

УДК 629.5.01
DOI [https://doi.org/10.15589/znp2024.1\(494\).2](https://doi.org/10.15589/znp2024.1(494).2)

STUDY OF THE INFLUENCE OF GEOMETRIC PARAMETERS ON STABILITY AND SEAWORTHINESS OF PACSCAT

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ НА ОСТІЙНІСТЬ ТА МОРЕХІДНІСТЬ PACSCAT

Tetiana V. Tomashevskia
tatiana.tomashevskia@nuos.edu.ua
ORCID: 0000-0002-3863-4477

Т. В. Томашевська,
аспірант, провідний інженер-конструктор

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв

Abstract. PACSCAT is an innovative type of vessel that combines the characteristics of hovercraft and catamarans. These vessels are supported by excessive static pressure generated by the operation of fans. A special feature of PACSCAT is the rigid side elements – skegs, which provide the vessel with good buoyancy. PACSCAT is a high-speed vessel that can be operated in a wide range of external conditions. The design of PACSCAT is based on the synthesis and study of mathematical models that predict the qualities and characteristics of the future vessel and take into account its interactions with the external environment. The gradual study of the numerous physical processes that accompany movement in marine conditions makes it possible to estimate all the necessary parameters. The complexity of the PACSCAT system and its interrelationships imposes many constraints and assumptions, and the design process itself is always a set of trade-offs in achieving the optimal result. Higher values of speed, maneuverability, or load capacity are desirable when looking for optimal performance, but ensuring qualities such as stability and seaworthiness are the primary concern of the designer. Therefore, the study and relationship of these qualities requires additional attention.

Purpose. To find the influence regularities of the PACSCAT hull geometric ratios on the elements of stability and seaworthiness. **Method.** The mathematical and analytical apparatus of the Maxsurf software package was used to calculate stability and seaworthiness. **Results.** The materials in the available sources related to the PACSCAT stability and seaworthiness calculations were analyzed. The statistical data concerning the influence peculiarities of the of the dimensions and geometric ratios of PACSCAT on stability and seaworthiness were analyzed. A set of calculations was carried out to determine the influence of the main geometric parameters of PACSCAT on stability and seaworthiness.

Scientific novelty. For the first time, a series of stability and seaworthiness calculations was performed using Maxsurf modules to obtain the regularities of the influence of PACSCAT geometric ratios. **Practical importance.** Application of the research results in the design of PACSCAT and catamaran hulls.

Key words: PACSCAT; stability; seaworthiness; metacentric height; motion.

Анотація. PACSCAT – це інноваційний тип суден, що поєднує у собі характеристики суден на повітряній подушці та катамарану. Ці судна підтримуються надлишковим статичним тиском, утвореним роботою нагнітачів. Особливістю PACSCAT є наявність жорстких бортових елементів – скегів, які забезпечують судно гарною плавучістю. PACSCAT – високошвидкісне судно, що має можливість експлуатуватися в широкому діапазоні зовнішніх умов. В основі проектування PACSCAT лежить синтез та дослідження математичних моделей, що прогнозують якості та характеристики майбутнього судна та враховують його взаємозв'язки із зовнішнім середовищем. Поступове дослідження багаточисленних фізичних процесів, що супроводжують рух в морських умовах, дають можливість інженерної оцінки всіх необхідних параметрів. Складність системи PACSCAT та її взаємозв'язків накладає багато обмежень та припущень, крім того, сам процес проектування завжди є набором компромісних рішень при досягненні оптимального результату. Високі значення швидкості, маневреності чи вантажопідйомності є бажаними при пошуку оптимальних характеристик, але забезпечення такими якостями, як остійність та морехідність є першочерговою задачею проєктанта. Тому дослідження та взаємозв'язок цих якостей потребує додаткової уваги. **Мета.** Знаходження закономірностей впливу геометричних співвідношень корпусу PACSCAT на елементи остійності та морехідності. **Методика.** Для розрахунків остійності та морехідності використано математичний та аналітичний апарат програмного пакету Maxsurf. **Результати.** Проаналізовано матеріали, наявні у доступних джерелах, пов'язані з розрахунками остійності та морехідності

PACSCAT. Проаналізовані статистичні дані, що стосуються особливостей впливу розмірів та геометричних співвідношень PACSCAT на остійність та морехідність. Проведено комплекс розрахунків для встановлення впливу основних геометричних параметрів PACSCAT на остійність та морехідність. *Наукова новизна.* Вперше проведено цикл розрахунків остійності та морехідності за допомогою модулів Maxsurf для отримання закономірностей впливу геометричних співвідношень PACSCAT. *Практична значимість.* Застосування результатів дослідження при проектуванні PACSCAT та корпусів катамаранного типу.

