌گویند.



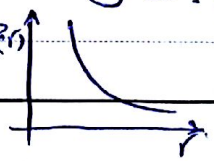
اگر محیط سالید نباشد ←

* slip و بازده پروانه مربوط است، اگر slip صفر باشد بازده 1 است.



* برای فهم بهتر شکل سمت راست بالا:

$\Phi = \Phi(r)$ متغیر

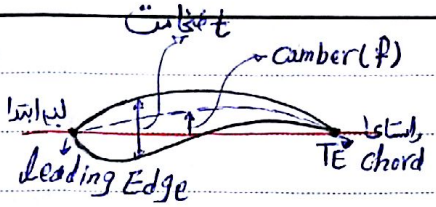


در سه شعاع مختلف (ارتفاع) پروانه را مقطع زدیم.

Generated by CamScanner

«هیدرودینامیک»

$$\phi = \tan^{-1}\left(\frac{P}{2\pi r}\right)$$



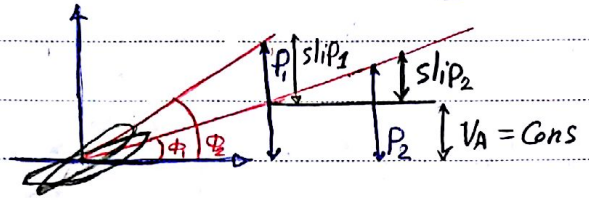
مقطع پره:

chord: عرض پره

فاصله بین LE و TE

LE = Leading Edge لبه ابتدایی

TE = Trailing Edge (لبه انتهایی (لبه فرار



گام در دو شعاع متفاوت r_1 و r_2:

$$\tan\phi_1 = \frac{P_1}{2\pi r_1} \quad , \quad P_n - slip = V_A$$

$\tan\phi = \frac{P}{2\pi r}$ ✓ زاویه گام هندسی ϕ ، $\tan\beta = \frac{V_A}{2\pi r n}$ ✓ زاویه گام هیدرودینامیکی β

$\alpha = \phi - \beta$ (Attack Angle) زاویه حمله ✓

$$\frac{P.n}{P.n} = \frac{V_A}{P.n} + \frac{slip}{P.n} \quad S_R \quad \rightarrow \quad 1 - \frac{V_A}{P.n}\cdot\frac{D}{D} = S_R \Rightarrow 1 - \frac{J}{\frac{P}{D}} = S_R$$

$$\Rightarrow (1-S_R)\frac{P}{D} = J$$

$\frac{P}{D}$: نسبت گام — J: ضریب پیشروی ✓ — S_R: ضریب لغزش

مثال: یک پروانه به قطر 4m و دوره 180 Rpm و سرعت پیشروی 8m/s داریم، گام چقدر باشد تا در شعاع 0.7R مقدار ضریب لغزش 20٪ باشد؟

$$J = \frac{V_A}{nD} = \frac{8}{\frac{180}{60}\times 4} = \frac{8}{12} = \frac{2}{3} = 0.66$$

$$\rightarrow (1-0.2)\frac{P}{4} = 0.66 \quad \rightarrow \quad P = \frac{4\times 0.66}{1-0.2} = \checkmark \ (m)$$

واحد گام متر است

ب) زاویه گام را بدست آورید:

$$\tan\phi = \frac{P}{2\pi(0.7R)} \checkmark \quad , \quad \tan\beta = \frac{V_A}{2\pi R n(0.7)} \checkmark \quad , \quad \alpha = \phi - \beta$$

P4PCO
Generated by CamScanner

Subject:
Year. Month. Date. ( )

97, 2, 9

- سوال کنکور امسال: سرعت دورانی پروانه تانکر چند

موتورشناورهای بزرگ (VLCC) از موتور دیزل Low Speed استفاده می‌شود. RPM: (60 ~ 150) RPM

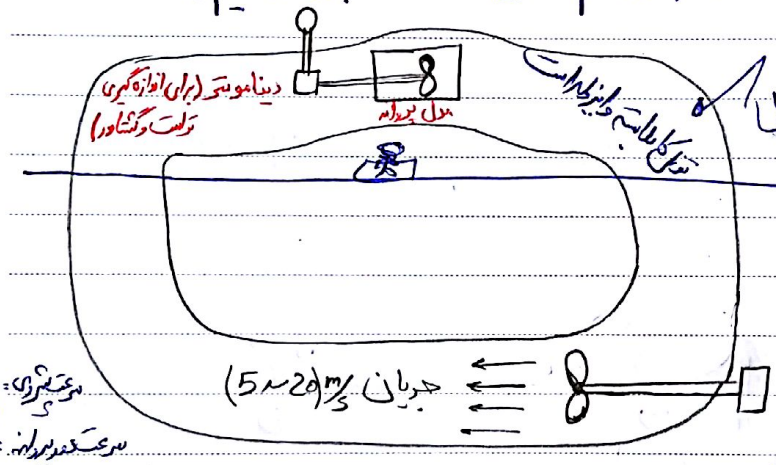
120 RPM = 2 RPS , $W = 2\pi n = 2\pi f$ سرعت زاویه‌ای: W

سرعت دورانی بین 1 و 2 RPS است

- تست مدل پروانه و ارتباط آن با پروانه واقعی

برای طراحی پروانه لازم است بعد از طراحی مقدماتی و برای اینکه به نتایج طراحی پروانه اعتماد کامل پیدا کنیم باید تست کنیم که آیا درست است یا نه (امروزه از نرم‌افزار هم ممکن است تست‌سازی کنیم).

تونل کاویتاسیون:



* بزرگترین تونل در آمریکا قرار دارد

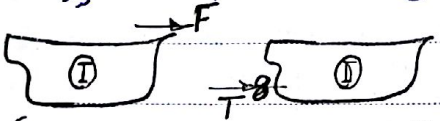
$D_M = 0.2 \sim 0.3$ m

$Rpm = 1000 \sim 30000$ Rpm

* ویک در پاشنه کشتی دو نوع است ← ویک اسمی ① - ویک موثر ②

① اگر پروانه در پاشنه نشناور نباشد و ویک اندازه‌گیری شده را ویک اسمی گویند (ویک حاصل از حرکت کشتی بدون وجود پروانه).

② اگر پروانه کار کند و باعث رانش نشناور شود، این ویک را ویک موثر گویند.



Towing Test ↔ Self - propulsion.

* ITTC: International Towing Tank

* تشابه مدل و پروتوتایپ (Prototype, Model) واقعی

تشابه دینامیکی (صفحه بعد)

Model	پروانه واقعی
D_M $\xrightarrow{\times\lambda}$	D_S
t_M $\xrightarrow{\times\lambda}$	t_S
S_M $\xrightarrow{\times\lambda^2}$	S_S
M_M $\xrightarrow{\times\lambda^3}$	(جرم آبی هر دو یکسان است)
$J_M = \left(\frac{V_A}{nD}\right)_M$	$J_S = \left(\frac{V_A}{nD}\right)_S$

$J_M = J_S$

(تشابه هندسی)

(تشابه سینماتیکی)

Generated by CamScanner

"هیدرودینامیک"

تشابه دینامیکی: نسبت کلیه نیروهای وارد بر پروانه واقعی به پروانه مدل یک مقدار ثابت می باشد.

این تشابه بین مدل و پروانه واقعی بصورت کامل برقرار است.

1) نیروی ویسکوز 2) نیروی فشاری.

$$\frac{F_{V(S)}}{F_{V(M)}} \overset{(?)}{=} \frac{F_{P(S)}}{F_{P(M)}} = Const$$

ویسکوز — تشابهی

$F_{V(M)}$ تابعی از (R_n) — $F_{P(M)}$ تابعی از (F_n)

$\Rightarrow$ عملا این نسبت نیروها یکسان نیست

نیروی فشاری تابعی از عدد فرود است / نیروی ویسکوز تابعی از عدد رینولز است.

در اینجا از تشابه فرود استفاده می کنیم $\left.\begin{array}{l} F_{n(M)} = F_{n(S)} \\ R_{n(M)} \neq R_{n(S)} \end{array}\right\}$ جریان آشفته باشد $R_{n(M)} > 10^6$

مثال: یک پروانه واقعی می خواهیم طراحی کنیم که دور آن 120RPM و قطر آن 5m می باشد و سرعت پیشروی آن (کشتی) $10\frac{m}{s}$ است، می خواهیم براساس تشابه دینامیکی رینولز سرعت دورانی پروانه

$$R_{n(M)} = \frac{V_{R(0.7R)} \cdot C}{\nu}$$

$V_{R(0.7R)}$: سرعت پروانه عدد رینولز در اندازه گیری می شود $0.7R$

C: طول کورد

$\left.\begin{array}{l} D_M = 0.3\ (m) \\ C = 0.3\ D_M \end{array}\right.$

V_n, n

$$V_R = \sqrt{V_A^2 + (2\pi r n)^2}$$

C, $0.7R$

$$R_{n(M)} = \frac{\sqrt{V_{A(M)}^2 + (2\pi(0.7R)\, n_{(M)})^2} \cdot C}{\nu = 10^{-6}\ (\frac{m^2}{s})}$$

$R_{n(M)} = R_{n(S)} \Rightarrow n_{(S)} = ?$ $\qquad \lambda = \frac{D_S}{D_M} = \frac{5}{0.3} = 16$

$C_{(S)} = \lambda C_{(M)} = \checkmark$, $\nu_{(S)} = \nu_{(M)}$ (سیال یکسان)

(بخش امتحانی)

(مهم) هدف: نسبت سرعت پروانه واقعی به پروانه مدل براساس تشابه رینولز چقدر است؟

$$R_{n(S)} = R_{n(M)} \rightarrow \frac{V_M \cdot C_M}{\nu_M} = \frac{V_S \cdot C_S}{\nu_S} \rightarrow V_M \cdot C_M = V_S \cdot C_S \rightarrow \frac{V_S}{V_M} = \frac{C_M}{C_S} = \frac{1}{\lambda}$$

$$\rightarrow V_S = \frac{V_M}{\lambda}$$

$V^2 = V_A^2 + (2\pi r n)^2$ — سرعت برآیند

$V \propto r n$ — یعنی سرعت با سرعت دورانی متناسب است

$$R_{n(S)} = R_{n(M)} \Rightarrow \left(\frac{r n \cdot C}{\nu}\right)_M = \left(\frac{r n \cdot C}{\nu}\right)_S \rightarrow$$

$$\rightarrow r_M \cdot C_M \cdot n_M = r_S \cdot C_S \cdot n_S \Rightarrow n_M = n_S \cdot \lambda^2 \checkmark$$

$$\rightarrow n_M = 120 \times 16^2 \quad \text{not possible}$$

PqPCO

Generated by CamScanner

Subject :
Year . Month . Date . ( )

* سرعت دورانی براساس تشابه فرود بررسی کنید.

