

ТИСК ВОДИ НА НОСОВУ ЧАСТИНУ КОРПУСУ КОЛІСНОЇ МАШИНИ, ЩО ПЛАВАЄ ПРИ РУСІ ЇЇ У ВОДОЙМИЩІ.

Бугаєв С.В. (Одеська державна академія будівництва та архітектури, Одеса)

У статті розглядається питання про вплив конструктивних особливостей корпусу Мп на величину сили R_x , діючу на носову частину машини.

Постановка проблеми

Машини, що плавають, (Мп) застосовуються у транспорті та у будівництві, якщо це пов'язано з виконанням робіт на водоймищах. Тенденція, що намітилася в останній час [1], веде до істотного зменшення висоти надводного борту і запасу плавучості у цьому класі машин. Це пов'язано насамперед з значним підвищенням вимог щодо ефективного використання водотоннажності Мп. Проведений аналіз [2] існуючих методів розрахунку опору води (R_x) при русі Мп показав, що вони не дозволяють з необхідною для інженерної практики точністю визначити цю силу. Це обумовлює необхідність проведення досліджень з метою вивчення впливу сил діючих з боку води на Мп. У статті розглядається питання про вплив конструктивних особливостей корпусу Мп на величину сили R_x , діючу на носову частину машини.

Зв'язок з важливими науковими і практичними завданнями

Розв'язання технічної задачі щодо розробки методу розрахунку величини сили R_x , діючої на носову частину Мп, є складовою частиною вирішення проблеми підвищення технічних характеристик зразків вітчизняної спеціальної техніки, що плаває, які розробляються або модернізуються. Це безпосередньо впливає з загального положення Державної програми розвитку автомобільної та будівельної техніки.

Аналіз досліджень і публікацій

Дослідження [1] показали, що при русі по воді на низькобортну колісну Мп діє гідродинамічний момент, який диферентує її в поздовжній площині, та призводить до значного росту величини R_x . Аналіз робіт [1,3,4], які пов'язані з вивченням водохідних якостей Мп, показує, що існуючі методи розрахунку не дозволяють з'ясувати, чому виникає ходовий диферент і як конструктивні особливості машини впливають на його величину. Розрахункова схема, яка застосовується для визначення ходових якостей на воді, докладно описана у роботі [3]. В ній припускається, що потік води, який набігає на носову частину Мп, створює силу гідродинамічного підтримування, яка призводить до підняття носу машини. Однак, практичний досвід [1,2] свідчить про зворотнє. Для уточнення процесів, що відбуваються при русі по воді, проводилися дослідження [5], які показали, що в області контакту носової частини і днища спостерігається значна зона зниженого тиску, що і веде до виникнення ходового гідродинамічного диференту. Використовуючи дані, наведені у роботі [6], автором пропонується метод розрахунку величини гідродинамічної сили (R_{z_n}), що діє на носову частину корпусу Мп у вертикальній площині.

Постановка завдання

Основною метою досліджень є розробка математичної моделі, яка дозволить визначати величину сили R_x , діючої на носову частину Мп, і адекватно враховувати вплив швидкості руху машини на воді і її конструктивні особливості.

Виклад основного матеріалу

Величина гідродинамічної сили, що діє з боку потоку на підводну носову частину корпусу Мп, залежить від швидкості потоку, що набігає, ($v_{пм}$), площі похилої носової частини (S_n) і кута її нахилу (α_n). У загальному виді гідродинамічна сила (R_{z_n}), яка діє на носову частину корпусу Мп у вертикальній площині, визначається рівнянням:

$$R_{z_n} = \int_{S_n} P_n dS_n, \quad (1)$$

де P_n - інтенсивність тиску на поверхню підводної носової частини Мп, dS_n - елементарна площа поверхні носової частини Мп.

Складемо математичну модель (ММ) зміни R_{z_n} у залежності від різних чинників.

