

TECHNICAL SCIENCES

Розрахунок опору різної форми ватерлінії та ватерлінії з встановленими виїмками на її поверхні методами обчислюваної гідродинаміки

Ю. М. Король, Ю. С. Боднарчук

Національний університет кораблебудування, м Миколаїв, Україна
Corresponding author. E-mail: yuriy.korol@nuos.edu.ua , julka.bodnar4uk@gmail.com

Paper received 21.06.19; Accepted for publication 03.07.19.

<https://doi.org/10.31174/SEND-NT2019-200VII24-11>

Анотація. У роботі розглянуто питання впливу форми ватерлінії та форми й місця розташування поперечної виїмки на поверхні ватерлінії на ефективність зниження її опору. В роботі описується моделювання обтікання ватерлінії при зміні її вигину до потоку та від нього, а також процес верифікації місця розташування та форми виїмок на поверхні ватерлінії. При правильному виборі місця розташування і параметрів форми виїмки спостерігається перерозподіл тиску на поверхні об'єкту, що може бути використано для зменшення повного опору об'єкта.

Ключові слова: виїмки, прикордонний шар, опір, тиск, ватерлінія.

Оптимізація методів зниження опору води являється актуальною задачею гідродинаміки судна. Проте питання проектування та вдосконалення методів в сучасній практиці все ще не повністю вивчено. Вони вирішуються за допомогою наукових знань та інженерного досвіду. Практичне використання експериментального та чисельного моделювання в задачах вивчення методів зниження опору судна зазвичай зводиться до методу спроб та помилок. Тому можливість використання виїмок на поверхні судна спочатку виконувалась на умовній ватерлінії.

На сьогоднішній день з'явилася нова тенденція використання поверхні м'яча для гольфу в CFD пакетах була отримана візуалізація потоку яка демонструє, що точка відриву у м'яча для гольфа зміщується вниз за течією по відношенню до точки гладкої сфери. Крім того, оскільки глибина лунок стає глибшою в супер критичній області, точка відриву зміщується вверх по потоку, а зона сліду стає більшою. Детальне вивчення впливу конфігурації лунок на опір шару описується в роботах [1], [2]. При використанні даної концепції на поверхні автомобіля показало зменшення споживання палива приблизно на 11% [3]. Були досліджені та застосовані лунки у велоспорті [4]. Були проведені експериме-

нти з нанесенням лунок на кормову поверхню моделі судна [5].

Метою цієї статті є дослідження ефективності впливу виїмки та форми ватерлінії на прикордонний шар для зменшення опору тертя.

На змоченій поверхні об'єкта молекулярні сили між об'єктом та водою приводять до того, що частинки води практично не мають швидкості відносно поверхні об'єкта, що зазвичай називають умовою ковзання. На невеликій відстані від поверхні швидкість не дорівнює нулю і чим далі від поверхні швидкість стає ближчою до швидкості набігаючого потоку або швидкості руху об'єкту у воді. На початку обтікання потік є плавним і без перешкод тобто ламінарним. На деякій відстані в потоці виникають збурення, створюються невеликі вихри і відбувається перехід в більш хаотичний, турбулентний прикордонний шар який формується з суміші великих та малих вихрів. В середині турбулентного прикордонного шару, поряд з поверхнею об'єкта, є дуже тонкий під шар, що має товщину 0,1 мм і являється ламінарним, навіть коли в ньому можуть виникати короточасні сплески коливань [6]. Области потоку, які відбуваються на поверхні умовної ватерлінії зображені на рисунку 1.

