

demands of use for it of special marine equipment: Marine tethered system with flexible links and submersible vehicle robots.

Keywords: safety of water area, Marine tethered system (MTS) with flexible links (FL), underwater towed system (UTS), designing, perfection of designing, submersible vehicle robot.

УДК 629. 5.015.2

РОЗРАХУНКИ ОПОРУ СУДНА X-BOW ТИПУ В OPENFOAM

Тимошенко Виктор Федорович,

*кандидат технічних наук, доцент навчально наукового центру гідромеханіки
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова;*

Україна, Миколаїв

vftim@ukr.net,

Анотація. Проведено моделювання опору руху моделі судна з обводами носового краю типу X-BOW з використанням CFD OpenFOAM 8.x пакета в діапазоні швидкостей $FrL=0,06...0,39$. Здійснено порівняння результатів моделювання опору з розрахунками різними солверами у комплексі OpenFOAM. Наведено рекомендації щодо використання CFD пакету OpenFOAM для використання на початкових стадіях проектування суден X-BOW типу.

Ключові слова: опір; судно; X-BOW; CFD; OpenFOAM.

Вступна частина. В даний час проводяться різні дослідження в області ходовості та морехідності корабля, метою яких є зниження буксирувального опору та потужності для підвищення ефективності використання палива. Одним із альтернативних способів зменшити опір судна полягає в установці бульба на носі. Були розроблені різні форми бульбового носового краю, такі як, STX-bow [1,2], Axe bow [3], Ax-bow [4], Ulstein X-Bow [5] та ін. Найбільший інтерес представляє концепція X-Bow, так як в порівнянні зі сферичним і опуклим бульбом, що звужується, X-Bow створює на 10-15% менше повний опір [6], а також менші амплітуди кильової качки і прискорення при штормуванні судна. Такі форми носових обводів широко застосовуються на судах постачання бурових вишок, буксири рятувальники, середні та великі рибальські траулери та ін.

Метою роботи є перевірка ефективності CFD пакета OpenFOAM v8.x стосовно розрахунків опору руху суден X-Bow типу для використання його в початкових стадіях проектування.

Основна частина. Для перевірки ефективності CFD пакета OpenFOAM 8.x (mingw-w64 Double Precision (of8-64)) була створена в FREE!ship Plus v3.5 модель судна постачання бурових вишок за геометричними даними патенту [5], які представлені на рис. 1.