عدد فرود در پروانه $F_n = \frac{V_{R(0.7R)}}{\sqrt{gD}}$, $V \propto r.n$ $\Rightarrow F_{n(S)} = F_{n(M)} \rightarrow \left(\frac{r.n}{\sqrt{g.D}}\right)_M = \left(\frac{r.n}{\sqrt{gD}}\right)_S \rightarrow$

$n_M = n_S \frac{\lambda}{\sqrt{\lambda}} = n_S\sqrt{\lambda} \simeq 500\ R.pm$ ✓
(حال قبول (تا 2000 Rpm می‌تواند باشد))

- تعریف : در آزمایشگاه تونل کاویتاسیون یک پروانه را تست کردیم :

$D_{(M)} = 0.25\ m$
$n_{RPM} = 1600\ RPM$ $T_{(M)} = 200\ (N)$
$V_{A(M)} = 6\ m/s$ $Q_{(M)} = 170\ (N-m)$

مطلوب است قوات و گشتاور و بازدهی اویی واتر

$(\rho_M = 1000\ kg/m^3\ ,\ \rho_S = 1025\ kg/m^3)$

پروانه واقعی ؟ (4m قطر)

$k_{t(S)} = k_{t(M)} = \frac{T}{\rho n^2 D^4} \rightarrow \frac{T_S}{T_M} = \frac{k_{t(S)}\ \rho_{(S)}\ n^2_{(S)}\ D^4_{(S)}}{k_{t(M)}\ \rho_{(M)}\ n^2_{(M)}\ D^4_{(M)}} = \frac{\lambda^4}{\lambda} = \lambda^3$

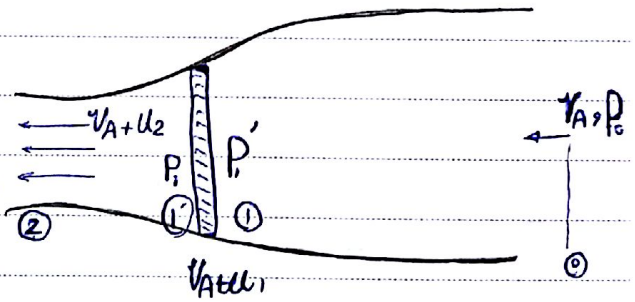
$k_{g(S)} = k_{g(M)} = \frac{Q}{\rho n^2 D^5} \rightarrow \frac{Q_S}{Q_M} = \frac{\lambda^5}{\lambda} = \lambda^4$

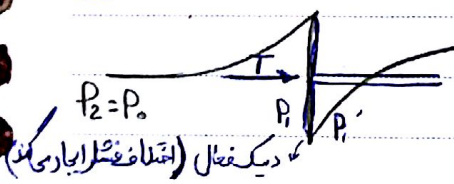
$\frac{P_S}{P_M} = \frac{Q_S.W_S}{Q_M.W_M} = \lambda^4 \frac{n_S}{n_M} = \frac{\lambda^4}{\sqrt{\lambda}} = \lambda^{3.5}$

- تئوری ممنتوم در پروانه : فرضیات : ① پروانه را یک دیسک فعال ② سیال را ایده آل فرض می‌کنیم

ACtuator Dick فرض می‌کنیم.

جریان با سرعت V_A و P_0 از بالادست به دیسک وارد می‌شود و با سرعت $V_A + U_2$ و فشار P_0 خارج می‌شود.





بازدهی ایده آل $\eta_i = \frac{P_T}{P_D}$, $P_T = T.V_A$

* دیسک ≡ پروانه‌ای با بی نهایت پره
* سیال ایده آل ≡ سیال غیر لزج (no Viscouse)

P_D : توان داده شده به دیسک
P_T : توان تراست از سیستم می‌گیریم

معادله برنولی بین ۰ و ۱ :

$\frac{P_0}{\rho} + \frac{1}{2}V_A^2 = \frac{P_1}{\rho} + \frac{1}{2}(V_A + U_1)^2$ Ⓐ

معادله برنولی بین 1' و 2 :

$\frac{P_1}{\rho} + \frac{1}{2}(V_A + U_1)^2 = \frac{P_0}{\rho} + \frac{1}{2}(V_A + U_2)^2$ Ⓑ

Generated by CamScanner

$B-A = P_1 - P_1' = \frac{1}{2}\rho\left((V_A+u_2)^2 - V_A^2\right) \Rightarrow \Delta P = \frac{1}{2}\rho u_2(2V_A+u_2)$

$\Delta P = \rho u_2\left(V_A + \frac{u_2}{2}\right)$ ✓

$\Rightarrow T = \Delta P . A_0 = \rho u_2 A_0\left(V_A + \frac{u_2}{2}\right)$ ✓ (I)

رابطه دیگری برای محاسبه تراست داریم:

$T = $ اختلاف مستوم $= m(V_2 - V_1) = m(V_A + u_2 - V_A) \Rightarrow$

$\rightarrow = mu_2 = \rho$ دبی جرمی $u_2 \Rightarrow T = \rho A_0(V_A + u_1)u_2$ ✓ (II)

(I), (II) $\rightarrow u_1 = \frac{u_2}{2}$ ✓ (III) $\qquad P_D = \frac{1}{2}m(V_2^2 - V_1^2)$

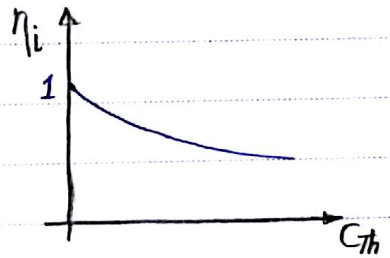
بازده ایده‌آل سیستم بر اساس تئوری مستوم:

$\eta_i = $ Ideal Efficiency $= \frac{T_0 V_A}{P_D}$

$\eta_i = \frac{2}{1+\sqrt{1+C_T}} = \frac{1}{1+a} \rightarrow$

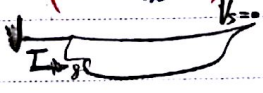
- $a = \frac{u_1}{V_A}$ فاکتور سرعت القایی محوری ، $A_0 = \frac{\pi D^2}{4}$ سطح دیسک
- $C_{Th} = \frac{T}{\frac{1}{2}\rho V_A^2 A_0}$ ضریب بار تراست

* معنی فیزیکی C_{Th} :

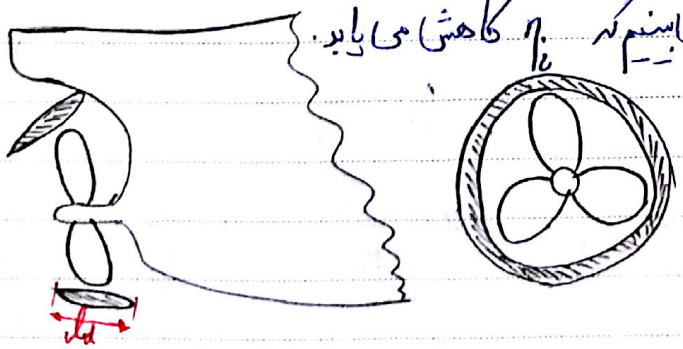


$C_{Th} = f(T) \rightarrow T = \frac{R_T}{1-t}$ ✓ , t: فاکتور مکش تراست

- Light Cond : $(C_{Th} < 1)$ اگر آب آرام باشد.
- Heavy Cond : $(1 < C_{Th} < 10)$ اگر دریا امواج داشته باشد.
- Extreme : $(10 < C_{Th} < 100)$ شرایط بد که کشتی توسط یدک‌کش
- Bullard : $(C_{Th} \to \infty) \Rightarrow \eta_i = 0$



* اگر یک پروانه به تنهایی داشته باشیم و در شرایط سکون می‌بینیم که η_i کاهش می‌یابد.



Ducted Propell

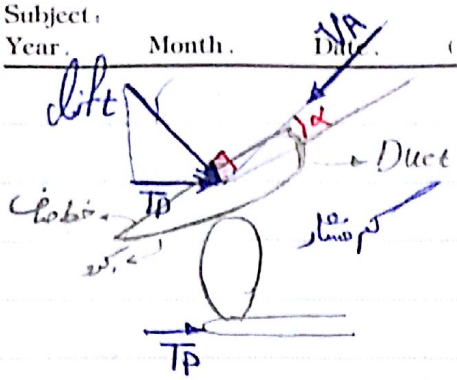
$l_d = (0.5 \sim 1)D$

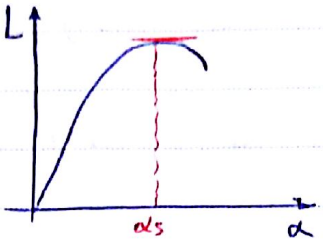
$\eta_i = \frac{2}{1+\sqrt{1+\tau_d C_{Th}}}$

$\tau_d = \frac{T_D}{T_P + T_D}$

Generated by CamScanner

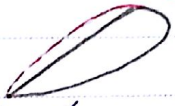
* چگونگی تولید تراست توسط داکت (Duct = Nozzle) :





اگر فول متقارن باشد $\alpha=0 \rightarrow L=0$

اگر نه غیر متقارن باشد $\alpha=0 \rightarrow C_L \neq 0$



α_s : زاویه ای است که حداکثر لیفت را داریم و علت جدایش جریان و کاهش فشار

زاویه استال (Stall) سبب می شود که بعد از α_s کاهش لیفت و افزایش درگ را داشته باشیم.