Ключові слова: PACSCAT; остійність; морехідність; метацентрична висота; хитавиця.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Проектування судна типу PACSCAT є досить складним та об'ємним процесом, оскільки потребує охоплення великої кількості особливостей, пов'язаних з конструкцією та принципом руху. Крім того, інформація щодо проектування та експлуатації досить обмежена, у порівнянні з класичними типами суден. Тому, в процесі проектування часто доводиться вводити якісь припущення для спрощення розрахунків, але при цьому дотримуватися існуючих рекомендацій та вимог до цих типів суден.

Морехідні якості PACSCAT, як і будь-якого іншого типу судна, пов'язані між собою і впливають одна на одну, що потребує пошуку компромісних рішень у кожному окремому випадку, в залежності від того, які саме якості є найбільш вагомими. Але остійність та морехідність можуть підлягати компромісним коливанням тільки в суворих межах вимог до них.

На етапі концептуального проекту важливо врахувати якнайбільше факторів, що вплинуть на результат. Дослідження форми корпусу (в даному випадку скегів) є одним із важливих компонентів загальної мети – отримання оптимального проекту, зокрема, забезпеченого високими морехідними якостями.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Доступні сучасні дослідження PACSCAT здебільшого пов'язані з діяльністю китайських університетів та науковців. Зокрема, теоретичною основою виступає праця [1], що охоплює максимально об'ємну базу для проектування суден на повітряній подушці. В цій праці, у загальному числі, використані напрацювання радянських вчених в області суден на повітряній подушці амфібійного та скегового типів. Дослідженням PACSCAT займаються науковці Китаю, Кореї, Норвегії, США, Ірану, Пакистану та інших країн ([2] – [8] тощо), але доступних публікацій з результатами розрахунків, модельних чи натурних випробувань недостатньо. Можливо це пов'язане з тим, що PACSCAT здебільшого застосовується для військового призначення (ракетні, десантні катери тощо). ДП «ДПЦК» створило свій концептуальний проект ракетного катера типу PACSCAT, який потребує подальшого опрацювання та оптимізації [9].

ВІДОКРЕМЛЕННЯ НЕВИРІШЕНИХ РАНІШЕ ЧАСТИН ЗАГАЛЬНОЇ ПРОБЛЕМИ

Проаналізувавши доступні джерела, очевидно, що дослідженню остійності не приділяється увага у публікаціях останніх десятиліть, а морехідність досліджується за вузькими напрямками. Звичайно, теорія проектування такого типу суден була вивчена ще у ХХ столітті, а сучасні публікації повинні лише

адаптувати її під досягнення та вимоги технічного прогресу сучасності. Крім того, у більшості із наявних джерел досліджується загальний тип – SES, але відмінність PACSCAT від SES якраз у геометричних співвідношеннях та формі скегів, тож ця тема потребує окремого дослідження.

МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою дослідження є вивчення впливу геометрії скегів PACSCAT на його остійність та морехідність.

Опис дослідження:

- аналіз теоретичних та статистичних даних щодо геометричних співвідношень PACSCAT та їх вплив на остійність та морехідність;
- розробка математичних моделей для проведення розрахунків остійності та морехідності;
- аналіз отриманих результатів та формулювання рекомендацій щодо оптимальних геометричних параметрів корпусу, що забезпечать найкращу остійність та морехідність.

МЕТОДИ, ОБ'ЄКТ ТА ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕННЯ

Об'єктом дослідження є процес проектування корпусу PACSCAT з оптимальними характеристиками. Предметом дослідження є математичні моделі PACSCAT, розрахункові методи та нормативні засади. При виконанні досліджень застосовувались: теорія проектування суден з динамічними принципами підтримання, методи програмного розрахунку пакету Maxsurf, а також аналіз експериментальних досліджень суден такого типу.

ОСНОВНИЙ МАТЕРІАЛ

1. Теоретична частина

При проектуванні PACSCAT остійність розглядається на всіх можливих режимах експлуатації: плавання у водотоннажному режимі та рух у розвантаженому стані. Кількісні критерії та характеристики елементів остійності у водотоннажному режимі аналогічні критеріям та характеристикам остійності водотоннажних суден: метацентричні висоти, діаграми статичної та динамічної остійності тощо. В режимі руху на повітряній подушці допустимі тільки порівняно невеликі кути нахилу корпусу відносно опорної поверхні: при порушенні цієї умови з'являються значні аерогідродинамічні сили, що викликають порушення стійкості руху, тому робиться оцінка переважно початкової остійності.

Плавання PACSCAT подібно до плавання катамарану при малому вертикальному кліренсі між днищем основного корпусу і поверхнею води, скеги частково занурені у воду. Цей тип корпусу має високу початкову остійність, що сприяє суттєвому зниженню кутів хитавиці на хвилюванні, тому при оцінці остійності

в якості розрахункового кута крену на навітряний борт приймається 15° .