На величину гідродинамічної сили R_{z_n} впливають наступні чинники:

- характеристики рідини: швидкість руху води відносно Мп; густина ($\rho_{води}$); температура ($t_{води}$); глибина точки виміру від поверхні води (h); атмосферний тиск на поверхні води (P_A);
- конструктивні особливості Мп: площа зануреної у воду носової частини машини (S_n); кут нахилу носової частини (α_n); осідання машини у воду (T).

Розглянемо ці фактори більш докладно. У розрахунках приймалося $\rho_{води} = 999,73 \text{ кг/м}^3$ (при $t = 10^\circ \text{ C}$). Вода є речовиною, що практично не піддається стиску, тому вплив зміни атмосферного тиску не позначається на її характеристики. Це дає підставу прийняти, що зміна цих чинників є несуттєвою і надалі вони не враховуються.

Результати експериментальних досліджень моделі Мп в аеродинамічній трубі [7, 8] дозволяють визначити величину і характер розподілу тиску середовища на носову частину Мп. Використовуючи закони подібності (числа Рейнольдса (Re) і Ейлера (Eu)) можна визначити силу тиску, що діє на носову частину Мп, і його розподіл.

Такий підхід дає можливість провести оцінку впливу швидкості руху і конструктивних особливостей носової частини Мп на величину сили тиску води на передню занурену у воду носову частину корпусу Мп (Rz_n). Вплив осідання у воду Мп на величину сумарного гідродинамічного тиску рідини на елементи конструкції може бути визначений виходячи із середнього значення статичного тиску ($P_{ст}$), діючого на носову частину корпусу.

В якості чинників, що істотно впливають на носову частину корпусу Мп, прийємомо: $v_{пм}$ - швидкість руху машини (м/с); S_n - площа носової частини, зануреної у воду (m^2); α_n - кут нахилу носової частини ($^\circ$), β_d - кут нахилу днища ($^\circ$).

В якості функції відгуку прийємомо величину сили тиску, що діє з боку води на носову частину машини – $F_n = f(v_m; S_n; \alpha_n; \beta_d)$.

Залежність F_n у загальному випадку може бути представлена у вигляді чотирьохвимірної поверхні параболоїда чи гіперболоїда.

Як показав аналіз [7], діапазон зміни прийнятих чинників, характерних для машин, що розглядаються знаходиться, у межах:

- швидкість руху Мп ($v_{пм}$) змінюється від 0 до 3,33 м/с (12км/год), прийємомо її як безрозмірну величину - Re;
- кут нахилу носової частини (α_n), як правило, вибирається з умов прохідності машини по пересіченій місцевості і виходу з води на берег. Для Мп він знаходиться в межах від 34° до 46° ;
- площа зануреної у воду носової частини S_n залежить від осідання машини по корпусу і її ширині. Осідання Мп по корпусу лежить у межах $T_{кор} = 0,7 \div 1,5$ м. Ширина корпусу знаходиться в інтервалі $B_{кор}=2 \div 3,5$ м., отже $S_{носа}$ знаходиться в межах від 1,4 до 5,25 m^2 . Кут нахилу днища Мп (β_d) змінюється в межах від $+6^\circ$ на ніс до -6° . Значення чинників наведені у табл. 1.

Перерахування тиску, що діє на носову частину корпусу Мп, відбувалося за числом Ейлера Eu [7] :

$$Eu = 2P_{пм} / \rho_{вод} v_{пм}^2 = 2P_{пм} / \rho_{вод} v_{пм}^2, \quad (2)$$

де $P_{пм}$ - тиск (дані експерименту [6]), $P_{мм}$ – тиск у точках плану експерименту, $v_{мм}$ - розрахункова швидкість руху машин (у точках плану), $P_{пм}$ – тиск, який відповідає розмірам і швидкості руху Мп, $\rho_{вод}$ - густина води. У табл. 2. наведені значення сили F_n , що діє на носову частину машини в залежності від v , S_n , α_n і β_d .