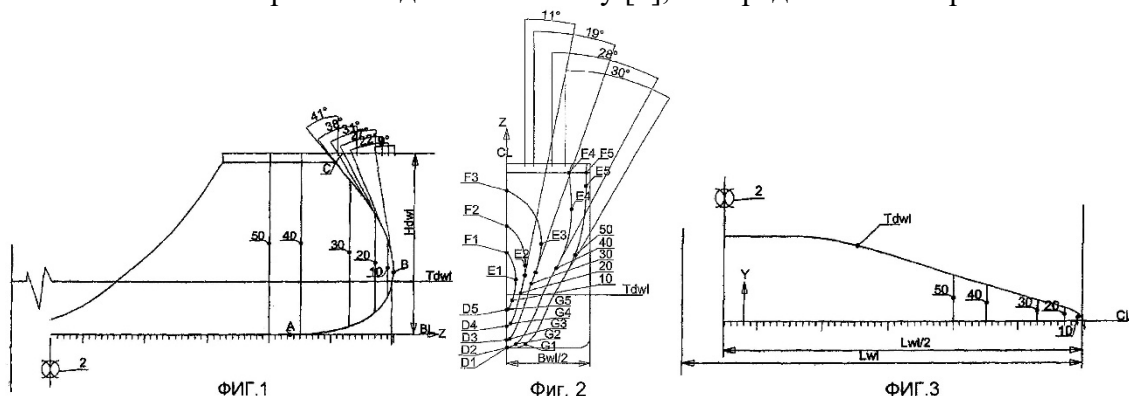
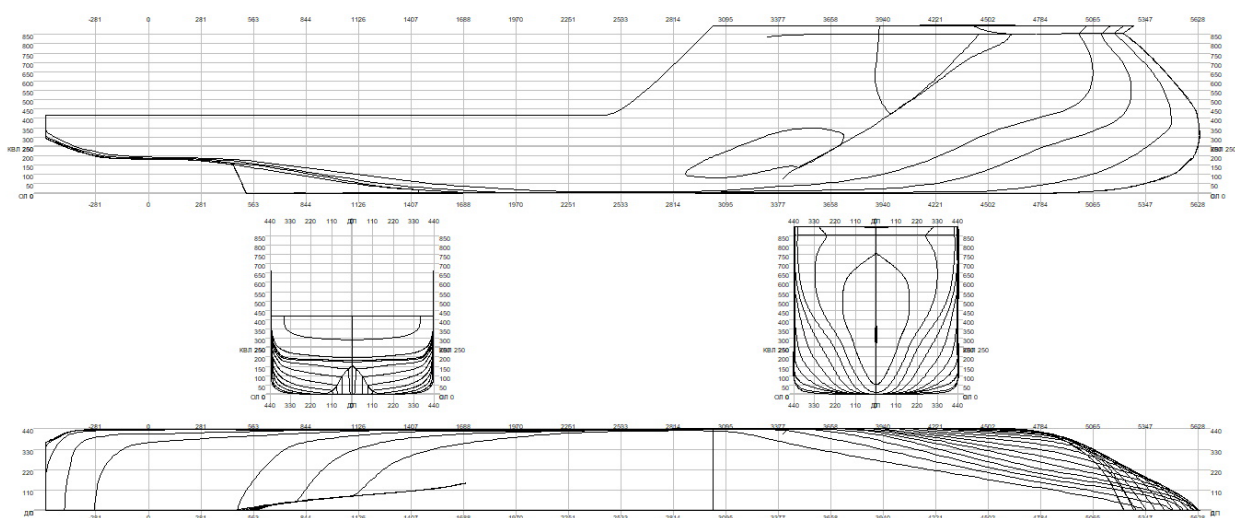


Рисунок 1 – Геометрія носових обводів судна типу Ulstein X-Bow

Параметри 3D моделі корпусу наведено у табл.1, а теоретичне креслення на рис.2.

Таблиця 1. Основні характеристики корпусу моделі

Довжина між перпендикулярами	5.628 м
Довжина максимальна	6.186 м
Ширина на міделі	0.880 м
Проектна осадка	0.250 м
Абсциса міделя	2.814 м
Об'ємна водотоннажність	0.805 м ³
Водотоннажність	0.804 тонн
Коефіцієнт загальної повноти	0.5968
Призматичний коефіцієнт	0.6228
Коефіцієнт вертикальної повноти	0.7129
Змочена площа поверхні	6.175 м ²
Абсциса Ц.В.	2.601 м
Абсциса Ц.В.	0.234 %
Площа міделя	0.213 м ²
Коефіцієнт повноти міделя	0.9583
Довжина ватерлінії	6.073 м
Ширина по ватерлінії	0.883 м
Площа ватерлінії	4.515 м ²
Коефіцієнт повноти ПЛ	0.8372
Абсциса Ц.Т. площі ватерлінії	2.265 м
Половина кута носового загострення	29.70 град

**Рисунок 2** – Теоретичне креслення корпусу моделі

Під час моделювання були задані такі дані:

- питома маса води $\rho_w = 998.8 \text{ кг/м}^3$;
- кінематичний коефіцієнт в'язкості води $\nu_w = 1.09 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$;
- питома маса повітря $\rho_a = 1 \text{ кг/м}^3$;
- кінематичний коефіцієнт в'язкості повітря $\nu_a = 1.48 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$;
- шорсткість поверхні корпусу - 100 мкм;
- RASModel kOmegaSST;
- application interFoam;

- кількість осередків - 880 тис.;
- кількість ітерацій до стаціонару - від 1200 до 5000;
- кількість ядер (потоків) - 12;
- процесор - AMD Ryzen 5 1600 Six-Core Processor 3.20 GHz.

Процесорний час розрахунку однієї ітерації становив ~ 3 сек, а повний процесорний час моделювання 6,6 годин для однієї швидкості.

На рисунку 3 наведені характерні криві опору в залежності від часу та швидкості моделі довжиною $L_{pp} = 5.628$ м.

