

УДК 629.12.001

Суслов С.В. доцент кафедри інформаційних технологій УДМТУ;



Суслов Сергій Віталійович, 1949 р.н. Доцент кафедри інформаційних технологій УДМТУ, має 43 друкованих роботи, коло наукових інтересів – математичне моделювання у суднобудуванні.

Використання комп'ютерного моделювання у дослідженнях гідродинамічних сил, що діють на корпус судна

Розглядаються основні характеристики комп'ютерної моделі, яка використовується у дослідженнях гідродинамічних навантажень на судна. Моделюється плоска течія, що викликається вертикальним рухом шпангоутного перетину на вільній поверхні води. Описується комп'ютерна реалізація.

Computer realization and main features of a theoretical model used for simulation in hydrodynamic force research are described. The two-dimensional flow with a free surface caused by vertical movement of a ship section is modeled. The complex potential theory and the complex boundary element method are used.

Важливим чинником забезпечення міцності корпусів суден і вдосконалення їх конструкцій є точність визначення максимальних навантажень, що можуть діяти під час експлуатації. Головну проблему у цьому плані складає визначення силових взаємодій судна зі штормовими хвилями. Методи розрахунків хвильових навантажень, що використовуються зараз у практиці, базуються на лінійній теорії хитвання і придатні для переносу стандартів міцності на нові судна, але не для оптимізації їх конструкцій. Зокрема, лінійна екстраполяція результатів, отриманих для хвиль з нескінченно малою висотою на умови екстремального хвилювання, при якому виникають максимальні навантаження, не дозволяє адекватно врахувати реальну форму корпусу, оголення днища, занурювання палуби, слемінг. Наукові публікації свідчать, що у багатьох країнах з розвинутим суднобудуванням ведуться активні дослідження з метою розробки більш точних методів визначення хвильових навантажень на основі нелінійної моделі явища.

В УДМТУ роботи у цьому напрямку почалися у 70-х роках. На сучасному етапі у дослідженнях широко використовується комп'ютерне моделювання. Розроблено теоретичну модель і програмне забезпечення, що дозволяють досліджувати процес проходження судном визначених хвильових пакетів з урахуванням зміни форми зануреної частини корпусу (включаючи оголення днища), слемінгу і динамічного згину корпусу при імпульсному навантаженні. В теоретичній моделі використані гіпотеза плоских перетинів і прийнята в лінійній теорії класифікація

діючих сил. На відміну від лінійної теорії, сили Крилова-Фруда визначаються безпосереднім інтегруванням хвильового тиску по зануреній поверхні, а гідродинамічні сили – з використанням приєднаних мас і коефіцієнтів демпфування для миттєвого положення шпангоутного контуру.

Порівняння з експериментальними даними підтвердило працездатність моделі при крутизні хвиль до 1/10 [1]. При більшій крутизні розбіжності з експериментом стають суттєвими. Аналіз причин розбіжностей показав, що головною з них може бути хиба у визначенні гідродинамічних сил, вплив яких збільшується зі зростанням крутизни хвиль.

Враховуючи, що застосування гідродинамічних коефіцієнтів лінійної теорії є необґрунтованим при скінченних амплітудах хитання, для оцінки спричиненої цим похибки і розробки більш точних методів обчислення гідродинамічних сил виконуються дослідження гідродинаміки вертикальних переміщень шпангоутного перетину. З цією метою використовується комп'ютерне моделювання плоского обтікання шпангоуту, що пересувається по заданому закону, перетинаючи вільну поверхню [2]. Вода вважається ідеальною рідиною, тиск на вільній поверхні – постійним і рівним атмосферному. Течія води, викликана переміщеннями шпангоутного перетину є несталою із зміною границь області. Для спрощення використано припущення про її квазістатий характер. Таким чином вважається, що у кожний момент часу течія відповідає миттєвій формі границі й умовам на ній, а їх зміна визначається рухом шпангоутного перетину і кінематикою часток вільної

поверхні. Значення швидкостей точок вільної поверхні дозволяють чисельним інтегруванням визначити її форму у наступний момент часу.

Для опису сталої течії ідеальної рідини використана теорія комплексного потенціалу, який визначається за комплексним методом граничних елементів (КМГЕ), що дозволяє звести задачу до системи лінійних алгебраїчних рівнянь відносно вузлових значень. Система утворюється на основі інтегральної формули Коші, що зв'язує значення аналітичної функції в деякій точці області з інтегралом по границі [3].