Вплив бокового вітру розраховується з урахуванням району та умов плавання. При назначених розрахункових значеннях кута крену і сили вітру приймається до уваги двояка дія вітру: по-перше, безпосередній тиск на борт судна, що викликає крен, по-друге, утворення хвиль, що викликають хитавицю. Внаслідок великої ширини корпусу площа парусності збільшується при збільшенні кута крену. Однак і при цій умові не знайдено небезпечних комбінацій одночасної дії вітру та хитавиці, оскільки ці судна мають високу остійність.

Непрямоїсність та несиметричність скегів призводить до того, що навіть мале нахилення викликає нерівність вхідних та вихідних об'ємів скегів, тобто порушується вертикальна рівновага. Отже, геометрія скегів певним чином впливає на показники остійності.

Наступною моментом від повітряної подушки маємо:

$$h = \frac{M_{\theta}}{gD\theta} \approx \frac{\alpha_{sw} L_{sw} B_{sw} (B_c + B_{sw})^2}{gD} - z_g.$$

Окрім геометрії скегів на остійність PACSCAT впливає витрата повітря Q . При крені PACSCAT скег, що входить у воду, частково розвантажує повітряну подушку, тому тиск у підкупольній частині при збільшенні крену меншає. У відповідності до характеристики підйомної системи при збільшенні кута крену витрата повітря Q зростає. Розподілення тиску по площі повітряної подушки в процесі нахилення залишається практично рівномірним, тому момент від повітряної подушки складає малу частину загально-го відновлювального моменту.

Основну частину відновлювального моменту складає момент гідростатичної природи, що утворюється зануреним у воду скегом. Саме він і буде досліджуватись у цій праці.

Остійність PACSCAT змінюється в залежності від швидкості судна. Відновлювальний момент накреного судна більше всього зменшується в зоні швидкостей «горбу» хвильового опору. Основна причина зменшення відновлювального моменту пов'язана з формою хвиль у поздовжній площині судна, що виникають у результаті переміщення області підвищеного тиску по поверхні води, а також несиметричності відносно ДП хвилеутворення від переміщення скегів та гнучких загороджень.

Через відсутність розрахункових методик визначення остійності PACSCAT на ходу у IMO High-Speed Craft Code є вимоги до її експериментальної перевірки. Тож, ця частина також виключена з об'єму дослідження в межах цієї праці.

Оскільки PACSCAT підтримуються повітряною подушкою, відповідно мають ряд особливостей руху, характерних для суден на повітряній подушці, що рухаються на хвилях. Гіпотеза Фруда-Крилова, спільні коливання гнучких загородж/повітропроводу/нагнітача, нелінійні ефекти нагнітачів і гнучких загородж, ефект стиснення повітря у подушці, розподіл тиску повітря у подушці, визначення демпфування подушки і доданої маси – все це становить низку проблем при дослідженні PACSCAT на хвилях.

Судно на повітряній подушці можна розглядати як більш складну коливальну систему з декількома ступенями свободи, тобто нагнітач/повітропроводи/гнучкі загородж/повітряна подушка/скеги, як додаткові параметрами руху.

Гіпотеза Фруда-Крилова про те, що на форму хвилі, яка проходить, не впливає корпус судна є важливою гіпотезою, яку слід враховувати при вивченні руху судна на хвилях. Згідно з цим припущенням, будь-яка відбита або випромінювана енергія хвиль ігнорується. Оскільки існує різниця в густині між водою у хвилях і повітряною подушкою під тиском, такий вплив можна вважати незначним. Скеги PACSCAT схильні до тих же закономірностей, що і водотоннажне судно, з додатковим ускладненням взаємодії корпусів катамаранів.

Під час руху судна на повітряній подушці у хвилях тиск на подушці буде швидко змінюватися, що призводить до того, що нагнітач працює не в розрахунковій точці і, можливо, спричиняє нелінійні ефекти. Крім того, високочастотні коливання тиску на подушці викликають динамічну реакцію з ефектом гістерезису нагнітача. Ці фактори призводять до значних ускладнень у дослідженні морських суден на повітряній подушці.

Коли судно на повітряній подушці рухається у хвилях, іноді контакт обшивки з поверхнею води може викликати реакцію обшивки та гідродинамічні ефекти на обшивці. Іноді кромка буде відриватися від поверхні води, створюючи додаткову зону витoku повітря. З цієї причини нелінійний вплив бортів на рух судна буде сильним.

У випадку, коли PACSCAT рухається по схвильованій поверхні з великою швидкістю, можна вважати, що тиск у подушці розподілений рівномірно.

В умовах хитавиці скеги PACSCAT перебувають періодично то у повітрі, то у воді, тому коефіцієнти доданої маси і демпфування явно змінюються з плином часу. Тому точне визначення коефіцієнта демпфування ускладнене через хвилеутворення і доводиться робити спрощувальні припущення.

