

Аксьонов А.В., Нечитайло В.І.

ОСТІЙНІСТЬ СУДЕН - ВІД АРХІМЕДА ДО НАШИХ ДНІВ

Остійність і міцність корпусу судна - важливі морехідні якості, від яких залежить доля судна та екіпажу. Закони, яким підкорюються морехідні якості судна, повинні знати не тільки суднобудівники, але і судноводії. Це дозволяє вирішувати найрізноманітніші завдання, що зустрічаються у практиці експлуатації суден, а знання морехідних і конструктивних особливостей судна дозволяє капітану грамотно оцінювати ризики штормового моря та поведінку судна за таких умов плавання і, тим самим, запобігати аваріям.

Міжнародна морська організація ІМО після свого створення приступила до розробки критеріїв остійності для непошкоджених суден, кульмінацією її роботи стало завершення розробки Кодексу остійності для всіх типів суден, який було прийнято Комітетом з безпеки на морі (КБМ) на 85 сесії у 2008 році. Міжнародний Кодекс остійності суден у непошкодженому стані містить в одному документі обов'язкові вимоги і рекомендовані положення, що стосуються остійності непошкоджених суден, які істотно впливають на конструкцію та безпеку плавання суден.

***Ключові слова:** безпека судна, остійність судна, статична остійність, динамічна остійність, критерії остійності судна, норми остійності, будівництво суден.*

Постановка проблеми. Затоплення через недостатню плавучість і перекидання через недостатню остійність - дві основні загрози виживання судна у морі. Таким чином, запобігання затоплення і перекидання суден є важливою складовою частиною безпеки судноплавства, збереження життя людей і захисту навколишнього середовища при морських перевезеннях. Ці два аспекти мали надзвичайно різні особливості розвитку в історії. Як ми з'ясуємо, зазначені загрози значною мірою були пов'язані з відмінностями розуміння безпосередньої небезпеки і логічними підходами при вирішенні фізичних та математичних концепцій. Важлива зміна у сприйнятті проблеми також відбулася зі зміною принципів руху судна, зокрема переходом від вітрильних до механічних рушіїв суден.

Актуальність статті полягає в демонстрації розвитку критеріїв та норм остійності від Архімеда до наших днів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Питання теорії та практики остійності суден отримали розвиток в наукових працях стародавніх вчених Архімеда, Галілео Галілея [17], П.Бугера [3], Л. Ейлера, С. Стевіна [10] та ін.

Аналіз сучасних підходів щодо остійності суден визначив проблему, пов'язану з відсутністю цілісної системи, що потребує подальшого дослідження.

Стаття складена на основі джерел і цитат відповідних публікацій. Прийнята фразеологія для історичних періодів не може використовуватися у стандартному застосуванні. Автори адаптували її тільки лише для викладу поступового розвитку науки про остійність суден.

Мета статті. Метою статті є розширення відомостей щодо теоретичних основ і нормування остійності судна.

Виклад основного матеріалу. Вважається, що людина навчилася переміщатися водою на спеціально створених плавучих засобах близько сорока тисяч років тому, не розуміючи, як і чому це було можливо. Завдяки набутій практиці плавання, вона могла приблизно точно уявити скільки вантажу може прийняти його «судно», щоб залишатися на плаву для більш-менш безпечного плавання. На зорі суднобудування сліпо використовувався із покоління у покоління набутий досвід, що накопичувався дорогою ціною. Не було ні узагальнення цього досвіду, ні будь-якої уяви щодо фізичних основ плавання тіл.

Хоча поняття плавучості і остійності були відомі раніше, основні закони гідростатики плаваючих тіл були виведені лише за 230 років до н. е. великим фізиком і математиком давнини – Архімедом. Він був першим, хто сформулював основний закон плавучості і основного поняття мореплавства судна. Проте, недавно було з'ясовано, що він також заклав основи науки з остійності плаваючих тіл, а саме, введення поняття рівноваги пари сил або моментів.