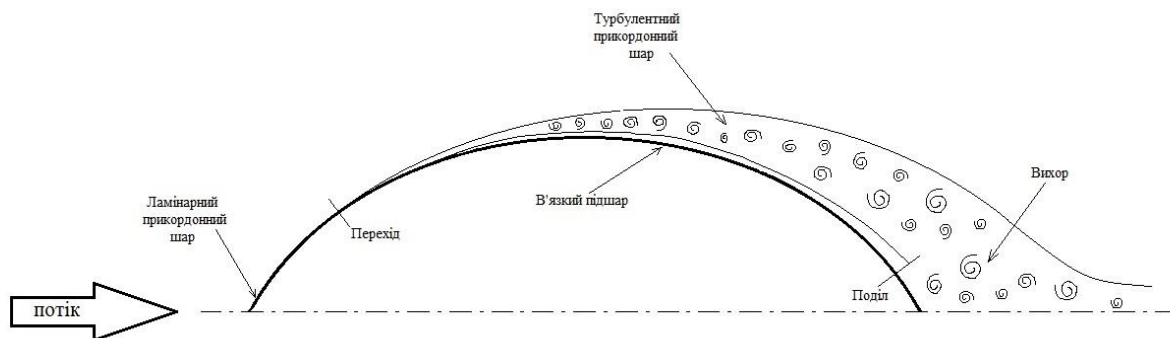


Рис 1. Утворення шарів на поверхні умовної ватерлінії

Умовна ватерлінія досліджувалася у CFD пакеті Flow Vision при цьому змінюючи вигин ватерлінії до

потоку та від нього для отримання характерних картин обтікання (рис.2).

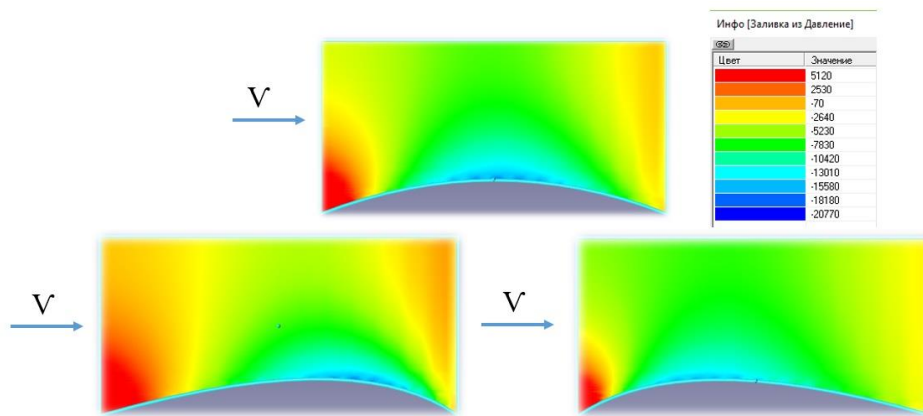


Рис 2. Візуалізація поля тиску при обтіканні умовної ватерлінії

Далі пропонується встановити одну поперечну виїмку на поверхні умовної ватерлінії як один з варіантів імітації ефекту м'яча для гольфу. Оскільки одна виїмка відносно площі поверхні м'яча досить мала, приблизно 0,1%, то вплив однієї виїмки можна розцінювати як елемент шорсткості. Вплив шорсткості на перехід прикордонного шару дуже залежить від фор-

ми, розміру та місця розташування виїмки. В роботі виконаною Прандтлем і Шліхтінгом (1934), Пай (1957) визнає, що жодна поверхня не є ідеально гладкою, тому необхідно визначати допустиму шорсткість поверхні. Вплив елемента шорсткості на турбулентний перехід зображений на рис.3 [7].