2. Експериментальна частина

Для проведення серії розрахунків з дослідження впливу геометрії скегів на остійність та морехідність створено математичну модель з геометричними варіаціями. На рис. 1 зображено геометрію корпусу PACSCAT.

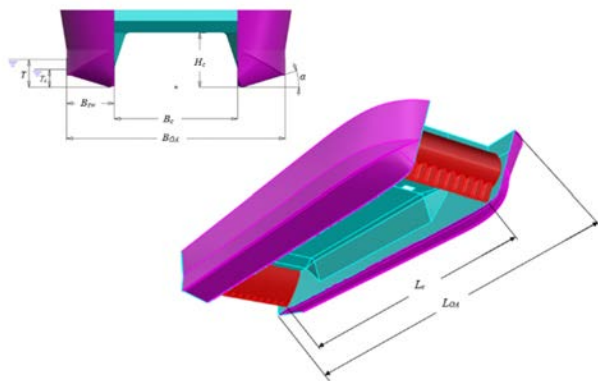


Рис. 1. Геометрія корпусу PACSCAT

У таблиці 1 представлені головні розміри розрахункової моделі PACSCAT.

Таблиця 1

Величина	Символ	Значення	Одиниці вимірювання
Загальна довжина	L_{OA}	32,0	м
Загальна ширина	B_{OA}	11,0 (варіативна величина)	м
Середня осадка у нерозвантаженому стані	T	1,4	м
Середня осадка у розвантаженому стані	T_c	0,9	м
Кут скосу скегу	α	17 (варіативна величина)	градус
Ширина скегу	B_{sw}	2,4 (варіативна величина)	м
Довжина повітряної подушки	L_c	25,7	м
Ширина повітряної подушки	B_c	6,2 (варіативна величина)	м
Висота повітряної подушки	H_c	2,8	м
Водотоннажність у розвантаженому стані	Δ	74 (варіативна величина)	м ³

Умови експерименту:

- розрахунки остійності виконано у модулі Maxsurf Stability, морехідності – у Maxsurf Motions;
- діапазон варіативних значень прийнято з урахуванням аналізу геометрії суден-прототипів;
- змінюватись будуть такі параметри: кут α , ширина повітряної подушки B_c та ширина скегів B_{sw} ;
- утримання на фіксованому значенні осадки у 0,9 м здійснюється шляхом збільшення/зменшення потоку повітря у повітряну подушку, отже до параметрів остійності та хитаючи додається ще й показник Q . Розрахунок виконано за формулами, наведеними у праці [5]:

$$Q = \bar{Q} S_c \sqrt{2 p_c / \rho_a},$$

де $\bar{Q}$ – відносний показник витoku повітря (приймається 0,003 за прототипом [5]); $p_c = g (D - 2r W_{sw}) / S_c$.

– розрахунок морехідності виконується для таких умов:

- 1) швидкість ходу 40 вузлів;
- 2) стан моря – 3 бали (висота хвиль – 1,25 м, період – 5,9 с);
- 3) заливаємість розраховується у крайній носовій точці верхньої палуби, слемінг – у районі носового перпендикуляру на підшві скегу,

прискорення – у передбаченому місці розташування ходової рубки;

4) хвильовий спектр – JONSWAP;

– слемінг днища визначається як ймовірність перевищення значення осадки катера або відстані точки, що досліджується, від КВЛ z_{crit} у відповідності до вертикальних переміщень z або $z > z_{crit}$, а також перевищення граничної швидкості $z' > z'_{crit}$. Середнє число ударів за одиницю часу визначається за формулою:

$$N_{SL} = [\omega z' / (2\pi)] 3600 \text{ prob}(z > z_{crit}) \text{ prob}(z' > z'_{crit}) = [\omega z' / (2\pi)] 3600 \exp[-(z_{crit})^2 / (2 m_0 z) - (z'_{crit})^2 / (2 m_0 z')].$$

– Заливаємість палуби визначається як ймовірність перевищення значення надводного борту z_{crit} у відповідності до вертикальних переміщень z або $z > z_{crit}$. Для інтервалу часу, що дорівнює одній годині (3600 с), середнє число занурень знаходиться за формулою:

$$N_{DW} = [\omega z' / (2\pi)] 3600 \text{ prob}(z > z_{crit}).$$

– значення коефіцієнту демпфування прийнято відповідно до [1], [8].

Дослід 1. Дослідження впливу скосу скегу на остійність та морехідність

В якості варіативної величини приймається три значення α : 10°, 17°, 30°.

В таблиці 2 наведено результати впливу зміни кута α на основні параметри остійності та морехідності.