На сьогоднішній день остійність судна - це така його властивість, завдяки якій судно при дії на нього зовнішніх факторів (вітер, хвилі і ін.) і внутрішніх процесів (зміщення вантажів, переміщення рідких запасів, наявність вільних поверхонь рідини у відсіках тощо) не перевертається. Остійність судна - одна з його найважливіших морехідних якостей: плавучості, остійності, швидкохідності, качки, керованості. При цьому розділи кораблебудування, відомі як плавучість і остійність судна, безпосередньо засновані на законах Архімеда, але не ясно, чи були його ранні висновки з остійності плаваючих параболоїдів узагальнені ним на реальних формах суден чи ні. Не викликає сумнівів і той факт, що після деяких великих наукових досягнень в еллінську епоху настало довге мовчання (Руссо, 2004) [16]. Отримані знання залишалися невикористаними століттями (або просто ігнорувалися).

Період Реформації. Перші наукові праці, присвячені реалізації проблем остійності при будівництві суден, з'явилися приблизно у XVI ст. та поступово кораблебудування стало перетворюватися у науку.

У 1586 році голландський інженер і математик Симон Стевін (завдяки якому були введені в Європі десяткові дроби), у праці «Принципи рівноваги» [10] підтвердив закон Архімеда і довів, що для рівноваги плаваючого тіла його центр ваги повинен лежати на одній вертикалі з центром величини, що розташований у центрі ваги обсягу підводної частини судна.

Майже одночасно зі Стевіном ті ж питання гідростатики вирішував італійський вчений Галілео Галілей. У його науковій праці «Міркуваннях про тіла, що перебувають у воді, і про ті, які в ній рухаються» (1612 р.) було викладено оригінальний підхід до обґрунтування теорії плавання тіл [1].

Незважаючи на всю простоту і ідентичність, закон Архімеда та наукові дослідження вищезазначених вчених довго не знаходили застосування у практиці суднобудування. Минуло майже 2000 років до події, коли у 1666 році англійський суднобудівник Антоні Дін при будівництві корабля «Ruppert» передбачив його осадку раніше спуску на воду. На доказ правильності своїх розрахунків були прорізані гарматні порти, коли судно було ще на стапелі. Ставши у 1684 р. інспектором кораблебудування англійського флоту, він видав наказ щодо зважування усіх частин корпусу і вантажів, що входять в оснащення, а також постачання, бойового озброєння судна та іншого для всіх суден того часу [3].

Слід згадати, що в останню чверть XVII ст. відбувся розвиток математичних наук. В Англії це був час самого розквіту Ісаака Ньютона, шанованого рівним Архімеду. У травні 1686 року з'явився в світі його твір «Математичні початки натуральної філософії», який знаменитим математиком Лагранжем було названо «визначним твором людського розуму» [11].

У той же час на континенті працювали Лейбніц і його учні брати Бернуллі, які розвивали винаходи (незалежно один від одного), роботи Ньютона і Лейбніца з обчислення нескінченно малих величин давали можливість загальними та простими правилами вирішувати аналітично ті завдання, які з великими труднощами піддавалися синтезу у минулому.

Таким чином, Ів. Бернуллі і його учень Леонард Ейлер перші почали застосовувати «нову математику» для вирішення питань, що стосуються суднобудування.

Разом з тим, перейти від існуючих теоретичних формулювань до практики довгий час не дозволяв загальний рівень розвитку світової науки і техніки. Проте, хоча навчальні заклади були вже у всіх морських країнах, знання однієї людини не відразу ставали надбанням всього людства, а знання людства - надбанням кожного.

Таким чином, розвиток остійності судна, як науки, відбулося в кінці XVIII-го ст. заснованої на введенні понять метацентра і відновлювального моменту, розроблених П'єром Бугером і Леонардом Ейлером, що підтверджується і загальною теорією остійності корабля О.М. Крилова, яка спирається на двотомну монографію Ейлера.