تمرین : رابطه زیر را برای شناور در شرایط بولارد ثابت کنید :

$$\frac{T}{P}\sqrt{\frac{T}{A\cdot\rho}}=\sqrt{2}$$

حل: $P_D=\frac{T\cdot V_A}{\eta_i}=\frac{T\cdot V_A\cdot\left(1+\sqrt{1+C_{Th}}\right)}{2}$

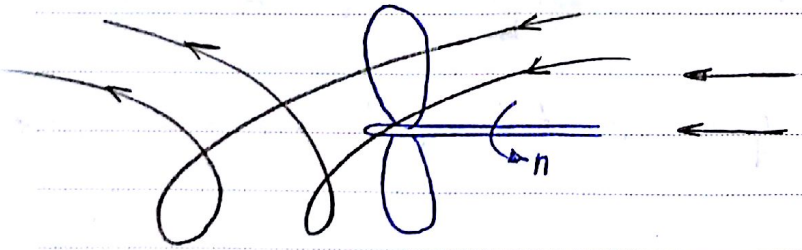
در شرایط بولارد: $\lim_{C_{Th}\to\alpha} 1+\sqrt{1+C_{Th}}=\sqrt{C_{Th}} \Rightarrow = \frac{T\cdot V_A\cdot\sqrt{C_{Th}}}{2}=\frac{T\cdot V_A}{2}\sqrt{\frac{T}{\frac{1}{2}\rho V_A^2\cdot A_0}}$ ✓

تمرین : پروانه ای به قطر ۳ متر و سرعت پیشروی ۴۵ m/s ، تراستی برابر ۶۰۰kN تولید می کند ، مطلوب است سرعت القایی و بازده پروانه براساس تئوری مومنتوم :

$$C_{Th}=\frac{T}{\frac{1}{2}\rho V_A^2 A_0}=\frac{600}{\frac{1}{2}\times 1\times 45^2\times\pi\times 3^2/4}=\checkmark$$

$$\eta_i=\frac{1}{1+a}=\frac{2}{1+\sqrt{1+C_{Th}}}=\checkmark \quad , \quad \frac{1}{1+a}=\eta_i \Rightarrow a\checkmark \quad , \quad a=\frac{u_a}{V_A}\Rightarrow u_a\checkmark=u_1$$

② تئوری مومنتوم با لحاظ کردن سرعت چرخشی دیسک : (پروانه)



$$\eta_i=\frac{1-a'}{1+a}$$

(Axial + Rotational) of prop.

$$a=\frac{u_a}{V_A} \quad , \quad a'=\frac{u_t}{r\omega}=\frac{\text{سرعت مماسی سیال}}{\text{سرعت دورانی پروانه در شعاع } r}$$

فاکتورهای سرعتی های القایی : a و a'

PAPCO

Generated by CamScanner

example: Consider the Propeller and Ship described below:

ρ: density of water 1026 kg/m^3 , ν_s - kinematic Viscousity of Sea water: 1.139×10^{-6} m^2/s

w: Wake factor (fraction) , propeller diameter: 4.5 m

J: Advance Coefficient = 0.233 , n: propeller RPM: 180 rpm

R_T: مقاومت کشتی : 580 kN , V_s - Ship Speed: 13 m/s , k_T = 0.1529

η_R: Relative Rotative efficiency: 0.95 , η_o: open-water efficiency: 0.624

(a) What is the t = ? t: thrust deduction fraction

(b) estimate the propulsive efficiency ? (بازده واتشی)

(c) اگر یک مدل 1:16 مشابه کشتی بخواهیم در آزمایشگاه TT تست کنیم V_M = ? , n_M = ? (w = 0.19)

(d) مقدار R_n را در شعاع $0.7R$ براساس مدل و پروانه واقعی بدست آورید و مقایسه کنید.

طول کورد $c = 2m$ at $r/R = 0.7$

(حل)

a) $T = k_t \rho n^2 D^4 = 0.159 \times 1.026 \times 3^2 \times 4.5^4 = 603.5$ (kN)

$1 - t = \frac{R_T}{T} \rightarrow t = 0.04$

b) $\eta_{Hyd} = \eta_o \cdot \eta_R \cdot \eta_H$, $\eta_H = \frac{1-t}{1-w} = 1.111$ $\eta_{Hyd} = 0.72 = a\rho c$ = (ضریب واتشی (بهسرانش))

c) $V_M = \frac{V_s}{\sqrt{\lambda}} = \frac{13}{\sqrt{16}} = 3.25$ m/s $V_{A(M)} = V_M(1-w) = 3.25(1-0.19) = 2.63$ (m/s) سرعت پیشروی مدل

$n_M = \frac{V_{A(m)}}{J D_{(m)}} = \frac{2.63}{0.833 \times 4.5/16} = 11.2$ (Hz)

d) $R_n = \frac{V_{R(0.7R)} \cdot C}{\nu}$ $V_{R(0.7R)} = \sqrt{V_A^2 + (2\pi r n)^2}$ $r = 0.7R$

$V_{R(S)} = \sqrt{V_{A(S)}^2 + (2\pi \times 0.7R_{(S)} \cdot n_{(S)})^2} = 31.75$ m/s , $V_{A(S)} = 13(1-0.135) = 11.245$

$\Rightarrow V_{RM} = \sqrt{V_{A(M)}^2 + (2\pi r n)^2_{(M)}} \rightarrow r = 0.7R \rightarrow = \sqrt{(2.63)^2 + \left(4\pi \times 11.2 \times \frac{4.5}{16}\right)^2} = 7.4$ m/s

$R_{n(S)} = \frac{V_{R(S)} \cdot C_{(S)}}{\nu_{(S)}} = 56 \times 10^6 = 5.6 \times 10^7$, $R_{n(M)} = \frac{V_{R(M)} \cdot C_{(M)}}{\nu_{(M)}} = 0.78 \times 10^6$ (2/16)

$\Rightarrow R_{n(S)} \simeq 100 R_{n(M)}$

P4PCO
Generated by CamScanner

مثال) یک کشتی با سرعت 15^{knot} ، $t=0.2$ ، $W=0.15$ از یک پروانه‌ی سری B با 4 تیغه و قطر $4\,m$ استفاده شده است.

Subject:
Year. Month. Date. ( )

چگالی آبِ دریا $\rho_s = 1025\ kg/m^3$ است.

منحنی مقاومت - سرعت در محدوده‌ی ۱۰ تا ۱۶ گره دریایی از رابطه‌ی زیر طبعیت می‌کند:

$$R_T = 10 V_s^2 - 185 V_s + 1100 \qquad R_T(kN),\ V_s(knot)$$

1) T required? (تراست مورد نیاز؟)

2) $0.8 \le \frac{P}{D} \le 2$

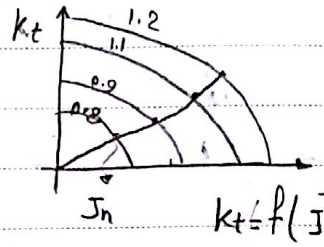
3) بازده بهینه = ?

4) ρ_D = ?

سری B متداول‌ترین سری پروانه

تعداد پره
B: $\geq$ - EAR
- B: 4 - 4۰

هرکدام از این سری‌ها منحنی k_t-J متفاوتی دارند.



$k_t = f(J, Z, EAR, \frac{P}{D})$

① حل: $R_T = 575(kN)$ ، $T = \frac{R_T}{1-t} = 718.85(kN)$

برای نمودار بالا: $K_T = \frac{T}{\rho n^2 D^4} = \frac{T \cdot V_A^2}{\rho n^2 D^4 \cdot V_A^2} = \frac{T \cdot V_A^2}{\rho n^2 D^2 D^2 V_A^2} = A J^2$

$J_1 \Rightarrow k_t, k_q, \eta$ ، $\eta = \frac{k_t}{k_q} \cdot \frac{J}{2\pi}$

$J_2 = \dots$

$J_3 = \dots$

$J_4 = \dots$

$n = \frac{V_A}{J_{OPt} \cdot D}$

تمرین:

یک کشتی کانتینربر به طول $L_{pp} = 117.2\ m$ ، $L_{WL} = 120\ m$ ، $B = 20\ m$

$T = 6.56\ m$ ، $C_B = 0.688$ ، $L_{CB} = 0$ ، شعاع بیلج $r_b = 1.5\ m$ ، سرعت $15.6 knot$

داریم، فاکتورهای رانش برابرند با:

$$\begin{cases} w = 0.75 C_B - 0.24 \\ t = 0.5 C_B - 0.15 \end{cases}$$

$\eta_R = 1$ ، $\eta_0 = 0.55$ ، $\rho_s = 1025\ kg/m^3$ ، $\nu_s = 1.19 \times 10^{-6}\ m^2/s$

الف) توان موردنیاز کشتی را محاسبه کنید.

ب) اگر طول کشتی در وسط کشتی $12.5\ m$ زیاد کنیم؛ توان موردنیاز؟ $L = L_0 + \Delta L = 129.7$

$C_F = C_f + \delta C_F$ ، $\delta C_F = 2 \sim 8 \times 10^{-4}$ ، $C_{AA} = 3.5 \times 10^{-4}$

δC_F

PqPCO
Generated by CamScanner

Subject:
Year. 97 Month. 2 Date. 15 ( )

«هیدرودینامیک»

- روش محاسبه مقاومت کشتی
  1) تست مدل
  2) روش آماری (روش هولتروپ، روش گلدهامر، روش تیلور گرتلر، Zborowski) 1978
  3) روش CFD (نرم افزارهای تجاری خلوت ... StarCCM - CFX)

* Holtrop-mannen Method for Power Resistance Estimation

- روش هولتروپ:

$$R_T = R_F(1+k) + R_{APP} + R_W + R_B + R_{TR} + R_A$$

R_F ← مقاومت اصطکاکی

$R_{Form} = R_F.k$ ← مقاومت فرم

R_W ← مقاومت موج سازی

R_B ← مقاومت بالبوس

R_{APP} ← مقاومت ضمائم (سکان، بیلج، پروانه)

R_{TR} ← مقاومت ترانزوم

R_A ← مقاومت هوا

$$R_W = C_1 C_2 C_3 \nabla \rho g \exp\left(m_1 F_n^{-4} + m_4 \cos(\lambda F_n^{-2})\right)$$

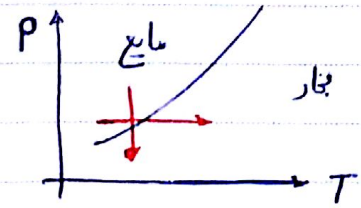
$$C_1 = 2223105 C_7^{3.78613} \left(\frac{T}{B}\right)^{1.078} (90 - i_E)^{-1.37} \quad / \quad C_2 = \exp\left(-1.89\sqrt{C_3}\right)$$

$$R_B = 0.11 \exp(-3P_B^{-2}) F_{ri}^3 A_{BT}^{1.5} \rho g (1 + F_{ri}^2)$$

$$P_B = 0.56\sqrt{A_{BT}}/T_F - 1.5 h_B \quad / \quad F_{ri} = \frac{V}{\sqrt{g(T_F - h_B - 0.25\sqrt{A_{BT}}) + 0.15 V_s^2}}$$

«این روش در ابتدای نما آمده»

کاویتاسیون (Cavitation): هنگامه در سیال آب و یا در هر سیال دیگری افت فشار ایجاد شود (افت فشار در اثر هر عاملی) و این فشار به فشار بخار اشباع (Saturated Vapor Pressure) برسد، سیال اک از حالت مایع به بخار تبدیل می‌شود و می‌گوییم کاویتاسیون اتفاق افتاد.