Таблиця 2

α		10°	17°	30°	Критерії ІМО [10]
Остійність	h , м	17,9	29,7	29,7	
	θ_{max} , градус	15,5	12,7	12,7	≥ 10
	S_{30} , м·градус	35,42	31,46	30,69	$\geq 3,15$
	$S_{GZ/HA}$, м·градус	19,66	22,16	16,37	$\geq 1,64$
	S_1/S_2 , м·градус	2,76	2,19	1,64	$\geq 1,4$
	θ_{eq} , градус	0,8	1,1	1,7	≤ 15
Морехідність (пікові значення)	R_{add} , кН	5,1	4,6	3,9	
	a , м/с ²	2,8	3,0	3,9	$\leq 0,4g$ (3,92 м/с ²)
	A_{roll} , градус	8,62	8,22	8,45	$\leq 12^\circ$ («кут паніки»)
	A_{pitch} , градус	1,64	1,58	1,63	
	A_{heave} , м	0,639	0,631	0,651	
	N_{SL} , рази	0	0	0	
	N_{DW} , рази	0	0	0	
	Q , м ³ /с	20,2	37,5	44,8	

Графічне відображення результатів дослідів 1 наведено на рисунку 2.

Дослід 2. Дослідження впливу ширин скегу та ПП на остійність та морехідність

У таблиці 3 наведені варіативні значення геометричних величин, для яких проведені розрахунки.