Також, важливо відзначити, що після яскравого, але ізольованого спалаху генія Архімеда, вирішальний прогрес у вивченні остійності корабля, яким ми його знаємо зараз, прийшов (в основному) від географа П'єра Бугера. В результаті з'явилося поняття метацентра, тобто верхнє обмеження положення центру ваги, що гарантує малу або початкову остійність.

Викладена міра остійності судна П. Бугером, що є строго точною для малих кутів крену, але вона також дозволяє оцінити, практично з достатньою точністю, відносну остійність суден звичайної форми на досить великих кутах крену [3].

Розрахунки П. Бугера для отримання висоти метацентра, внаслідок їх простоти і близького наближення до правильних результатів, надають загальні оцінки остійності. Суднобудівникові дуже важливо бути знайомим з механічними принципами, від яких залежить остійність судна і він повинен бути здатний точно розрахувати остійність судна будь-якої форми при будь-якому кінцевому куті крену. На жаль, ідея П. Бугера не мала реального практичного застосування у цьому напрямку.

Розвиток остійності судна. 7 вересня 1870 р. англійський броненосний монітор "HMS Captain" здійснював навчальне плавання, але почався шторм і вночі корабель раптово перекинувся та затонув, при цьому решта 10 кораблів ескадри успішно витримали 6-бальний шторм. З 550 членів команди врятувалося тільки 18 вахтових. У числі загиблих був і автор проекту, капітан Купер Кольз.

Головний конструктор ВМС Англії Едвард Рід (1830-1906 рр.) за результатами трагічної загибелі новітнього англійського броненосця опублікував свою фундаментальну наукову працю «Остійність кораблів», у ній він зобразив діаграму остійності судна на великих кутах крену, яка з тих пір носить назву діаграма Ріда. У цій праці доведено, що "HMS Captain" побудований кораблебудівником Купером Кользом при динамічній дії шквалу повинен був перекинутися вже при 12-13 ° крену, тоді як для броненосця "HMS Monarch" (розроблений Едвардом Джеймсом Рідом), цей небезпечний стан починається тільки з 23 ° [17].

Отже, видається природнім, що оцінка остійності судна і визначення його мінімальної остійності повинні були привертати увагу дуже давно. Проте, це було далеко не так. Тільки близько ста років після формування принципів теорії плавучості та аварії, що відбулася, стало зрозуміло, яке велике значення мають характеристики остійності судна для його морехідних якостей. З того часу оцінка динамічної остійності судна ввійшла у повсякденну практику проектування суден, а діаграму статичної остійності ще довгі роки називали діаграмою Ріда.

Невеликий інтерес до оцінки остійності судна пояснюється дуже просто. Поки вітер був рушійною силою для вітрильних суден, будь-якому з них належало мати порівняно високий надводний борт, без теоретичного вивчення питання.

У XIX ст. парус змінився паровою машиною і гребним гвинтом, а дерев'яний корпус був витіснений залізним. Будівництво інших типів суден вимагало усвідомленого підходу, проте продовжувала використовуватися добре перевірена практика спорудження вітрильних суден, що спричиняло кричуще порушення будівельних норм. Ні атестат, ні диплом, ні королівське звання не гарантували, що побудоване судно буде надійним. Простежимо, як же відбувалося

поглиблення змісту поняття «остійність», тим більше, що збагачення досвідом і процес пізнання в цій області давалися дорогою ціною: ціною життя [14].

Сучасний період. Значення досліджень Е. Ріда з остійності суден було величезним тому, що вони вже найближчим часом дали свої плоди, зберігши життя багатьом поколінням моряків в усьому світі. Здавалося б, що проблема забезпечення остійності сприяє розвитку кораблебудування з самого його зародження та, нарешті, може бути знята. Проте, перекидання суден від втрати остійності досі є основною причиною їх загибелі, що вимагає від корабельної науки подальших зусиль у цьому напрямку.