P4PCO

به طور کلی حالت سیال مایع به بخار تبدیل می‌شود:

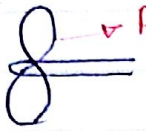
1) افزایش حرارت در فشار ثابت (Boiling) 2) کاهش فشار در دمای ثابت (Cavitation)

Generated by CamScanner

Subject:
Year. Month. Date. ( )

فشار 1 atm = 101 kpa ⟵ $100^{\circ}C$ تقطیر جوشش آب

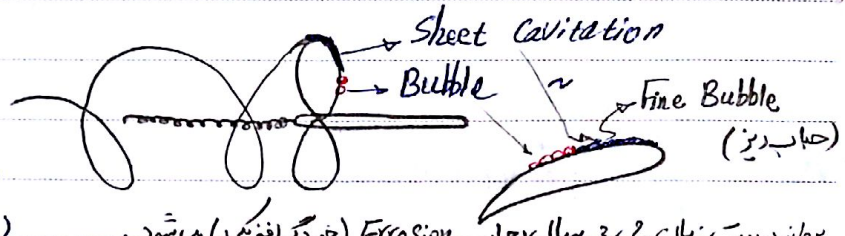
بالای تقطیر دریاند ⟵ $70^{\circ}C$ ~ ~ ~



$P \rightarrow P_v$ ⟵ آب تغییر فاز می‌دهد ⟵ کاویتاسیون

* Types of Cavitation at Propeller:

1) Tip Vortex Cavitation
2) Hub ~ ~
3) Bubble ~ ~
4) Sheet ~ (لایه‌ای)
5) cloud ~ (ابری شکل)

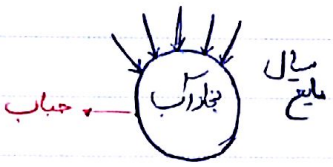


پروانه در مدت زمان 2، 3 سال دچار Errosion (خوردگی فیزیکی) می‌شود.

* خوردگی شیمیایی: Corrosion

Collapse of Bubble: (ترکیدن حباب):

- Implusion انفجار درونی (در حباب)
- Explosion ~ بیرونی



معیار جلوگیری از کاویتاسیون در پروانه:

$$EAR = \frac{(1.3 + 0.4Z)T}{(P_o - P_v)D^2} + k$$

P_v ← فشار بخار اشباع — T ← تراست پروانه — Z ← تعداد پره‌ها

D ← قطر پروانه — $P_o = P_{atm} + \rho g h_s$ ← فشار هیدرواستاتیک

f (ویک) ← ارتفاع غوطه‌وری شفت پروانه

- برای تانکر 0.2
- برای زیردریایی 0.07
- برای ناوشکن 0.1

$0 < K < 0.2$

- فرمول بوریل:

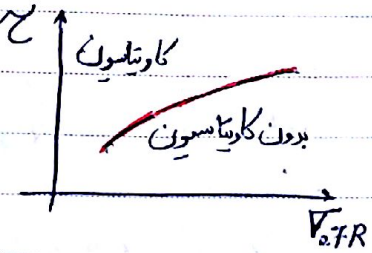
$$\tau_c = \frac{T/AP}{\frac{1}{2}\rho V_{R_{0.7}}^2}$$

T ← تراست

AP ← سطح تصویر شده پروانه

$$\sigma_{0.7R} = \frac{P_o - P_v}{\frac{1}{2}\rho V_{R(0.7R)}^2}$$

عدد کاویتاسیون



$$V_R^2 = V_A^2 + (r \times W)^2 \quad , \quad W = 2\pi n$$



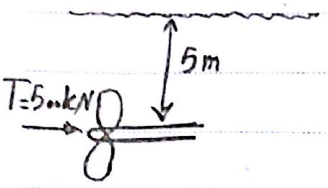
P4PCO

Generated by CamScanner

(هیدرودینامیک)

- مثال: یک پروانه B5-0.7 به قطر 4m در سرعت $V_A = 10\frac{m}{s}$ و دور 150 Rpm تراست 500kN تولید می‌کند. عمق غوطه وری شفت 5m است. آیا کاویتاسیون اتفاق می‌افتد؟ یا خیر.

$P_v = 2kpa$



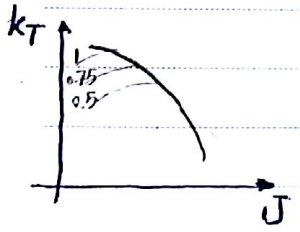
$$EAR = \frac{(1.3+0.32)T}{(P_0+P_v)D^2} + k \quad , \quad k=0.15$$

$$= \frac{(1.3+0.3\times5)500}{(P_{Atm}+\rho g h_s - R)4^2} + 0.15 \overset{?}{\geq} 0.7$$

اگر برقرار بود کاویتاسیون اتفاق نمی‌افتد.

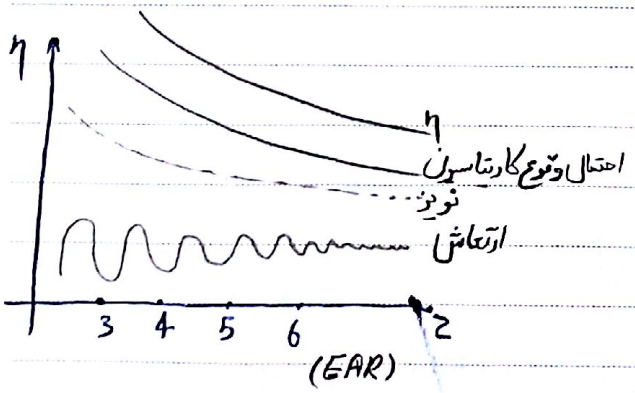
اثر EAR روی بازده و کاویتاسیون: هرچقدر EAR بیشتر باشد باعث کاهش بازده می‌شود. اما احتمال وقوع کاویتاسیون را کاهش می‌دهد.

عواقب کاویتاسیون: 1، باعث کاهش تراست و گشتاور و بازده می‌شود. 2، باعث نویز و سر و صدا می‌شود. 3، باعث خوردگی می‌شود. 4، باعث ارتعاش می‌شود.



$$T = k + \rho n^2 D^4 \quad , \quad J = \frac{V_A}{nD}$$

اثر تعداد پره‌ها (z) روی بازده کاویتاسیون:



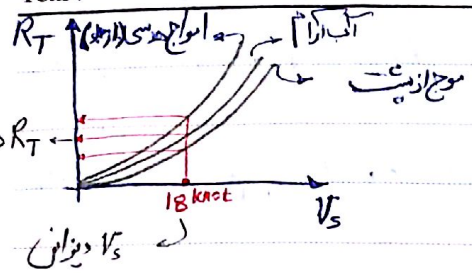
Cavitation Produce noise چگونگی ردیابی کردن SONAR Detect ?

Sound ← SONAR → Rang
→ Navigation

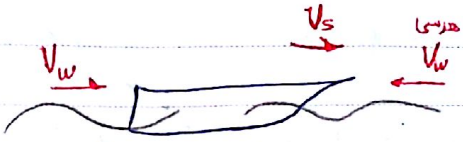
فاکتورهای موثر برای ایجاد کاویتاسیون: ۱) z ۲) EAR ۳) سرعت دورانی ۴- سرعت شناور
5- زبری سطح پروانه ۶- عمق غوطه‌وری ۷- وزن (خیلی مهم) ۸- قطر پروانه ۹- لغزش
(Heavy & light)

Generated by CamScanner

Subject:
Year. Month. Date. ( )



* مقاومت - سرعت:



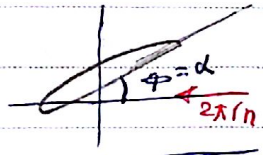
$$T = \frac{R_t}{(1-t)}$$

شرایط بولارد: $\eta = 0$ ✓ ، $C_{th} = \omega$ ✓ ، $V_A = 0$ ✓ ، $V_s = 0$ ✓

$$\phi = \tan^{-1}\left(\frac{P}{2\pi r}\right) \checkmark$$

$$\beta = \tan^{-1}\left(\frac{V_A}{2\pi r n}\right) = 0 \checkmark$$

$\alpha = \phi - \beta = \phi$ ✓ (زاویه گام هندسی، زاویه حمله)

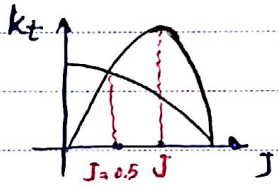


$$V_R = \sqrt{V_A^2 + (2\pi r n)^2} \checkmark$$

$\Rightarrow J = 0$ ✓ ، $k_t \to max$ ✓ ، $k_g \to max$ ✓ ، $\eta \to = 0 = \frac{k_t}{k_g}\frac{J}{2\pi}$ ✓