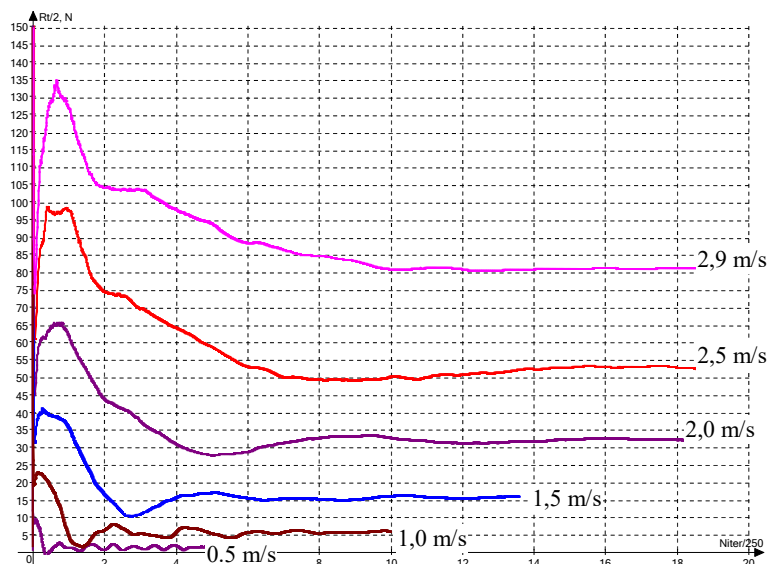


Рисунок 3 – Залежність повного опору $R_T/2$ моделі від швидкості та кількості кроків ітерацій.

Також були проведені розрахунки для 4-х швидкостей з використанням motionSolver rigidBodyMotion, результати яких представлені на рис. 4 залежно від швидкості та часу моделювання. Час моделювання становив 20-30 сек, крок за часом 0.0025 сек., процесорний час одну ітерацію ~ 9 сек, а повний час моделювання ~ 17 годин (для 2 м/сек). Як видно, при швидкостях 0,5 і 1,0 м/с опір не досягає постійного значення і визначалося шляхом опосередкування в діапазоні 10...20(30) сек. Великі амплітуди коливання опору пов'язані із змінами осадці, сили плавучості (рис. 5) та ходового диферента в процесі моделювання при використанні солвера rigidBodyMotion.