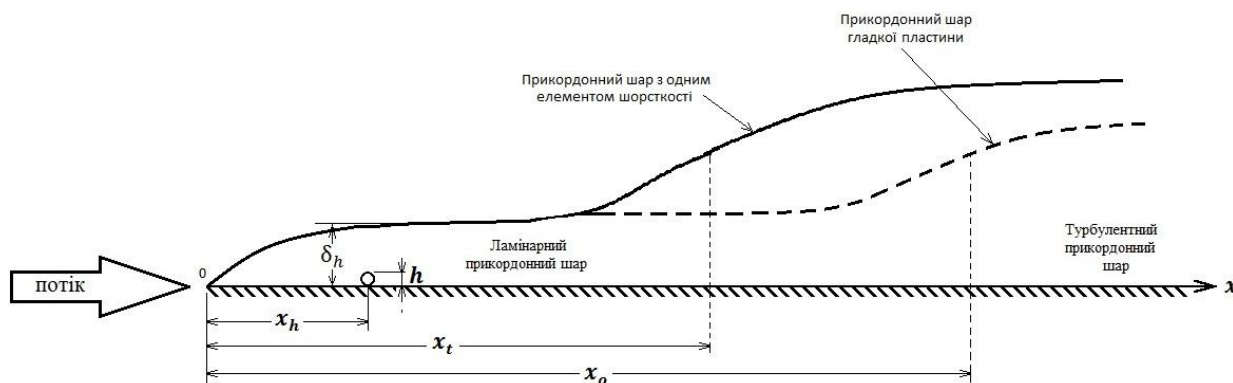


Рис 3. Перехід прикордонного шару та ефект шорсткості (Пай, 1957)

За рахунок елемента шорсткості перехід відбувається більш різко у порівнянні з гладкою поверхнею. За даними дослідження Драйдена (1953) при збільшенні висоти елемента шорсткості, h , точка переходу, x_t , наближається до положення самого елемента, x_h .

Правильно розроблена виїмка впливатиме на перехід режиму обтікання, а саме майже миттєво переходити від ламінарного прикордонного шару в турбулентний прикордонний шар.