حال اگر $k_t = 0$ باشد:

$$\phi = \tan^{-1}\left(\frac{P}{2\pi r}\right) \quad , \quad \beta = \tan^{-1}\left(\frac{V_A}{2\pi r n}\right)$$



$k_t = 0 \Rightarrow C_L = 0 \Rightarrow \alpha = 0$

$\alpha = \phi - \beta = 0 \Rightarrow \phi = \beta$ $\Big\}$ $J = 0.5$

- مثال: یک پروانه به قطر 3m ، دور 180 Rpm و سرعت V_A و $W = 0.2$ داریم، اگر زاویه حمله در شعاع $r = 0.5R$ برابر 5° باشد مطلوب است؟ V_A و لغزش در این شعاع؟ (گام = 3 متر)

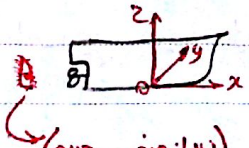
$$\phi = \tan^{-1}\left(\frac{3}{2\pi(0.5R)}\right) = \checkmark \quad , \quad \alpha = 5^\circ \Rightarrow \beta = \phi - \alpha = \tan^{-1}\left(\frac{V_A}{2\pi r n}\right)$$

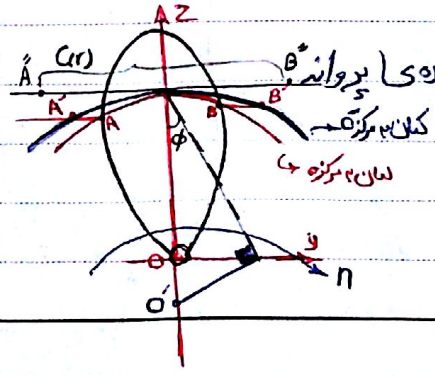
$3 = \frac{180}{60}$ (Hz)

$\Rightarrow V_A = \ldots$ obtained ✓ ، $V_s = V_A(1-W)$ ✓

برای محاسبه لغزش: V_A + لغزش $= P.n = 3 \times 3 = 9$ ، لغزش $= P.n - V_A$ ✓

زیر پروانه (Propeller Drawing): سطح تصویر شده‌ی پروانه





* خط $\overline{AB}$ بازشده، کمان $\overset{\frown}{AB}$ است.
* خط AA' ، BB' موازی محور y رسم می‌کنیم.

P4PCO

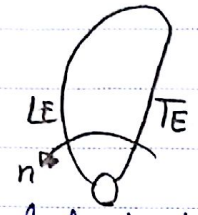
Generated by CamScanner

$\overset{\frown}{ACB}$ = کورد واقعی پره در شعاع r = عرض پره ، $\overset{\frown}{ACB} = \overset{\frown}{ACB}$

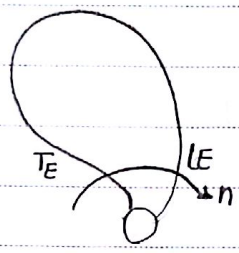
A_D = Developed Area
A_E = Expanded Area
A_P = Projected Area

$EAR = \frac{A_E}{A_0}$ ✓ , $A_E = z\int c(r)\,dr$ ✓

$\frac{A_P}{A_D} = 1.067 - 0.229\frac{P}{D}$ ✓ $A_D \approx A_E$

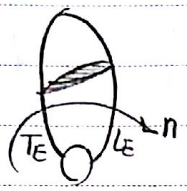


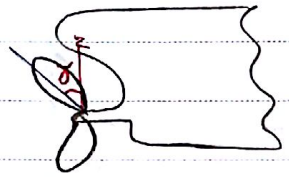
left-hand



right-hand

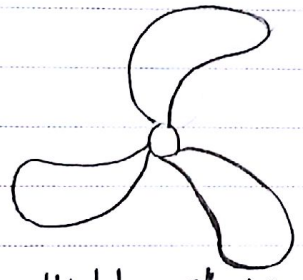
جهت چرخش پروانه:

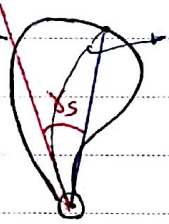




- تعریف ریک: (Rake)

$\gamma_r \leq 15°$ ، γ_r: زاویه ریک


Highly-Skew Prop.



- تعریف اسکیو (Skew):

θ_s: زاویه اسکیو

* اسکیو موجب می‌شود که load کمتری به پروانه وارد شود Cavitation کمتر و بصورت ناگهانی به پروانه وارد نشود.

97, 2, 23

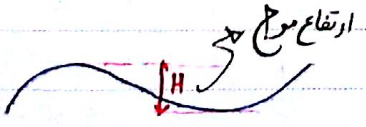
- تئوری موج:

منبع اصلی موج در دریا: باد، جزر و مد

موج منظم و نا منظم، امواج منظم امواجی هستند که به صورت پریودیک و با طول موج مشخص راسله باشند.

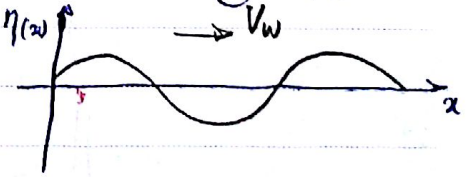
موج سینوسی یا موج استوکس جزء امواج منظم هستند.

اگر شیب موج کمتر از 15° باشد موج منظم خطی می‌گویند. (Linear Wave)



$\eta = a\sin(kx - \omega t)$

$H/2$ = دامنه موج



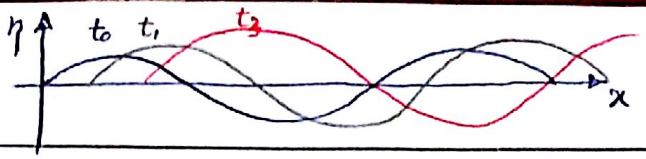
V_w: سرعت موج، T: پریود موج، $\omega = 2\pi/T$ فرکانس، $k = 2\pi/\lambda$ عدد موج

$\lambda = V.T$

Wave Velocity

P4PCO
Generated by CamScanner

Subject :
Year . Month . Date . ( )

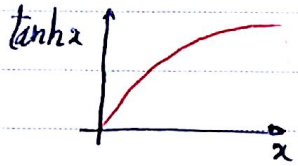


$\dot{\eta} = -Wa\cos(kx-Wt)$, $\ddot{\eta} = aW^2 \sin(kx-Wt)$, $\eta_{max} = -aW = \partial T$

سرعت — شتاب

$\lambda = \frac{gT^2}{2\pi} \rightarrow \lambda = \frac{2\pi V_w^2}{g} \rightarrow \lambda = \frac{2\pi(\lambda/T)^2}{g}$

* روابطی که ما در این درس نیاز داریم :

(Deep Sea) در آب عمیق	(shallow water) در کم عمق
$\frac{\lambda}{d} < 0.5 = \frac{1}{2}$	$\frac{\lambda}{d} \geq \frac{1}{20} = 0.05$
$\lambda = V_w \cdot T$	$V_w = \left(\frac{g\lambda}{2\pi}\tanh\left(\frac{2\pi d}{\lambda}\right)\right)^{\frac{1}{2}}$
$\lambda = \frac{2\pi V_w^2}{g}$	depth of ocean = d
$\lambda = \frac{gT^2}{2\pi}$	
$\frac{1}{20} \leq \frac{\lambda}{d} \leq \frac{1}{2}$	$x \to 0 \Rightarrow \tanh x \simeq x$
Intermediate	$V_w = \sqrt{gd}$

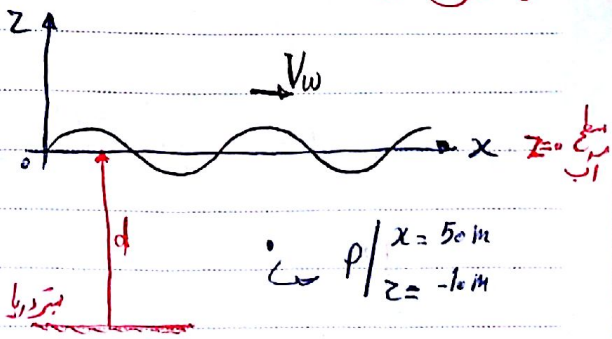
- مثال : اگر پریود موج (5) s باشد ، مطلوب است سرعت موج در آب عمیق و در آب کم عمق ؟

در آب عمیق : $\lambda = \frac{gT^2}{2\pi} = 1.56T^2 = 156\,m$, $V_w = \frac{\lambda}{T} = 15.6\,(m/s)$

در آب کم عمق : $\lambda = V_w \cdot T = T\sqrt{g\lambda/2\pi \tanh\left(\frac{2\pi d}{\lambda}\right)} = ?$

- پتانسیل سرعت (Φ) در هیدرودینامیک معادله حاکم موج $\nabla^2\Phi = 0$ است . حل این معادله با شرایط مرزی :

$\Phi = \frac{aW}{g}\frac{\cosh k(d+z)}{\cosh(kd)}\sin(kx-Wt)$



$\frac{\partial^2\Phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2\Phi}{\partial z^2} = 0$

$\frac{\partial\Phi}{\partial x} = u$ سرعت افقی

$\frac{\partial\Phi}{\partial z} = w$ سرعت عمودی

$P \Big/ \begin{matrix} x = 5\,m \\ z = -1\,m \end{matrix}$ ؟

Wave particle Velocity 8

PqPCO

Generated by CamScanner

$\eta_{(z=0)} = a\sin(kx-\omega t)$

$\eta_z = a e^{kz}\sin(kx-\omega t)$ ✓ «این فرمول مهم» ، $\eta_{(z=-5)} = a e^{-5k}\sin(kx-\omega t)$ دامنه موج

$\frac{\text{دامنه موج در ارتفاع } z}{z=0 \text{ در سطح آب}} = e^{kz}$ ، $\eta_{(x,z,t)} = e^{kz}\sin(kx-\omega t)$ ✓

- مثال : اگر کشتی A دارای طول l باشد و کشتی B دارای طول $2l$ باشد و هم تشابه هندسی داشته باشند و اگر ضریب مقاومت ویسکوز کشتی A 40٪ ضریب مقاومت کشتی B باشد. مطلوب است مقاومت کل کشتی A به مقاومت کل کشتی B ؟