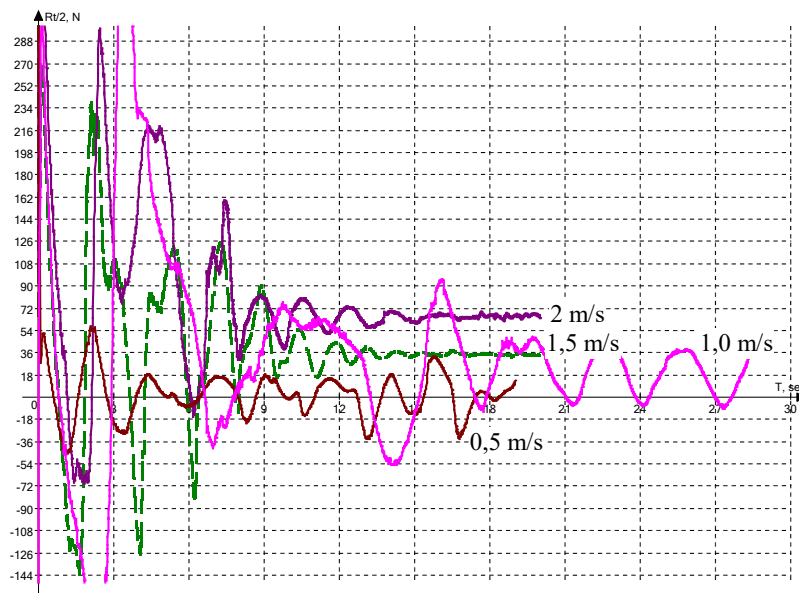


Рисунок 4 – Залежність повного опору $R_T/2$ моделі від швидкості та часу

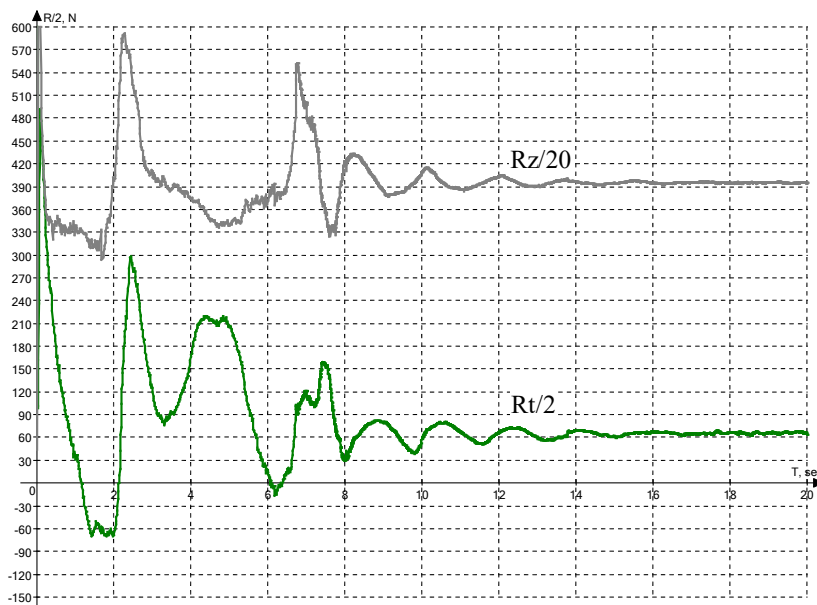


Рисунок 5 – Залежність повного опору $R_T/2$ та сили плавучості $R_z/2$ при швидкості 2,5 м/сек

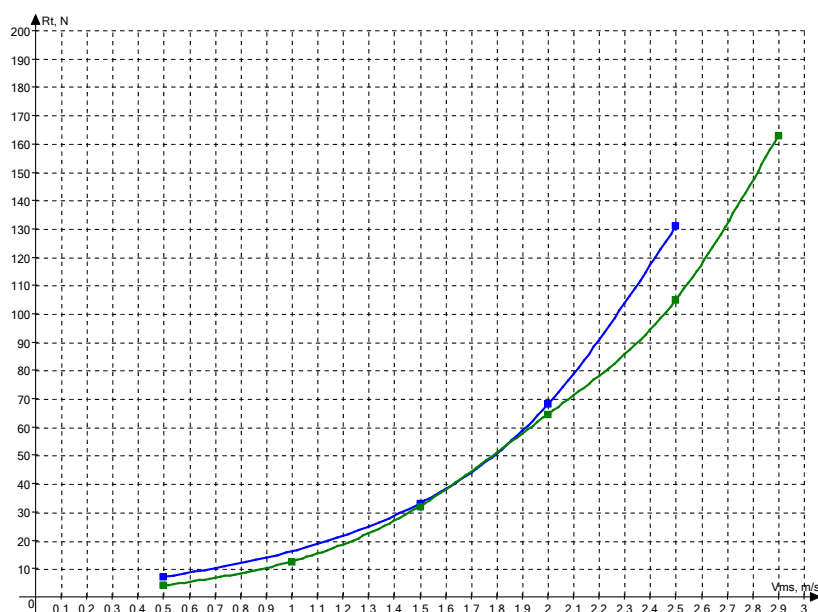


Рисунок 6 – Залежність повного опору R_T від швидкості за результатами розрахунків у OpenFOAM 8.x

На рис. 6 наведено результати розрахунку повного опору R_T для моделі в залежності від швидкості з використанням двох солверів. Як видно з графіків, повний опір в OpenFOAM 8.x досить добре моделюється при швидкостях до 2 м/с ($Fr_L=0.27$). При більших швидкостях похибка становить до 20%. Через значно більші витрати процесорного часу (майже в 3 рази) використання motionSolver rigidBodyMotion для водонимистих X-bow типу суден мабуть недоцільно.