При відпрацюванні моделі виявилися хіби лінійних граничних елементів, яким відповідає постійна на кожному елементі швидкість із розривами у вузлових точках. Оскільки рух вільної поверхні води визначається швидкостями її часток, є необхідність в апроксимації швидкості без розривів. Усереднення швидкостей на суміжних елементах і чисельне диференціювання другого порядку по вузлових значеннях, що запропоноване у [4], виявилися неефективними. З огляду на це були розроблені і використані в моделі граничні елементи з інтерполяцією комплексного потенціалу поліномами Ерміта третього степеня, які забезпечують неперервність похідної [5].

Важливий вплив на точність результатів розрахунків має розташування граничних елементів. Поблизу особливих точок, таких як з'єднання вільної поверхні і контуру, що рухається, необхідна розбивка границі на більш дрібні елементи. При інтегруванні руху вільної поверхні по швидкостях її точок відбувається деформація елементів зі зміною їхніх довжин. Щоб це перекручування сітки елементів не ставало значним і не призводило до нестійкості результатів, розбивка вільної поверхні на елементи провадиться на кожному кроку зі зберіганням їх заданих спочатку розмірів. Нове положення вузлів визначається інтерполяцією поліномами третього степеня.

Для обчислення гідродинамічних сил потрібні значення похідної за часом потенціалу на контурі шпангоутного перетину, яка може бути визначена за таким ж методом, що й сам потенціал. При цьому виникають проблеми розрахунку зони утворення бризкових струменів при зануренні у воду борту, що має розвал. У цій зоні виникають великі швидкості течії і розрахунок руху вільної поверхні стає нестійким. Хоча протяжність зони невелика, характер течії в ній істотно впливає на розподіл тиску на контурі і, відповідно, на гідродинамічні сили. Цей вплив зростає при збільшенні розвалу борту.

Нестійкість чисельного розрахунку в означеній

зоні має фізичні і математичні корені. Фізичний бік явища полягає у тому, що зона утворення бризкових струменів і основна область течії мають різні характерні розміри і масштаби часу. Тому у рамках використаної моделі розрахунок цієї відносно невеликої зони потребує на порядок більш точної її апроксимації граничними елементами і меншого кроку за часом при інтегруванні руху вільної поверхні у порівнянні з основною областю. Такий підхід видається не кращим, принаймні, з двох причин. По-перше, неефективною стає математична модель внаслідок того, що однаковими засобами описуються два процеси, які мають різні масштаби. По-друге, і це більш важливо, течія у зоні утворення бризкових струменів насправді не є потенційною, що добре видно в натурних умовах. В міру збільшення швидкості струмів турбулізується і подальше руйнується. Очевидно ефективне вирішення означеної проблеми буде складатися у розробці окремої адекватної моделі течії в особливій зоні і її стикуванні з основною областю.

З математичного погляду нестійкість обчислень викликається поганою обумовленістю матриці розв'язної системи КМГЕ, яка погіршується зі зростанням кількості елементів і різниці у їх розмірах при намаганнях збільшити точність апроксимації у зоні утворення бризкових струменів. З урахуванням цього у комп'ютерній моделі було використане послідовне уточнення розрахунку. Після розрахунку всієї області течії з неї виділяється підобласть, що містить особливу зону, для якої виконується уточнений розрахунок. Умови на границі, якою відокремлюється підобласть, отримуються з результатів попереднього кроку. Досвід розрахунків підтвердив ефективність такого підходу. Збіжність результатів, як правило, досягається за декілька кроків уточнення, коли розміри підобласті на останньому кроку близькі до розмірів шпангоутного перетину.

Комп'ютерна реалізація моделі забезпечується програмним комплексом, який складається з компонентів підготовки даних, гідродинамічних розрахунків і візуалізації результатів. Мова програмування – Pascal, середовище програмування – AIX IBM для RISC/6000 та Borland-Pascal на платформі IBM PC.

Вхідними даними для гідродинамічних розрахунків є початкова форма вільної поверхні води з розподілом на ній потенціалу і рух шпангоутного перетину, який задається положенням, швидкостями і прискореннями точок його контуру у послідовні моменти часу. Оскільки розрахунки потребують значних ресурсів ЕОМ, цей компонент розроблено

для RISC/6000. Моделювання процесу повного занурення шпангоутного перетину потребує понад години машинного часу. З огляду на це програма орієнтована на роботу у пакетному режимі. Результати розрахунків виводяться у декілька файлів. Два з них містять різного ступеня докладності інформацію по розподілу швидкостей течії і тиску, формі вільної поверхні, гідродинамічним реакціям для безпосереднього перегляду. Інформація з інших призначена для подальшого аналізу з використанням відповідних програм комплексу.