$R_{TA} = \frac{1}{2}\rho_A V_{SA}^2 \cdot S_{WA}(C_V + C_W)_A$ ، $R_{TB} = \frac{1}{2}\rho_B V_{SB}^2 S_{WB}(C_V+C_W)_B$

$\frac{R_{TA}}{R_{TB}} = \frac{V_A^2}{(\sqrt{\lambda}V_A)^2}\cdot\frac{1}{\lambda^2}\left(\frac{C_{WA}+0.4\,C_{VB}}{C_{WA}+C_{VB}}\right) = \frac{1}{\lambda^3}\left(\frac{C_W(1+\frac{0.4C_V}{C_W})_A}{C_W(1+\frac{C_V}{C_W})_B}\right)$

تشابه هندسی : $C_{W(s)} = C_{W(m)} = C_W$ ، $C_{r(s)} = C_{r(m)} = C_r$

- مثال : دو کشتی A و B : $l_A = 2l_B$ سرعت کشتی A 16 knot است. ضریب مقاومت ویسکوز 60٪ ضریب مقاومت کل است (برای هر دو کشتی) مطلوب است نسبت $? = \frac{R_{TB}}{R_{TA}}$

$\lambda = \frac{l_A}{l_B} = 2$ ، $V_A = \sqrt{\lambda}V_B = \sqrt{2}V_B$

$\frac{R_{TB}}{R_{TA}} = \frac{\frac{1}{2}\rho V_B^2 S_W}{\frac{1}{2}\rho V_A^2 S_W}\left(\frac{(C_W+C_V)_B}{(C_W+C_V)_A}\right) = \left(\frac{1}{\sqrt{\lambda}}\right)^2\frac{1}{2^2}\left(\frac{(C_W+0.6\,C_T)_B}{(C_W+0.6\,C_T)_A}\right) = \rightarrow$

$\rightarrow = \left(\frac{1}{\sqrt{\lambda}}\right)^2\frac{1}{4}\,\frac{C_W(1+\frac{0.6C_T}{C_W})_B}{C_W(1+\frac{0.6C_T}{C_W})_A}$

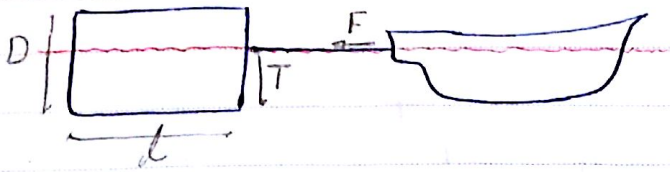
اگر طول را داشته باشیم حل می‌شود.

$l = 100\ m \longrightarrow R_n = \frac{Vl}{\nu} \Rightarrow C_F$ ✓

Generated by CamScanner

Subject:
Year. Month. Date. ( )

- مثال: یک یدک کش برای یدک کردن یک بارج با ابعاد L, B, T, D با سرعت 6knot استفاده می‌شود



Box-Shape (Barge)

$\delta C_F = 2\times10^{-4}$

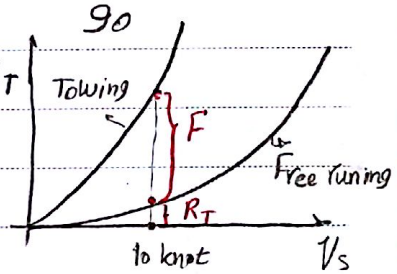
توان لازم برای کشیدن شناور بارج چقدر است؟

$S_W = (2T+B)L + 2BT$ ✓ $\quad R_n = \frac{VL}{\nu}$ ✓, $\quad C_F = \frac{0.075}{(\log R_n - 2)^2} =$ ✓

$R_F = \frac{1}{2}\rho(C_F + \delta C_F)V_s^2 . S_W = 100\ kN$ ✓

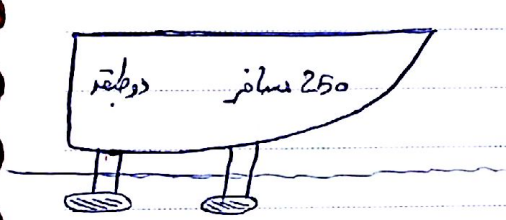
$R_{Form} + R_W = 10\% R_T \Rightarrow 100 + 10\% R_T = R_T \Rightarrow R_T = \frac{100}{\%90} = \frac{10000}{90} =$ ✓

$R_{Tot} = R_{Tug}$ (یدک‌کش) $+ F$ (Towing Force)



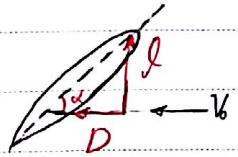
$\eta = \frac{2}{1+\sqrt{1+C_{Th}}} = \frac{P_T}{P_D} = \frac{2}{\sqrt{C_{Th}}} =$ ✓ $\quad , C_{Th} = \frac{T}{\frac{1}{2}\rho V_A^2 \cdot A}$

- هیدروفویل:



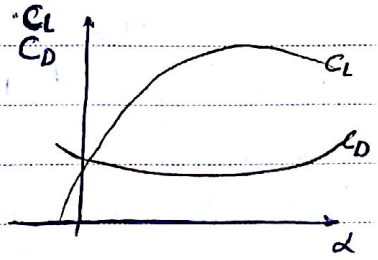
kawasaki Jet Foil

طول 30 متر
عرض 8 متر
kMI



$L = \frac{1}{2}\rho C_L V_\infty^2 S$

$D = \frac{1}{2}\rho C_D V_\infty^2 S$



$\Rightarrow \begin{cases} C_L = 2\pi(\alpha+\beta) \\ C_D = 0.01 C_L^2 \end{cases}$

- مثال: یک شناور هیدروفویلی با وزن 100 ton از دو تا فویل به ابعاد 2×1 استفاده شده است و سرعت آن 40 knot است. مطلوب است: ① ضریب لیفت؟ ② ضریب درگ؟

$W = L_1 + L_2 = 2L$, $\quad 1000kN = 2\left(\frac{1}{2}\rho C_L V^2 . S\right) = 40\times8\times C_L = 1000 \rightarrow C_L = \frac{2.5}{8}$ ✓

$C_D = 0.01 C_L^2 \rightarrow C_D$ ✓

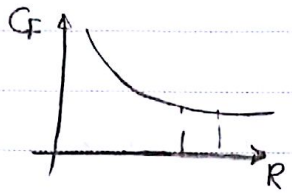
Generated by CamScanner

مثال: اگر طول کشتی 30 برابر مدل باشد مطلوب است نسبت مقاومت موج‌سازی کشتی به مقاومت موج‌سازی مدل؟

$$\frac{R_{W(S)}}{R_{W(M)}} = \lambda^3$$

* اگر نسبت مقیاس کشتی به مدل 5 باشد (یا کمتر از 5)

$$C_{T(M)} \simeq C_{T(S)}$$



2.24

زیردریایی (مغروق): در عمق H از سطح رکب باشد ($H > 5D$).

$$R_T = R_F + R_{Form} = R_F(1+k)$$

$$k = 1.5\left(\frac{D}{L}\right) + 60\left(\frac{D}{L}\right)^4 = 1.5 \times 0.15 + 6 \times (0.15)^4 = 0.225 + 0.024 = 0.25$$

$$R_T = \frac{1}{2}\rho (C_F + \delta C_F) V^2 . S(1+k) \quad , \quad S_{wet} = 0.85\pi DL \quad , \quad \delta C_F = 2 \times 10^{-4}$$

حل چند مسئله از پروانه:

1- یک پروانه سری B5 - 0.75 به قطر D=5m و سرعت دورانی 120 Rpm تراست 600kN، توان تولید می‌کند. عمق غوطه‌وری شفت $h_s = 6m$ است. $P_v = 1.7\ kpa$ است. آیا براساس معیار کاویتاسیون اتفاق می‌افتد یا نه؟

$$EAR = \frac{(1.3 + 0.3z)T}{(P_0 - P_v)D^2} + k$$

$\simeq 160$

< 0.75 اتفاق می‌افتد

> 0.75 اتفاق نمی‌افتد

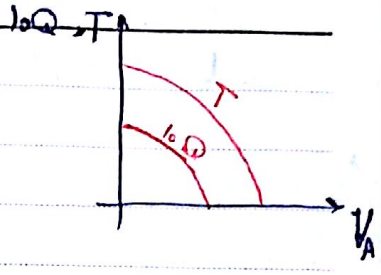
$$P_0 = P_{atm} + \rho g h_s = 101 + 1.025 \times 10 \times 6 = 162\ kpa$$

2- یک پروانه به قطر 0.15 m و دور 3600 Rpm را در تونل کاویتاسیون تست می‌کنیم (در سرعت‌های پیشروی مختلف). مطلوب است بازده ماکزیمم پروانه در شرایط اوپن واتر؟

Generated by CamScanner

Subject :
Year . Month . Date . ( )

V_A (m/s)	T (N)	گشتاور Q (N-m)
0	800	20
1	72	18
2		
⋮		
10	10	1



حل :

$\eta_o = \frac{T_o V_A}{Q_o W} = f(V_A)$ ، تابعی از V_A

$\frac{\partial \eta_o}{\partial V_A} = 0 \longrightarrow V_A = \checkmark$ ، $W = 2\pi n$

3 - یک کشتی در سرعت $V_s = 18 knot$ دارای توان موتور $12000 kW$ است و در آب آرام حرکت می‌کند. این کشتی از یک پروانه به قطر $4m$ و دور $150 Rpm$ و ضرایب واژن $t = 0.18$ ، $W = 0.2$ ، بازده شفت $\eta_s = 0.95$ برابر است. ادین واتر پروانه در سرعت کشتی برابر است؛ $\eta_R = 1.05$ مفروض است. $k_t = 0.25$ ، $10kq = 0.03$ مطلوب است:

بازده اوپن واتر، بازده بدنه، بازده واژن کل، توان تحویلی به پروانه، تراست پروانه و گشتاور پروانه؟

$\left(k_{T_o} = \frac{T_o}{\rho n^2 D^4} \quad , \quad k_{q_o} = \frac{Q_o}{\rho n^2 D^5} \Rightarrow \text{اگر } k_t \text{ و } k_q \text{ را نمی‌داد باید از مسائل قبل این دو مجهول را استفاده کنیم.} \right)$