Таблиця 1

Значення чинників, які впливають на силу, що діє на носову частину корпусу Мп

Чинники впливу код значення	$v_{пм}$, м/с (Re)	S_n , m^2 крок (1,925 m^2)	α_n , $^\circ$ (крок 6°)	β_d , $^\circ$ (крок 6°)
-1	0 (0)	1,4	34	+6 на ніс
0	1,666668 (1,1E-05)	3,85	40	0
1	3,333336 (2,77E-05)	5,25	46	-6 на ніс

Таблиця 2

Значення сили F_n , що діє на носову частину в залежності від:
 v , S_n , α_n і β_d

v	величина кута нахилу носу (α_n) і днища (β_d) до потоку									
(чинники)	$S_n=1,4$ (-1); $L_{пм}=5,6$м; $L_n=0,749$									
	$\alpha=46^\circ_n$ $\beta_d=+6_d$	$\alpha=40^\circ_n$ $\beta_d=+6_d$	$\alpha=34^\circ_n$ $\beta_d=+6_d$	$\alpha=46^\circ_n$ $\beta_d=0_d$	$\alpha=40^\circ_n$ $\beta_d=0_d$	$\alpha=34^\circ_n$ $\beta_d=0_d$	$\alpha=46^\circ_n$ $\beta_d=-6_d$	$\alpha=40^\circ_n$ $\beta_d=-6_d$	$\alpha=34^\circ_n$ $\beta_d=-6_d$	
	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	
	0	2,2	1,95	1,7	1,45	1,25	1,05	0,85	0,7	0,5
	1	9,6	8,93	8,252	7,574	6,896	6,218	5,5	4,5	3,5
	$S_n=3,33$ (0) ; $L_{пм}=8,65$м; $L_n=1,16$									
	-1	0,45	0,4187	0,3875	0,3562	0,325	0,2937	0,2625	0,2312	0,2
	0	1,8	1,725	1,65	1,575	1,5	1,425	1,35	1,275	1,2
	1	5,8	5,6	5,4	5,2	5	4,8	4,6	4,4	4,2
	$S_n=5,25$ (1); $L_{пм}=10,87$м; $L_n=1,45$									
-1	0,3	0,2775	0,255	0,2325	0,21	0,1875	0,165	0,1425	0,12	
0	1,3	1,1875	1,075	0,9625	0,85	0,7375	0,625	0,5125	0,4	
1	5,15	4,7187	4,2875	3,8562	3,425	2,9937	2,5625	2,1312	1,7	

Для зменшення трудомісткості досліджень [8, 10, 11] був розроблений план проведення експериментів (табл.3). Для оцінки впливу чинників на функцію $f(F_n)$, що досліджувалась побудовані графіки на рис.

В якості регресійної моделі прийнято поліноміальна залежність виду: $y = c + a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_4x_4 + a_5x_1x_2 + a_6x_1x_3 + a_7x_1x_4 + a_8x_2x_3 + a_9x_2x_4 + a_{10}x_3x_4 + a_{11}x_1x_2x_3 + a_{12}x_1x_2x_4 + a_{13}x_2x_3x_4 + a_{14}x_1x_3x_4$.

Таблиця 3

План проведення експерименту по визначенню сили тиску води (F_H), що діє на носову частину Мп.