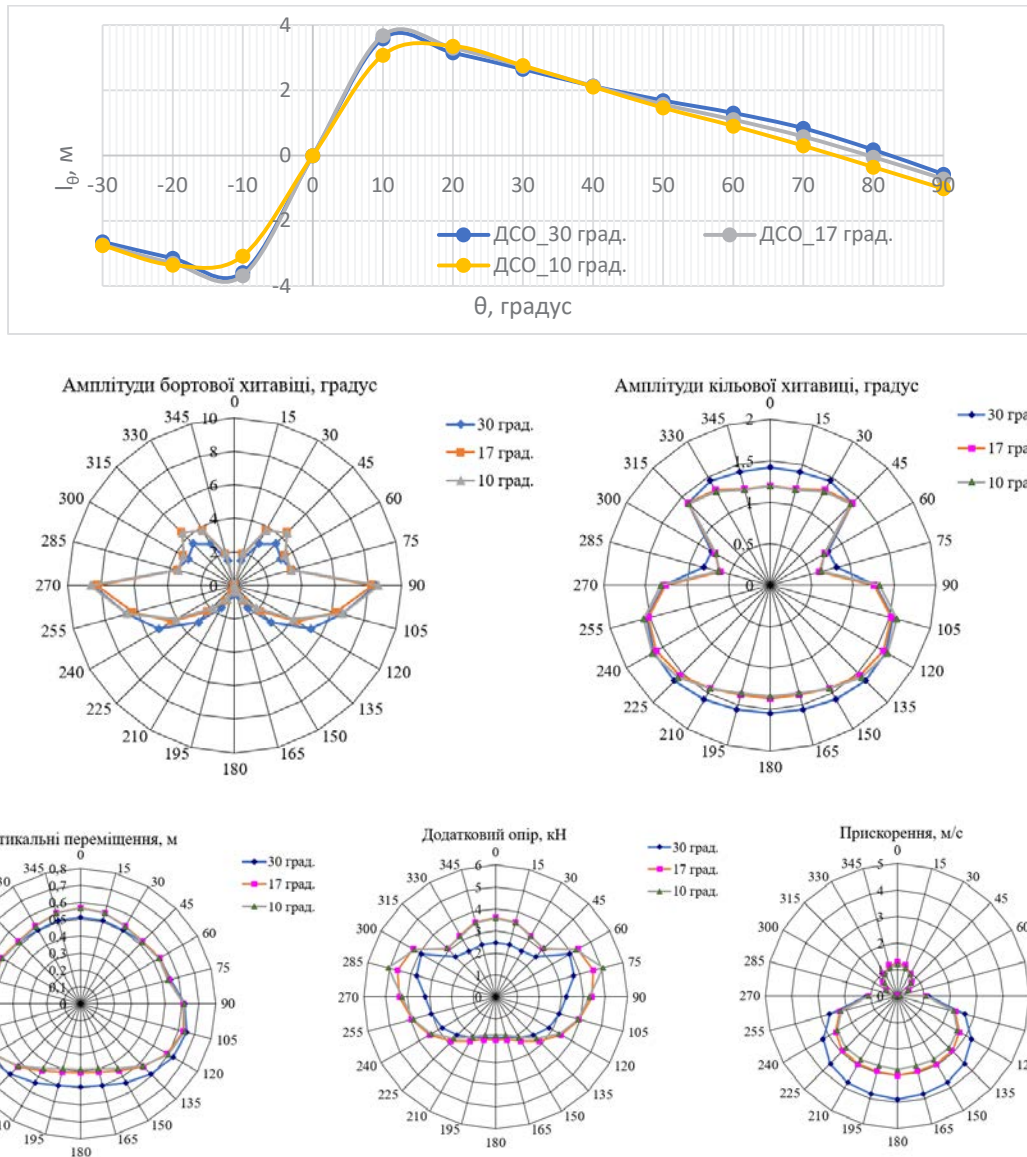


Рис. 2. Графічні результати дослідів 1

Таблиця 3

Варіант	$B_{sw}, \text{ м}$	$B_c, \text{ м}$	$B_{OA}, \text{ м}$	B_{sw}/B_c	H_c/B_c
1	2,4	6,2	11	0,39	0,45
2	2,4	7,2	12	0,33	0,39
3	2	7	11	0,29	0,40
4	2	8	12	0,25	0,35
5	2,8	5,4	11	0,52	0,52
6	2,8	6,4	12	0,44	0,44

У таблиці 4 наведено результати впливу ширин скегу та ПП на основні параметри остійності та морехідності.

Графічне відображення результатів дослідів 2 наведено на рисунку 3.

ОБГОВОРЕННЯ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

Отримані результати дозволяють зробити певні висновки щодо впливу геометричних співвідношень корпусу PACSCAT на елементи остійності та морехідності. Отримані результати будуть враховані в подальшій роботі над проектами ДП «ДПЦК».