Важливим кроком у теорії, що розглядається можна вважати пропозицію Л. Беньяміна нормувати не статичну, а динамічну остійність (1913 р). Наукові дослідження в областях остійності дозволили прийти до висновку, що найбільш небезпечним для судна є динамічна дія зовнішніх сил. При цьому він вказав мінімальні значення пліч динамічної остійності 0,05м і 0,2 м при кутах крену рівних 30° і 60° . Однак, у пропозиції Л. Беньяміна був відсутній безпосередній зв'язок нормованих параметрів остійності, з характеристиками діючих на судно зовнішніх сил [8].

Такий зв'язок з'явився у дослідженнях двадцятих років нашого століття, які були присвячені проблемі нормування початкової остійності та виразилися у врахуванні статичного дії кренувального моменту від тиску вітру певної сили та опору води сталому бічному руху судна. Дія хвилювання відображалась непрямим шляхом: рекомендувалося початкову метацентричну висоту вибирати такою, щоби уникнути резонансної бортової качки на хвилях, що характерні для передбачуваного району плавання. Теорія бортової качки була розроблена В. Фрудом ще у 1871 році, а теорія кільової качки О.М. Криловим у 1896 році. У 1898 році він отримав золоту медаль Лондонського товариства корабельних інженерів за роботу "Про зусилля, які випробовує судно на хвилі". У ній пропонувалась методика визначення згинальних моментів і перерізувальних сил, що діють на корпус. У 1908 році ним видався перший у світі курс з "Вібрації суден" і було створено пристрій для реєстрації напруг, що виникають у конструкціях судна. У нього були роботи з теорії стабілізації судна та з створення приладів для зменшення хитавиці [20].

Подальше формування теорії норм остійності склалося в 30-х роках минулого століття і засноване на двох статтях. Перш за все, П'єрротт (Pierrottet, 1935) [13] у своїй праці заклав основи того, що пізніше стане критерієм погоди. У своїй доповіді перед членами Королівського інституту він запропонував докласти всіх зусиль для наукового вивчення остійності суден і забезпечення того, щоб конструктори не нехтували проблемами остійності при проектуванні суден і висловив сумніви, що така мета може бути досягнута без застосування обов'язкових правил. У завданнях нормування остійності це була перша спроба врахувати кренувальну дію хвилювання розрахунковим шляхом. На жаль, минуло багато часу, перш ніж його робота увійшла в основи для нових правил у класифікаційних товариствах.

Вагомий внесок в теорію і практику нормування остійності вніс у передвоєнні роки Я. Рахола [14]. Він запропонував здійснювати оцінку остійності порівнянням робіт відновлювального моменту і розрахункового кренувального моменту від переміщення пасажирів, з сумарною роботою кренувальних моментів від тиску вітру і від сталої циркуляції.

Таким чином, можна зробити висновок, що до другої світової війни теорія нормування остійності розвивалася тільки у працях окремих дослідників. Офіційних норм остійності морських суден не існувало, і на практиці застосовувалися лише приватні, не завжди узгоджені між собою рекомендації. Таке становище значною мірою пояснювалося відсутністю і в океанографії, і в теорії мореплавства досить надійних методів опису та розрахунку хвилювання, гідродинамічних сил і обумовленого ними неусталеного руху судна. У післявоєнні роки у ряді країн, почалася інтенсивна робота з встановлення державних стандартів остійності. Наприклад, в СРСР теоретико-експериментальним вивченням питань

нормування та створення норм остійності для цивільних морських суден займалися науково-дослідні інститути морського флоту. За результатами цих досліджень і узагальнення досвіду експлуатації суден, перш за все даних аварійної статистики, Морським Регістром СРСР в 1948 році були випущені перші в історії цивільного судноплавства офіційні норми остійності морських суден, які після суттєвої переробки були знову видані в 1959 р, і двічі, в 1963 і 1967 рр., перевидавалися [19].