Висновки. В результаті проведеного моделювання в OpenFOAM (двома солверами) опору моделі судна з обводами X-bow показало досить добрий збіг у широкому діапазоні швидкостей та можливість використання CFD пакета OpenFOAM v8 у початкових стадіях проектування X-bow типу суден.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] Baba, Eiichi, "Blunt Forms and Wave Breaking", Transactions SNAME, 1975
- [2] TVETE M.R. and BORGES H., "A Ship's Fore Body Form", U.S. Patent, 2012.
- [3] Keuning J.A., Serge Toxopeus and Jakob Pinkster "The effect of bow shape on the seakeeping performance of a fast monohull", FAST Conference Proceedings Southampton, 2001.
- [4] Matsumoto K., "Ax-Bow: A New Energy-saving Bow Shape at Sea", NKK Technical review 86, 2002.
- [5] Kamsvag, and Oyvind Gjerde, "Foreship arrangement for a vessel of the displacement type", U.S. Patent, 2010.
- [6] Kiryanto, Deddy Chrismianto and Ahmad Firdhaus. Analysis of Total Ships Resistance with Variation of Hull Bow Types, Ulstein X-Bow, Spherical and Tapering Bulbous Bow using CFD Method. In Proceedings of the 6th International Seminar on Ocean and Coastal Engineering, Environmental and Natural Disaster Management (ISOCEEN 2018), pages 60-64.

Resistance calculations of X-bow type vessel in OpenFOAM

Tymoshenko V.F.

Abstract. Modeling of the resistance to movement of a ship model with X-bow contours was carried out using CFD OpenFOAM 8.x package in the speed range $Fr_L=0.06...0.39$. The resistance modeling results are compared with calculations by various solvers in the OpenFOAM complex.

Recommendations are given on the use of the CFD package OpenFOAM for use in the initial stages of designing X-bow type ships.

Keywords: resistance; vessel; X-BOW; CFD; OpenFOAM

УДК 629. 5.015.2

ПОРІВНЯЛЬНІ РОЗРАХУНКИ ОПОРУ МОДЕЛІ СУДНА X-BOW ТИПУ В OPENFOAM ТА FREE!SHIP PLUS

Тимошенко Віктор Федорович,

кандидат технічних наук, доцент навчально наукового центру гідромеханіки

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова;

Україна, Миколаїв

vftim@ukr.net

Анотація. Проведено порівняльні розрахунки опору руху моделі судна з обводами носового краю типу X-BOW з використанням CFD OpenFOAM 8.x пакета та FREE!ship Plus комплексу програм в діапазоні швидкостей $F_{rL}=0,05...0,4$. Наведено рекомендації щодо використання CFD пакету OpenFOAM та FREE!ship Plus комплексу програм для використання на початкових стадіях проектування суден X-BOW типу.

Ключові слова: опір; X-BOW; CFD; OpenFOAM; FREE!ship Plus.

Вступна частина. При розрахунку ходкості суден на початкових стадіях проектування широко використовуються CAD/CAE комплекси програм, такі як MACHSURF, FASTSHIP, RHINOCEROS + MARINE + ORCA 3D, DELFTSHIP, FREE!SHIP PLUS, NAVCAD (CAE) і т.п., у яких для проектування водотоннажних суден використовуються методи Ridgeley-Nevitt-1967, var Oortmersen-1971, Holtrop-1984 [3], UBC-1993, Fung-Leibman-1995, Hollenbach-1998 [2] та інші. Ці методи базуються на даних систематичних модельних експериментах серій корпусів у дослідних басейнах, а також на статистичних методах обробки великої кількості експериментальних даних несерійних моделей суден. Найбільш часто використовується статистичний метод Holtrop-1984, так як він враховує більше параметрів, що впливають на опір руху судна, такі як, площа і аплікату ц.т. площі бульба на носовому перпендикулярі, занурена площа транця, форма кормового краю, кут носового загострення, 11 типів виступаючих частин та ін. Виявляє інтерес перевірки можливості використання перерахованих вище методів для розрахунку ходкості суден типу X-bow.

Метою роботи є порівняння розрахунків опору судна X-bow типу у CFD пакеті OpenFOAM v8.x з методами, що базуються на експериментальних даних у програмі FREE!ship Plus v3.5.

Основна частина. Для перевірки була створена в FREE!ship Plus v3.5 модель судна постачання бурових вишок за геометричними даними патенту [1].