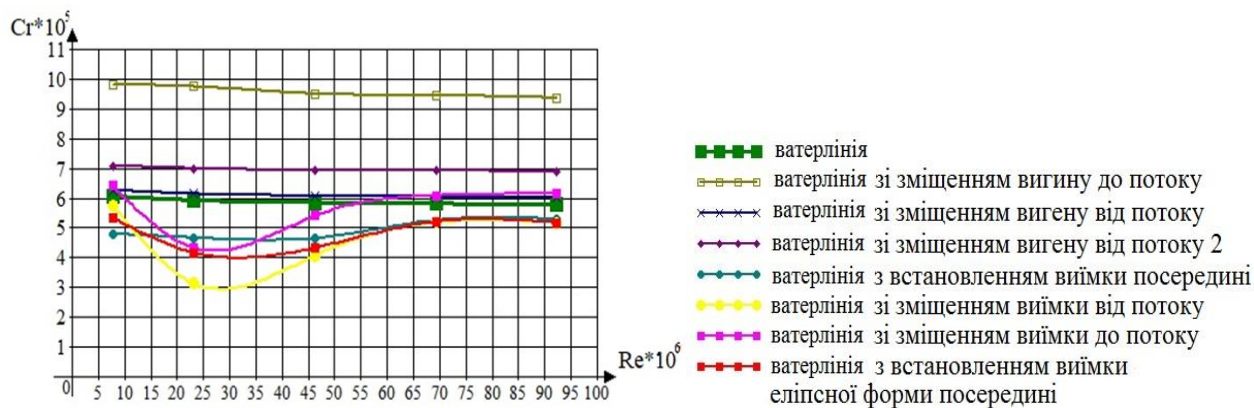


Рис 4. Варифікація обтікання умовної ватерлінії

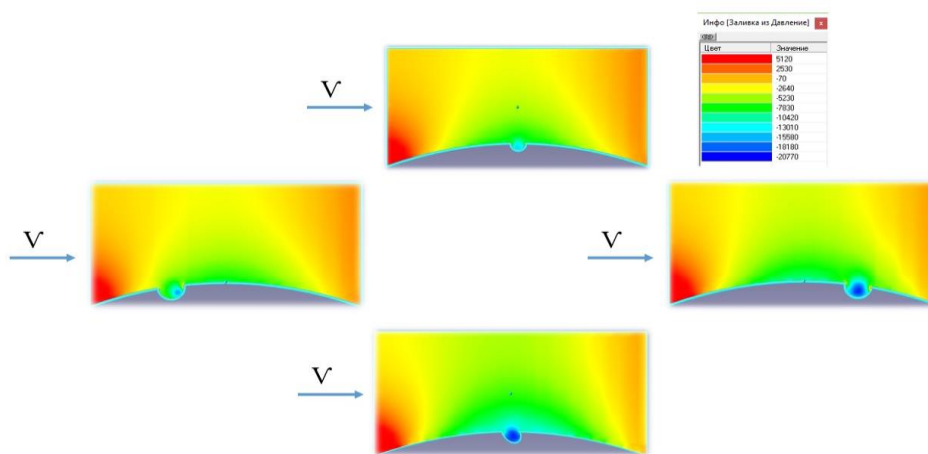


Рис. 5. Візуалізація розподілу тиску при встановлені виїмок

Це підвищує в'язкісний опір, але затримує поділ, тим самим знижуючи тиск. Для того щоб виїмка впливала на зниження опору та впливала на прикордонний шар, її розмір повинен перевищувати допустимий шорсткість в рівнянні:

$$h_{sa} = \frac{100 \cdot v}{\vartheta}, \quad 1$$

де v – кінетичний коефіцієнт в'язкості рідини [$\frac{M^2}{c}$], ϑ – швидкість набігаючого потоку або руху об'єкту в рідині.

Приймаючи до уваги, що розміри виїмки мають перевищувати умови допустимої шорсткості спочатку розміри виїмки були прийняті 5% від площі умовної ватерлінії. За результатами розрахунків було побудовано графік (рис.4.) на якому зображена ефективність виїмки з різним місцем розташуванням по відношенню до гладкої умовної ватерлінії.

На картині візуалізації тиску на поверхні умовної ватерлінії (рис.5) можна спостерігати як змінюється характер розподілу тиску в залежності від розміщення

виїмки. А саме відбувається перерозподіл тиску, а в середині виїмки створюється поле низького тиску за рахунок утворення в ньому макровихру.

Далі змінюємо геометрію виїмок для більшої ефективності. Розглядалося чотири варіанти геометрії які зображенні рис. 6.

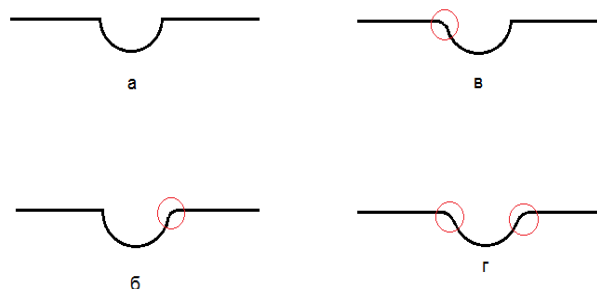


Рис. 6. Геометрія виїмок

Для пояснення явищ які відбуваються в середині виїмок розглянемо картину поля швидкостей (рис. 7)