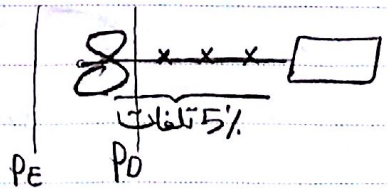
$V_A = V_s (1-W)$ ، $J = \frac{V_A}{nD} = \frac{7.5}{2.5 \times 4} = 0.75$ ، $\eta_o = \frac{k_t}{k_{q_o}} \cdot \frac{J}{2\pi} = \checkmark$

$\eta_H = \frac{1-t}{1-W} = \frac{1-0.18}{1-0.2} = \checkmark$ (بازده بدنه) ، $\eta_{Hyd} = QPC = \eta_o \eta_R \eta_H = \frac{P_E}{P_D} = \checkmark$ (بازده واژن هیدرودینامیکی)

$\eta_T = \eta_s \cdot \eta_{Hyd} = \frac{P_E}{P_B} \rightarrow P_B \checkmark$ ، $R_T(kN) = \frac{P_E(kw)}{V_s(m/s)} \checkmark$ ، $T = \frac{R_T}{1-t}$ (تراست در پاشنه کشتی) / (ضریب مکش (ترانست))

$T_o = k_t \cdot \rho n^2 D^4 = \checkmark$
$Q_o = k_q \rho n^2 D^5$
} در شرایط اوپن

$Q_B = \frac{P_B}{W} = \checkmark$



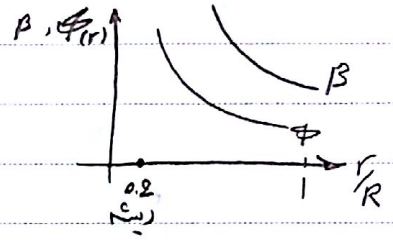
4 - جدول زیر اطلاعات یک پروانه را در شعاع مختلف داده است. $n = 180 Rpm$ ، $V_A = 8 m/s$ ، $D = 3m$

PAPCO
Generated by CamScanner

r/R	C/D	P/D	f_0/C	t_0/D	γ_s	γ_r
0.2	0.2	0.8	0.02	0.05	0	0
0.3						
0.4						
0.5						
0.6						
0.7	0.35	0.9	0.015	0.03	20°	5°
0.8						
0.9						
1						

خواسته مسئله: زاویه گام هندسی، زاویه گام هیدرودینامیکی، نسبت سرعت پیشروی، نسبت لغزش، زاویه حمله؟

زاویه گام هندسی / زاویه گام هیدرودینامیکی / ضخامت ماکزیمم / کمبر ماکزیمم / زاویه ورودی / زاویه خروجی / نسبت کوردها



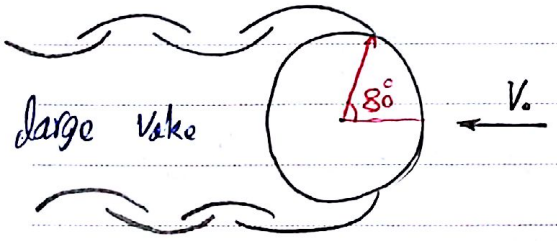
$$\varphi_{(r)} = \tan^{-1}\left(\frac{P/D}{\pi\, r/R}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{P}{2\pi r}\right)$$

$$\alpha = \varphi - \beta = \checkmark \quad , \quad J = \frac{V_A}{nD}$$

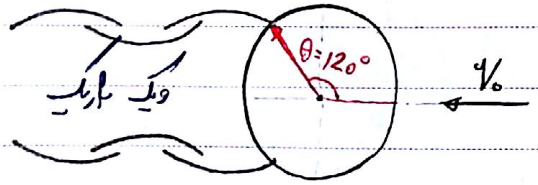
لغزش: $P.n - V_A = 27 \times 3 - 8 = 0.1$ m/s

* اگر زاویه گام هندسی با زاویه گام هیدرودینامیکی برابر باشد، لیفت نداریم.

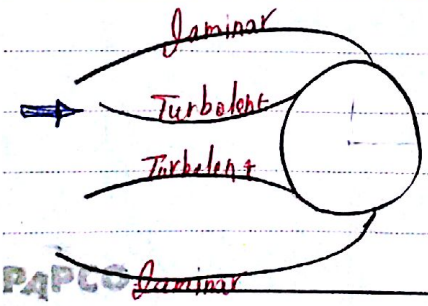
5- جدایش جریان در شکل های زیر در چه زاویه‌ای اتفاق می افتد؟

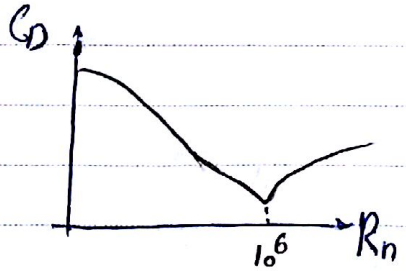


$R_n < 10^5$, $C_D = 1.2$



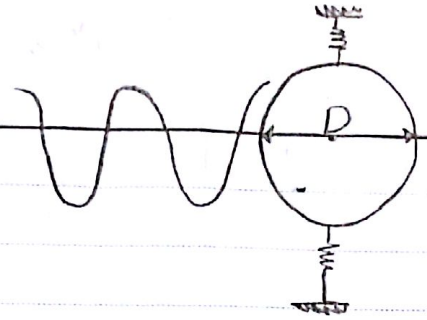
$R_n > 10^5$, $C_D = 0.4$





PqPC
Generated by CamScanner

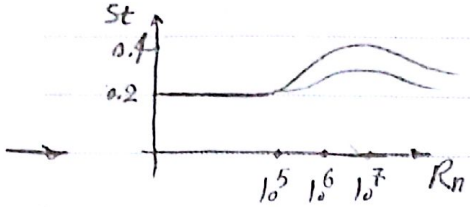
Subject :
Year . Month . Date . ( )



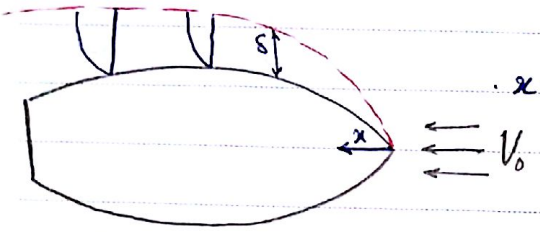
ورتکس فالکتور

$W = 2\pi f$

عدد استروهال $St = \frac{f.D}{U_0}$



6- یک کشتی به طول 220m با سرعت 18knot در آب آرام حرکت می‌کند. مطلوب است ضخامت ضریب لایه مرزی در $x = 100m$.

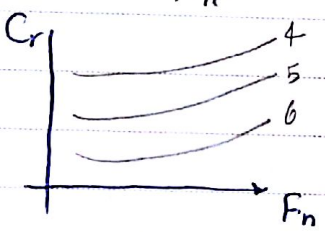


$x = 220m$

$\delta = \frac{0.37x}{R_n^{\frac{1}{5}}}$, $R_n = \frac{Vx}{\nu} = \frac{18 \times 0.5144 \times 100}{1.1 \times 10^{-6}}$ ✓

$\rightarrow \delta(x=100) = \frac{0.37 \times 100}{R_n^{\frac{1}{5}}}$ ✓

* جداسازی جریان در بدنه کشتی عمدتا در $x = 0.8l$ اتفاق می‌افتد.



نسبت لاغری : $\frac{l}{\nabla^{\frac{1}{3}}} = 4, 5, 6$

7- یک کشتی در سرعت 18knot دارای توان موثر 15000kw در آب آرام حرکت می‌کند. اگر یک موتور دیزل بتواند 22000kw و دور 100Rpm و بازده‌ی مکانیکی 0.96 و بازده راندمان کل پروانه 0.65 باشد. آیا این پروانه می‌تواند کشتی را در سرعت 18 نات براند؟

کو حل ؟ 😕

PAPCO

Generated by CamScanner

(هیدرودینامیک)

8- یک شناور با سرعت 14knot دارای توان موتور 1600 kw داریم.

$\eta_s = 0.95$, $\eta_R = 1.02$, $W = 0.2$, $t = 0.18$, $D = 4m$, $k_T = f(J)$, $k_q = f(J)$

اوپن واتر پروانه تابعی از ... شما داده می‌شود.

خواسته‌های مسئله: تراست، ؟ J ، Q ، n ، P_B ، P_D

$$k_t = 0.455\left[1-\left(\frac{J}{1.06}\right)^{1.2}\right] \quad , \quad k_q = 0.067\left[1-\left(\frac{J}{1.12}\right)^{1.29}\right]$$

$$k_T = \frac{T}{\rho n^2 D^4} = \frac{k_1}{n^2} = f(J) = f(x) \text{ ①}, \quad R_E = \frac{P_E}{V_s} = \checkmark \quad , \quad T = \frac{R_T}{1-t} = \checkmark \quad ,$$

$$J = \frac{V_A}{nD} = \frac{V_s(1-w)}{nD} = \frac{k_2}{n} = f(n)$$

معادله ① برحسب n است. وقتی n بدست آید همه چیز بدست خواهد آمد.

$k_q = \checkmark$, $Q = k_q \rho n^2 D^5 \checkmark$, $P_D = \frac{Q.W}{\eta_R}$ ($W = 2\pi n$ سرعت زاویه‌ای) , $P_B = \frac{P_D}{\eta_s}$

$$\lambda = \frac{gT^2}{2\pi}\tanh\left(\frac{2\pi d}{\lambda}\right) \quad \begin{cases} d: \text{عمق دریا} \\ \lambda: \text{طول موج} \\ T: \text{پریود} \end{cases} \rightarrow f(\lambda) = \lambda - \frac{gT^2}{2\pi}\tanh\left(\frac{2\pi d}{\lambda}\right) = 0$$

λ	$f(\lambda)$
50	-10
70	+10

9- با استفاده از تئوری مومنتوم یک پروانه با قطر 2m، تراست 300kg تولید می‌کند. سرعت پیشروی جریان 8m/s مطلوب است بازده پروانه؟

$$C_{Th} = \frac{T}{\frac{1}{2}\rho V_A^2 A_0} = \checkmark \quad , \quad \eta_i = \frac{2}{1+\sqrt{1+C_{Th}}} = \checkmark = \frac{1}{1+a} \rightarrow a = \checkmark \quad , \quad a = \frac{U_a}{V_A} \rightarrow U_a \checkmark$$

10- یک فویل در زاویه حمله 5° دارای ضریب لیفت 1.2 و ضریب درگ 0.05 می‌باشد. طول کورد فویل 1.5m است. مطلوب است نیروی درگ و نیروی لیفت فویل؟

$$L = \frac{1}{2}\rho C_L V_\infty^2 S \quad , \quad D = \frac{1}{2}\rho C_D V_\infty^2 S$$

(در دو بعدی به جای S فقط کورد (c) را قرار می‌دهیم.)