Чинники які досліджувалися в ході експерименту																	
X ₁ - Швидкість руху машини, що плаває, (у числах Рейнольдца Re).																	
X ₂ - Площа носової частини Мп, зануреної у воду (S _n), м ² .																	
X ₃ - Кут нахилу носової частини Мп (α_n), °.																	
X ₄ - Кут нахилу днища Мп (β_d) ° щодо поверхні води.																	
РІВНІ		X ₁				X ₂				X ₃		X ₄					
Основний		9,16x10 ⁻⁶ Re				1,4 м ²				40°		0°					
Інтервал		9,16x10 ⁻⁶ Re				1,925 м ²				6°		6°					
Верхня межа		1,83x10 ⁻⁵ Re				5,25 м ²				46°		+6°					
Нижня межа		0 Re				3,33 м ²				34°		-6°					
Значення чинників що кодуються та їх ефектів взаємодії																Результат	
№	X ₀	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₁ X ₂	X ₁ X ₃	X ₂ X ₃	X ₁ X ₄	X ₂ X ₄	X ₃ X ₄	X ₁ X ₂ X ₃	X ₁ X ₂ X ₄	X ₂ X ₃ X ₄	X ₁ X ₂ X ₃ X ₄	Y (функція відклику F _H)	
Чинники						Ефекти взаємодії										Y (функція відклику F _H)	
1	+1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	+1		0
2	+1	-1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1	-1	-1	+1		0
3	+1	+1	-1	-1	+1	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	+1	+1	+1		8,252
4	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1		5,15
5	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	-1		0
6	+1	-1	+1	+1	+1	-1	-1	+1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1		0
7	+1	+1	-1	+1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1	-1	-1		9,6
8	+1	+1	+1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1	-1		4,2875
9	+1	-1	-1	+1	-1	+1	-1	-1	+1	+1	-1	+1	-1	+1	-1		0
10	+1	-1	+1	-1	-1	-1	+1	-1	+1	-1	+1	+1	-1	+1	-1		0
11	+1	+1	-1	-1	-1	-1	-1	+1	-1	+1	+1	+1	+1	-1	-1		3,5
12	+1	+1	+1	+1	-1	+1	+1	+1	-1	-1	-1	+1	-1	-1	-1		2,5625
13	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	-1	-1	-1	-1		0
14	+1	-1	+1	+1	-1	-1	-1	+1	+1	-1	-1	-1	+1	-1	+1		0
15	+1	+1	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1	+1		5,5
16	+1	+1	+1	-1	-1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	-1	-1	+1	-1		1,7

Коефіцієнти регресії визначаються ітераційним квазі Ньютонівським методом [11] із заданим критерієм збіжності, рівним 0,0001. Результати обчислень коефіцієнтів регресії конкуруючих математичних моделей (ММ) наведені у табл. 4.

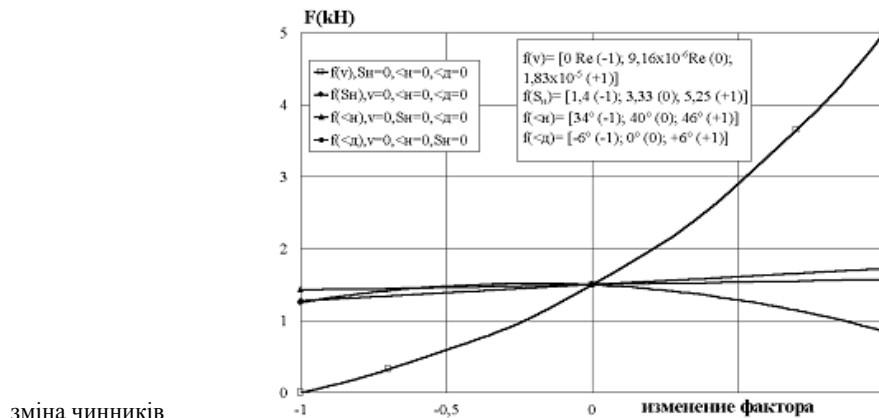


Рис. Вплив чинників, S_n; α_n (на графіку <n); β_d (на графіку <d) на функцію відклику: $F_H = f(v, S_n; \alpha_n; \beta_d)$

Висновки

Отримані результати показують, що максимальна похибка обчислень величини сили F_n за розглянутими математичними моделями складає:

- з урахуванням усіх вхідних факторів і ефектів взаємодії до третього порядку включно |0,125%|;
- з урахуванням тільки вхідних факторів |3,6%|;
- з урахуванням вхідних факторів і ефектів взаємодії першого порядку |1,0%|;
- з урахуванням вхідних факторів і ефектів взаємодії 1-го і 2-го порядку |0,32%|.

Порівняльний аналіз показав, що використання математичних моделей без обліку ефектів взаємодії першого і другого порядку неприпустимо в зв'язку з недостатньою точністю результату.