Дослідження гідродинаміки руху шпангоутного перетину пов'язано з вивченням великого обсягу інформації, яка є незручною для сприйняття у чисельному вигляді. Тому розроблено спеціальний

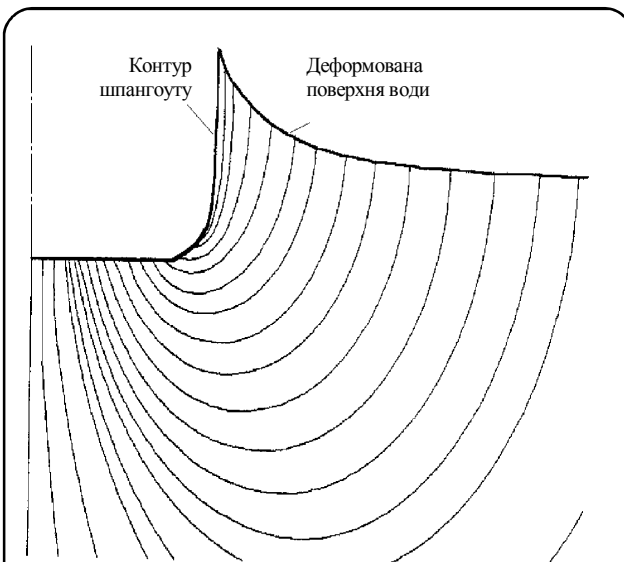


Рис. 1. Візуалізація ліній течії води при зануренні шпангоутного контуру

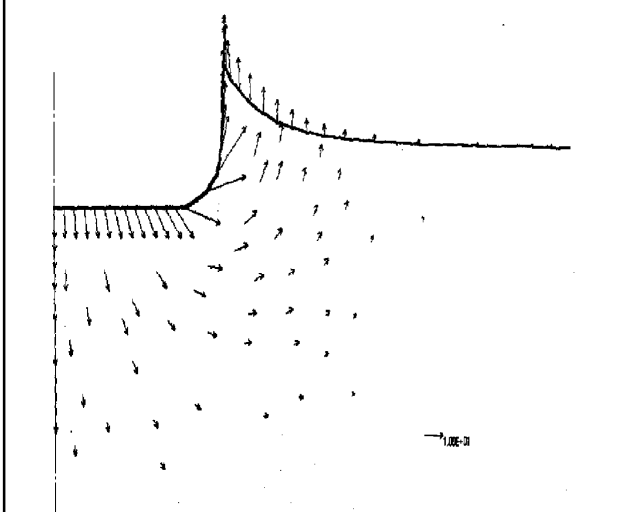


Рис. 2. Візуалізація поля швидкостей при зануренні шпангоутного контуру

компонент, що забезпечує візуалізацію результатів гідродинамічних розрахунків. Оскільки потужна ЕОМ RISC/6000, що належить УДМТУ, не укомплектована графічними засобами, цей компонент працює на персональному комп'ютері. Забезпечується візуалізація потенціалу і його похідної, швидкості і прискорення течії у вказаних точках області, а також лінії течії і траєкторії часток. На рис. 1, що є твердою копією комп'ютерного зображення, наведено виділену частину області з лініями течії при зануренні шпангоутного перетину. Інформаційність рисунку дещо втрачена внаслідок відсутності кольорів. На рис. 2 наведена візуалізація поля швидкостей течії.

Зростання потужностей сучасних персональних комп'ютерів за останній час зробило їх придатними для виконання гідродинамічних розрахунків. Тому зараз почата модернізація програмного забезпечення для підтримки інтерактивного режиму моделювання на базі персонального комп'ютеру.

Література

1. Сулов С.В. Численные исследования экстремальных волновых нагрузок // Кораблестроение и океанотехника. Проблемы и перспективы. Материалы международной конференции SOOP-98. Владивосток, 1998. – Ч. III. – С. 50-54.
2. Сулов С.В. Численное моделирование гидродинамики вертикального шпангоутного сечения на основе МГЭ. Новые информационные технологии // Сб. науч. тр. УДМТУ. – Николаев: УДМТУ, 1997. – С. 35-38.
3. Громадка П.Т., Лей Ч. Комплексный метод граничных элементов в инженерных задачах // Пер. с англ. -М.: Мир, 1990. – 303 с.
4. Venje T., Brevig P. Nonlinear ship motion // The Proceedings of the Third International Conference on Numerical Ship Hydrodynamics. – Paris, 1991. – June. – P. 257-266.
5. Сулов С.В. Граничные элементы с непрерывными производными первого порядка для компьютерного моделирование движения жидкости // Зб. наук. пр. УДМТУ. – Николаїв: УДМТУ, 1999. – №1 (361). – С. 106-112.