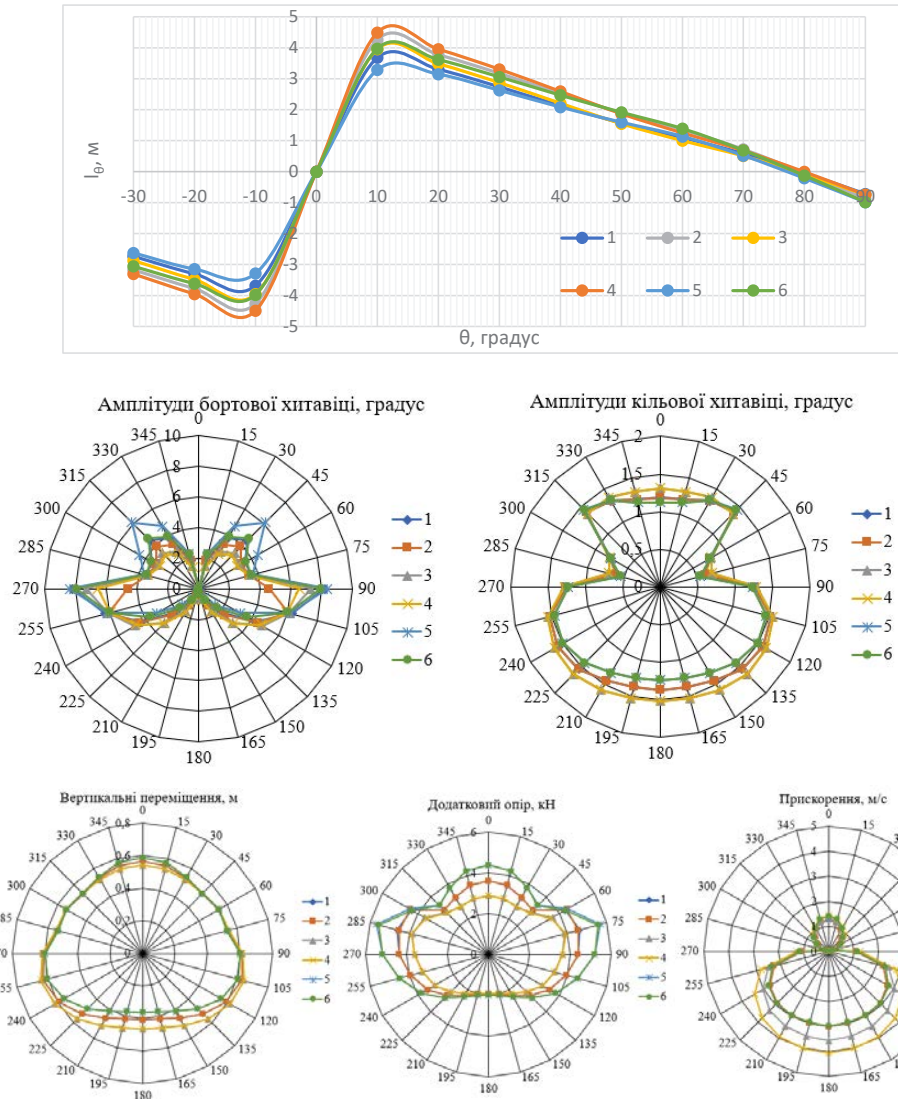


Рис. 3. Графічні результати дослідів

Таблиця 4

$B_{OA}, B_{Sw}, B_c, \text{ м}$		$B_{OA}=11, B_{Sw}=24, B_c=6,2$	$B_{OA}=12, B_{Sw}=24, B_c=7,2$	$B_{OA}=11, B_{Sw}=20, B_c=7,0$	$B_{OA}=12, B_{Sw}=20, B_c=8,0$	$B_{OA}=11, B_{Sw}=28, B_c=5,4$	$B_{OA}=12, B_{Sw}=28, B_c=6,4$	Критерії ІМО [10]
Остійність	$h, \text{ м}$	29,7	36,9	32,4	40,5	24,8	31,7	
	$\theta_{max}, \text{ градус}$	12,7	12,7	12,7	12,7	13,6	12,7	≥ 10
	$S_{30}, \text{ м градус}$	31,46	36,48	33,86	38,40	31,21	33,96	$\geq 3,15$
	$S_{GZ/H\Delta}, \text{ м градус}$	22,16	28,40	23,30	28,80	20,13	27,28	$\geq 1,64$
	$S_1/S_2, \text{ м градус}$	2,19	2,42	1,88	2,16	2,50	2,69	$\geq 1,4$
	$\theta_{eq}, \text{ градус}$	1,1	0,9	1,2	1,0	0,9	0,8	≤ 15
Морехідність (пікові значення)	$R_{add}, \text{ кН}$	4,6	4,5	3,9	3,9	5,7	5,6	
	$a, \text{ м/с}^2$	2,99	2,99	3,57	4,07	2,99	2,99	$\leq 0,4g$ ($3,92 \text{ м/с}^2$)
	$A_{roll}, \text{ градус}$	8,22	6,03	7,32	6,58	8,41	7,97	$\leq 12^\circ$ («кут паніки»)
	$A_{pitch}, \text{ градус}$	1,58	1,58	1,64	1,64	1,50	1,50	
	$A_{heave}, \text{ м}$	0,631	0,631	0,646	0,646	0,607	0,607	
	$N_{SL}, \text{ рази}$	0	0	0	0	0	0	
	$N_{DW}, \text{ рази}$	0	0	0	0	0	0	
$Q, \text{ м}^3/\text{с}$		37,5	40,4	43,6	46,7	28,9	31,5	

ВИСНОВКИ

1. Вплив геометрії на остійність доречно розглядати тільки разом з впливом на морехідність, оскільки PACSCAT має надлишкову поперечну метацентричну висоту, яка негативно впливає на морехідність, зокрема на бортову хитавицю та прискорення.

2. Зменшення ширини скегу, як за рахунок великого кута скосу (дослід 1), так і розширення бортів зі сталим кутом (дослід 2), очікувано, вплинув позитивно на додатковий опір, але при цьому значно зросло прискорення. Крім того, зменшення водотоннажності необхідно компенсувати значно більшою продуктивністю нагнітачів.

3. Вплив геометрії на кильову хитавицю та вертикальні переміщення незначний, але значення вертикальних переміщень такі, що значно впливають на вихід скегів з води, тобто і на остійність при русі. Отже, дослідження остійності при проектуванні важливо проводити саме в динаміці руху.

4. Деяке зменшення амплітуди бортових коливань можна досягти за рахунок збільшення ширини ПП при збереженні ширини скегів, при цьому інші показники морехідності залишаються майже сталими.

5. Впливу на слемінг та заливаємість не спостерігається.

ПРИЙНЯТІ ПОЗНАЧЕННЯ ТА АБРЕВІАТУРИ

ДКМ – діаграма кренувального моменту;

ДСО – діаграма статичної остійності;

ПП – повітряна подушка;

h – поперечна метацентрична висота;

$M_{\text{св}}$ – відновлювальний момент;

$\pm_{\text{св}}$ – коефіцієнт повноти площі ватерлінії скегу;

$L_{\text{св}}$ – довжина скегу;

$B_{\text{св}}$ – ширина скегу;

B_c – ширина ПП;

z_g – апліката центру ваги корпусу;

Q – швидкість потоку повітря;

$\bar{Q}$ – відносний показник витoku повітря;

S_c – площа ПП;

p_c – тиск у ПП;

$\dot{A}_a$ – щільність повітря;

$\dot{A}$ – щільність води;

D – вага судна;

$W_{\text{св}}$ – об'єм скегу;

N_{SL} – кількість випадків слемінгу за годину;

N_{DW} – кількість випадків заливаємість за годину;

θ_{max} – кут крену, при якому виникає максимальне плече відновлювального моменту;

S_{30} – площа ДСО, обмежена кутами крену $0 - 30^\circ$;

$S_{GZ/HA}$ – площа ДСО, обмежена ДКМ;

S_1/S_2 – відношення площі між ДСО та ДКМ, обмеженої кутом рівноваги та кутом заочучання до площі між ДСО та ДКМ, обмеженої кутом рівноваги та 15° ;

θ_{eq} – кут рівноваги;

l_θ – плече відновлювального моменту;

R_{add} – додатковий опір;

A_{roll} – амплітуда бортової хитавиці;

A_{pitch} – амплітуда бортової хитавиці;

A_{heave} – амплітуда вертикальних переміщень.