Таким чином, у ході проведення дослідження була отримана математична модель, яка дозволяє визначити величину сили R_x діючу на носову частину корпусу Мп. Запропонована математична модель може бути використана у розрахунку повного опору води на Мп.

Таблиця 4

Коефіцієнти регресії конкуруючих математичних моделей

Коеф. регресії з урахуванням чинників до 3-го порядку включно (max. похибка 0,001322257244)							
C	a_0	X_1	X_2	X_3	X_4	X_1X_2	X_1X_3
-1,692	1,15972	0,643382	-0,109	0,032401	0,165388	-0,104	0,0225
X_2X_3	X_1X_4	X_2X_4	X_3X_4	$X_1X_2X_3$	$X_1X_2X_4$	$X_2X_3X_4$	$X_1X_2X_3X_4$
0,022797	0,15453	-0,026	-0,005	0,017846	-0,03	-0,014	-0,01
Коефіцієнти регресії з урахуванням взаємодії тільки факторів (max похибка 1,322257244)							
Const.C	Const. a_0	при X_1	при X_2	при X_3	при X_4		
-0,344	0,263155	1,329049	-0,306	0,101372	0,322263		
Коефіцієнти регресії з урахуванням взаємодії 1-го порядку (max похибка 0,145092220)							
C	a_0	X_1	X_2	X_3	X_4	X_1X_2	X_1X_3
-1,193	0,950404	0,769252	-0,1123	0,036463	0,189236	-0,1188	0,036724
X_2X_3	X_1X_4	X_2X_4	X_3X_4				
0,01216	0,132793	-0,039	0,0013				
Коефіцієнти регресії з урахуванням взаємодії 1-го і 2-го порядку (max похибка 0,004614956)							
C	a_0	X_1	X_2	X_3	X_4	X_1X_2	X_1X_3
-1,668	1,152035	0,649946	-0,110	0,029341	0,166731	-0,101	0,019952
X_2X_3	X_1X_4	X_2X_4	X_3X_4	$X_1X_2X_3$	$X_1X_2X_4$	$X_2X_3X_4$	
0,025071	0,15476	-0,024	-0,002	0,01577	-0,037	-0,02	

Література

1. Бугаев С.В. Плавающая машина. Теория и эксперимент.- Одеса Друк. ОДМУ., 2000.-253 С.
2. Крыжний А.В., Бугаев С.В. Шляхи підвищення швидкості руху на воді низькобортної гусеничної плаваючої машини.// Труди ЦНДІ ОіВТ.- 1999.-№ 3. С.58-65.
3. Степанов А.П. Конструкция и расчет плавающих машин. - М.: Машиностроение, 1978. -232.С.
4. Степанов А.П. Методика расчета основных водоходных качеств плавающих машин. Навчальний посібник. М. АБТВ, 1971.- 41 С.
5. Крыжний А.В., Бугаев С.В. Дослідження ходових якостей низькобортної гусеничної машини в режимі плавання.// Труди ЦНДІ ОіВТ.- 2002.-№11.С.68-76.
6. Бугаев С.В. Аэродинамические исследования распределения давления по контуру погруженной части плавающей машины.// Вісник ОДМУ – 1999.-№4.С.85-93.
7. Методы подобия и размерности в механике. М.,: Наука, 1967.- 148 С.
8. Адлер Ю. П., Маркова Е. В., Грановский Ю. В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий М.: Наука, 1976.- 69-154 С.
9. Крыжний А.В., Бугаев С.В. Изучение конструктивных особенностей плавающей техники с использованием ПЭВМ. // Матеріали 5-ї міжнарод. наук.-метод. конф. "Удосконалення підготовки спеціалістів"- Одеса: ОДАБА, 2000.- С. 225
10. Бююль А., Цёфель П. SPSS: искусство обработки информации. Анализ статистических данных и восстановление скрытых закономерностей.- С.Петербург, Киев. «DiaSoft», 2002. - 602 С.
11. Боровиков В.П., Боровиков И.П. Statistica статистический анализ и обработка данных в среде Windows. М: «Филинь», 1997. - 583 С.