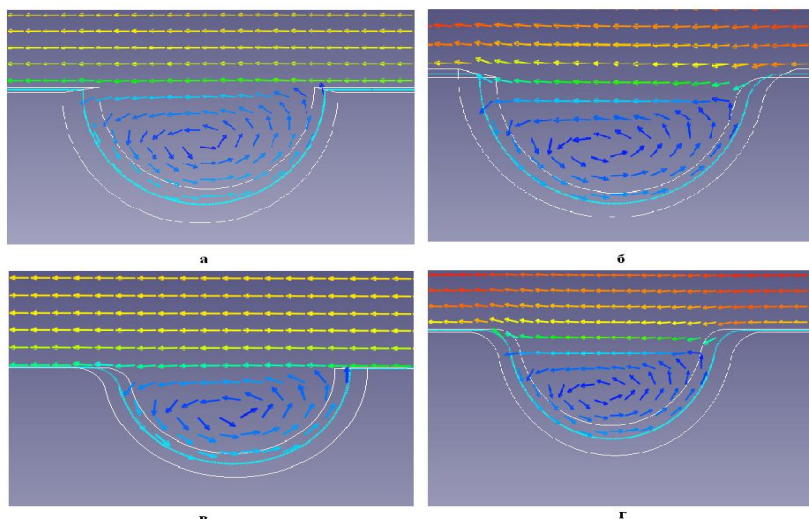


Рис. 7. Поле швидкостей в виїмках різноманітної конфігурації

Аналізуючи приведені вище зображення можна сказати, що у середині усіх виїмок тиск низький за рахунок вихрового плинну.

Обговорення: В межах даної роботи виконано дослідження ефективності виїмок на поверхні ватерлінії.

За отриманими результатами підтверджується, що за рахунок встановленої виїмки змінюється картина розподілу тиску та розподілу в'язкісних напруг вздовж поверхні ватерлінії. При її установці на поверхню об'єкта під час його руху в рідині всередині виїмки

створюється макро-вихор, в середині якого тиск знижується, що сприяє зменшенню товщини прикордонного шару. Результати розрахунків показали, що при правильному розташуванні та при виборі правильної форми виїмки можна знизити опір ватерлінії приблизно на 10%.

Висновок: В даній роботі розглянуто перспективність використання метода активного впливу на при-

кордонний шар з метою покращення ефективності зменшення повного опору об'єктів, а саме поперечної профільованої виїмки. Виконано велику кількість варіацій з місцем та формою виїмок на поверхні ватерлінії, а також форми самої ватерлінії. Надалі планується дослідження ефективності використання даного методу на днищовій поверхні суден.

ЛІТЕРАТУРА

1. Aoki K., Muto K., Okanaga H., Nakayama Y. Aerodynamic characteristic and flow pattern on dimples structure of a sphere// 10th International Conference on Fluid Control, Measurements and Visualization, Moscow, Russia, 2009
2. Chang-Hsien Tai, Chih-Yeh Chao, Jik-Chang Leong, Qing-Shan Hong. Effects of golf ball dimple configuration on aerodynamics, trajectory, and acoustics// National Ping-Tung University of Science and Technology, 2010, p. 1-11
3. Chear, C. K., Dol, S. S. Vehicle Aerodynamics: Drag Reduction by Surface Dimples// International Journal of Mechanical and Mechatronics Engineering, 2015, Vol:9, No:1.
4. Collins S. Rough around the edges, Journal Racecar Engineering, 2006, pp. 42-14.
5. Donnelly, K. J. Reduction of Ship Resistance through Induced Turbulent Boundary Layers// Florida Institute of Technology, Melbourne, Florida, 2009, p. 1-74.
6. Allroth, J. A CFD Investigation of Sailing Yacht Transom Sterns// Chalmers university of technology, Sweden, 2003, 17 p.
7. Девнин, С. И. Силы, действующие на цилиндр малого удлинения [Текст] / С. И. Девнин //Аэрогидро- механика плохообтекаемых конструкций. – Л., 1983 – С. 101.

REFERENCE

7. Devnin, S.I. Sily, deystvuyushchie na tsilindr malogo udlineniya [The forces acting on a cylinder of small elongation]. Leningrad, Aerohydrodynamics of poorly streamlined structures., 1983. 101p.

Calculation of the resistance of different forms of waterline and waterline with installed recess on its surface by methods of calculated hydrodynamics

Y. M. Korol, J. S. Bodnarchuk

Abstract. The paper considers the influence of the shape of the waterline and the shape and location of the transverse recess on the surface of the waterline on the efficiency of reducing its resistance. The paper describes the simulated waterline flow when it is changed to bend to and from the stream, as well as the process of verifying the location and shape of the recess on the surface of the waterline. With the correct choice of location and the shape of the recess, there is a redistribution of pressure on the surface of the object, which can be used to reduce the total resistance of the object.

Keywords: recesses, boundary layer, resistance, pressure, waterline.