REFERENCES

- [1] Yun L., & Bliault A. (2005). Theory and Design of Air Cushion Craft: Arnold, London.
- [2] Yang J., Lin Zh., Gao Z., & Li P. (2019). A Study on the Motion of Partial Air Cushion Support Catamaran in Regular Head Waves: Water.
- [3] Molland A.F., Wilson P.A., Lewthwaite J.C., & Taunton D.J. (2005). An investigation into the hydrodynamic characteristics of a high-speed PACSCAT: 8th International Conference on Fast Sea Transportation.
- [4] Guo Zh., Qin H., & Ma Q.W. (2018). A study on hydrodynamics of the air cushion of a high-speed PACSCAT: City, University of London Institutional Repository.
- [5] Amir H., Feng H., Khan J., & Mehmood N. (2015). Partial Air Cushion Supported Catamaran concept design: 12th International Bhurban Conference on Applied Sciences and Technology.
- [6] Waters J. (2004). The Atlantic Center for the Innovative Design and Control of Small Ships: Surface Effect Ship (SES) Test Program: U.S. Naval Academy, Annapolis, session 1478.
- [7] Xie N., Vassalos D., Jasionowski A., & Sayer P. (2008). A seakeeping analysis method an air-lifted vessel: Ocean Engineering, vol. 35, 2008, p. 1512-1520.
- [8] Haukeland O. M., Hassani V., & Auestad Ø. (2019). Surface Effect Ship with Four Air Cushions Part II: Roll and Pitch Damping: Department of Marine Technology, Norwegian Univ. of Science and Technology, Trondheim, Norway.
- [9] Kryvko S.V., & Tomashevskaya T.V. (2020). «Povitrtjana podushka» z «Neptunom»: mikolajivskij raketnij kater «Bogomol»: Defense Express, http://defence-ua.com/minds_and_ideas/povitrtjana_podushka_z_neptunom_mikolajivskij_raketnij_kater_bogomol-2108.html.
- [10] International Code of Safety for High-Speed Craft (2000), 2008 Edition. 2000 HSC CODE, 2008 EDITION AS APPLICABLE TO CRAFT BUILT ON OR AFTER 1ST JULY 2008 Instructions for the Guidance of Surveyors.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Yun L., Bliault A. (2005). Theory and Design of Air Cushion Craft: Arnold, London.
- [2] Yang J., Lin Zh., Gao Z., Li P. (2019). A Study on the Motion of Partial Air Cushion Support Catamaran in Regular Head Waves: Water.

- [3] Molland A.F., Wilson P.A., Lewthwaite J.C., Taunton D.J. (2005). An investigation into the hydrodynamic characteristics of a high-speed PACSCAT: 8th International Conference on Fast Sea Transportation.
- [4] Guo Zh., Qin H., Ma Q.W. (2018). A study on hydrodynamics of the air cushion of a high-speed PACSCAT: City, University of London Institutional Repository.
- [5] Amir H., Feng H., Khan J., Mehmood N. (2015). Partial Air Cushion Supported Catamaran concept design: 12th International Bhurban Conference on Applied Sciences and Technology.
- [6] Waters J. (2004). The Atlantic Center for the Innovative Design and Control of Small Ships: Surface Effect Ship (SES) Test Program: U.S. Naval Academy, Annapolis, session 1478.
- [7] Xie N., Vassalos D., Jasionowski A., Sayer P. (2008). A seakeeping analysis method an air-lifted vessel: Ocean Engineering, vol. 35, 2008, p. 1512–1520.
- [8] Haukeland O. M., Hassani V., Auestad Ø. (2019). Surface Effect Ship with Four Air Cushions Part II: Roll and Pitch Damping: Department of Marine Technology, Norwegian Univ. of Science and Technology, Trondheim, Norway.
- [9] Kryvko S.V., Tomashevskaya T.V. (2020). «Povitrjana podushka» z «Neptunom»: mikolajivskij raketnij kater «Bogomol»: Defense Express, http://defence-ua.com/minds_and_ideas/povitrjana_podushka_z_neptunom_mikolajivskij_raketnij_kater_bogomol-2108.html.
- [10] International Code of Safety for High-Speed Craft. 2008 Edition. 2000 HSC CODE, 2008 EDITION AS APPLICABLE TO CRAFT BUILT ON OR AFTER 1ST JULY 2008 Instructions for the Guidance of Surveyors.

© Томашевська Т. В.

Дата надходження статті до редакції: 06.02.2024

Дата затвердження статті до друку: 21.02.2024