P4PCO

Generated by CamScanner

Subject:
Year. Month. Date. ( )

$\rightarrow D_f = \frac{1}{2}\rho C_f V^2 \cdot C$ $\begin{cases} C_f = f(ITTC) \\ \delta C_f = \checkmark \end{cases}$, $R_n = \frac{V.C}{\nu}$



$D_{Form} = k . D_F$

$k = 1.5\, t/c + 60 (t/c)^4 = 0.15 + 60(0.1)^4 \simeq 0.15$

$\rightarrow \frac{C_L}{C_D} = 30 \sim 50$

11. یک شناور نظامی ناوشکن در سرعت 28 نات دارای توان موثر 3000 kW است. اگر یک موتور 5000kW برای آن استفاده کنیم و بازده مکانیکی 97٪ و بازده هیدرودینامیکی پروانه 65٪ باشد آیا این موتور می تواند این شناور را براند؟ آیا این پروانه می تواند این شناور را براند؟

if $P_B - 0.97 P_B - 0.65 P_B > P_E$ $\rightarrow$ بله می راند

$\frac{T_S}{T_M} = \lambda^3 (?)$ $\frac{k_{T_S} \rho_S n_S^2 D_S^4}{k_{T_M} \rho_M n_M^2 D_M^4} = \frac{1}{\lambda} \lambda^4 = \lambda^3$

$\frac{t/D)_S}{t/D)_M} = ?(1)$ $\frac{R_{nS}}{R_{nM}} = \frac{\frac{VL}{\nu}}{\frac{VL}{\nu}} \sqrt{\lambda} \cdot \lambda = \lambda\sqrt{\lambda}$

$\frac{F_{nS}}{F_{nM}} = \frac{V_S/\sqrt{Lg}}{V_S/\sqrt{Lg}} = \frac{\sqrt{\lambda}}{\sqrt{\lambda}} = 1$

12- یک پروانه به قطر 3m و دور 180Rpm و لغزش 2 $\frac{m}{s}$ و $\frac{P}{D} = 0.8$ مطلوب است:

سرعت پیشروی؟ زاویه گام هندسی؟ زاویه گام هیدرودینامیکی، زاویه حمله، نسبت سرعت پیشروی (ضریب پیشروی) و ضریب لغزش؟ (در شعاع $r = 0.5R$).

$P = D \times 0.8 = 2.4\ (m)$, $n = 180 = 3\ RPS$

لغزش: $P.n - V_A = 2.4 \times 3 - V_A = 2 \rightarrow V_A = 5.2\ (m/s)$, $J = \frac{V_A}{nD}$ ✓

$\begin{cases} \tan\phi = \frac{P}{2\pi r} = \checkmark \\ \tan\beta = \frac{V_A}{rw} = \checkmark \end{cases}$, $\alpha = \phi - \beta = \checkmark$

PAPCO

Generated by CamScanner

$\frac{P_n}{P_n} - \frac{V_A}{P_n} = \frac{\text{لغزش}}{P_n} \rightarrow 1 - \frac{J \cdot V_A \cdot D}{P_n \cdot D} = S_R \rightarrow 1 - \frac{J}{P/D} = S_R \rightarrow \frac{P}{D} - J = S_R \left(\frac{P}{D}\right)$

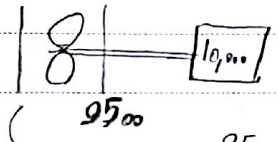
$\Rightarrow \frac{P}{D}(1 - S_R) = J$ ✓

13- توان موتور 10,000 kW و تلفات مکانیکی 500 kW است.

اگر بازده رانش کل هیدرودینامیکی پروانه 70٪ باشد، آیا این پروانه می‌تواند کشتی را در سرعت 18 knot و مقاومت 2500 kN براند؟

$P_E = R_T \cdot V_S = 2500 \times 18 \times 0.514 = 22500 \text{ kW} > 6650$ نمی‌تواند

اگر $R_T = 6000$ باشد چطور؟ $P_E = 5400 \text{ kW} < 6650$ می‌تواند



$9500 \times 0.7 = 6650$

14- اگر قطر مدل پروانه 20cm و دور پروانه 3000 RPM باشد. مطلوب است نسبتهای:

تراست، گشتاور، توان تحویلی به پروانه و...

عدد مقیاس $\lambda = \frac{D_S}{D_M} = 20 (-)$

$\frac{T_S}{T_M} = (?)$ $\quad \frac{\lambda^4}{\lambda} = \lambda^3$ $\quad , \quad \frac{V_{A(S)}}{V_{A(M)}} = ?$ $\quad , \quad \frac{Q_S}{Q_M} = (?) \quad \frac{\lambda^5}{\lambda} = \lambda^4$

$\frac{\text{گام پروانه واقعی}}{\text{گام پروانه مدل}} = ?$ $\quad , \quad \frac{P_{D(S)}}{P_{D(M)}} = \frac{(QW)_S}{(QW)_M} = \lambda^{3.5}$ $\quad , \quad \frac{\text{حجم پروانه واقعی}}{\text{حجم پروانه مدل}} = ?$ $\quad , \quad \frac{n_S}{n_M} = ?$

$n_S = n_M / \sqrt{\lambda}$ $\quad , \quad V_{A(S)} = V_{A(M)} \cdot \sqrt{\lambda}$ $\quad (rw)_S = (rw)_M \sqrt{\lambda}$ $\quad , \quad \frac{W_S}{W_M} = \frac{\sqrt{\lambda}}{\lambda}$ $\quad n_S = n_M \frac{\sqrt{\lambda}}{\lambda}$

15- یک کشتی در سرعت 14 knot دارای توان ترمزی 1650 kW است، پروانه این شناور دارای قطر 4m و $\frac{P}{D} = 1.0$ است. $\eta_S = 0.95$ ، $\eta_R = 1.02$ است.

ضرایب اوپن واتر پروانه از رابطه زیر استفاده می‌شود. $W = 0.21$ ، $t = 0.22$

$K_T = 0.455 \left[1 - \left(\frac{J}{1.06}\right)^{1.2}\right]$ $\quad , \quad K_Q = 0.0675 \left[1 - \left(\frac{J}{1.12}\right)^{1.29}\right]$

Generated by CamScanner

Subject:
Year. Mouth. Date. ( )

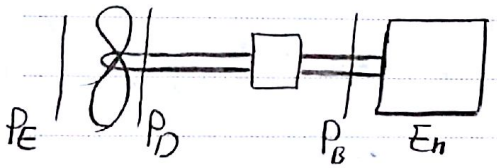
$$k_t = \frac{T}{\rho n^2 D^4} \quad \begin{cases} T = \frac{R_T}{1-t} = \frac{P_E/V_s}{1-t} = \frac{165./14\times 0.5144}{1-0.22} = 293\,(kN) \\ k_t = \frac{293}{1\times n^2\times 4^4} = 0.455\left[1-\left(\frac{V_A/nD}{1.06}\right)^{1.2}\right] \Rightarrow n = 2.283\,(rps) = 137\,(RPM) \end{cases}$$

$$J = \frac{V_A}{nD} = 0.6229$$

$$k_q = \frac{Q}{\rho n^2 D^5} \rightarrow \begin{cases} k_q = 0.0358 \rightarrow Q = k_q \rho n^2 D^5 = 196\,(kN-m) \\ P_D = QW = 196\times(2\pi \overset{\rightarrow 2.283}{n}) \end{cases}$$

$$\eta_R = \frac{P_D\ (\text{اوپن})}{P_D\,(\text{Behind of ship})}\ ,\ \eta_H = \frac{1-t}{1-w}\ ,\ \eta_o = \frac{k_t}{k_q}\cdot\frac{J}{2\pi}\ ,\ J = \frac{V_A}{nD}\ ,\ V_A = V_s(1-w)$$

خواسته سوال: قدرت دگستاور و توان تحویلی به پروانه و توان موتور در دور پروانه؟



$$\eta_R = \frac{P_D\,(\text{open water})}{P_D\,(\text{behind of ship})} \rightarrow P_{D(B)} = \frac{P_D(\text{open})}{\eta_R} = 275.4\,(kW)$$

بازده پروانه در پاشنه کشتی

$$\eta_s = \frac{P_D}{P_B} \rightarrow P_B = \frac{P_D}{0.95}\ ,\ \eta_o = \frac{k_t}{k_q}\cdot\frac{J}{2\pi}\ ,\ \eta_D = \eta_o\cdot\eta_R\cdot\eta_H = \eta_B\cdot\eta_H$$

- مثال: ارتفاع موج 4m و پریود موج 9.5 Sec و عمق دریا 10m است. مطلوب است:

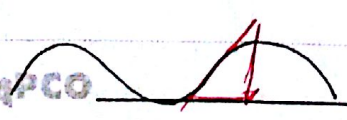
طول موج، سرعت موج، شیب موج؟

$$\lambda = \frac{gT^2}{2\pi}\tanh\left(\frac{2\pi d}{\lambda}\right) \rightarrow \lambda = 87\,m$$

$$V_w = \frac{\lambda}{T} = \frac{87}{9.5} = 9.16\ m/s$$

$$\text{Steepness} = \frac{\text{ارتفاع موج}}{\text{طول موج}} = \frac{4}{87} = 0.046$$

* ماکزیمم شیب موج:



$$\alpha_m = \frac{2\pi}{\lambda}\ \xi_a = \frac{\pi H}{\lambda}$$

Generated by CamScanner