Трохи пізніше офіційні норми остійності з'явилися і за кордоном - у США (1952 р), в Японії (1958 р), в Югославії (1958 р), у Китаї, у Франції. В ряді країн, де були відсутні санкціоновані урядом норми, широко використовувалися числові критерії для різних класів суден, запозичені з зарубіжних правил або запропоновані окремими фахівцями [9]. Таким чином, ідея нормування остійності отримала міжнародне визнання. Це призвело до того, що рішенням Конференції з охорони людського життя на морі (1960), була утворена спеціальна робоча група при відповідному Підкомітеті ІМКО (Міжурядової Морський Консультативної Організації), яка розробила критерії остійності непошкоджених суден допустимих для флоту всіх країн - учасниць ІМКО. У 1982 році ІМКО була перейменована в Міжнародну морську організацію (ІМО) [18].

Критерії регламентували початкову остійність і характерні параметри статичної та динамічної остійності на великих кутах крену, розрахунок яких повинен проводитись за уніфікованими правилами. Окрім того, було прийнято спеціальне рішення щодо продовження пошуків в області остійності суден на хвилюванні, з метою переходу в майбутньому, від спрощених до фізично більш обґрунтованих критеріїв.

Розвиток норм остійності йшов шляхом їх ускладнення. Наприклад, у правилах морського Регістру судноплавства 1995 року вимагалось, щоб вона була позитивною. У Правилах 2003 року вона уже повинна бути не менше 0,15 м [15]. Але одного цього критерію недостатньо - низькобортне судно, з позитивною початковою остійністю, може перекинутися при вході палуби в воду. Тому потребувалося встановити вимоги до параметрів діаграми остійності: кутів максимуму і закату діаграми та її максимальному плечу. Зазначені критерії регламентують статичну остійність і не враховують експлуатаційні динамічні дії. Вже досить тривалий час основним критерієм вважається «критерій погоди», який характеризує динамічну остійність судна при спільній дії вітру і хвиль. В останні роки, крім згаданих вимог, з'явилися додаткові вимоги, які регламентують динамічну остійність. Фізичний зміст критерію погоди простий і зрозумілий. Найбільшу небезпеку з точки зору можливості перекидання представляє випадок, коли судно, розташоване лагом до вітру й хвилювання, відчуває сильну качку. У момент, коли воно в результаті хитавиці нахилилося на максимальний кут (для визначеності - на лівий борт), налетів шквал. Після цього судно нахилється на правий борт через спільну дію пориву вітру і хвиль. Згідно лінійної теорії динамічної остійності нахил судна від обох впливів можна розраховувати окремо, а потім скласти результати. Від кожної із зазначених причин максимальний крен на правий борт досягається через $\frac{1}{2}$ власного періоду качки. При цьому не повинно статися перекидання.

Успіхи у створенні національних і особливо міжнародних стандартів остійності багато в чому пов'язані зі зміцненням теоретичної бази нормування остійності. За останні роки отримані принципово нові результати з питань океанографії, гідродинаміки і теорії корабля, що мають безпосереднє відношення до оцінки остійності суден в небезпечних умовах плавання. У числі найбільш важливих з них слід назвати розроблені ефективні статистичні і спектральні методи опису реального морського хвилювання, створення гідродинамічної теорії качки і методів розрахунку її гідродинамічних параметрів, розвиток нелінійної теорії коливань і методів розрахунку качки великої амплітуди [2, 12]. Створення теорії і методів розрахунку качки суден на нерегулярному хвилюванні, розвиток теорії динамічної остійності судна в умовах вітру і хвилювання дозволяє здійснити оцінку впливу рідких вантажів у цистернах на остійність і качку суден, проводити дослідження зміни остійності на попутних курсових кутах до хвилювання.

Незважаючи на зростання водотоннажності, автоматизації морських суден приладами, які оцінюють їх реальну остійність по динаміці бортовий і кильової качки судна, сучасного рівня виміральної техніки і математичних методів аналізу та прогнозу стану мореплавності у поєднанні з можливостями технічного оснащення робочих місць, штормові умови, залишаються однією з головних причин аварій і загибелі суден. Актуальність цього завдання визначається тим, що частка роботи морського судна в умовах вітру і хвилювання становить в середньому 65-70% його ходового часу. Широке розмаїття типів, розмірів судівен і їх експлуатаційних особливостей і навколишніх умов, проблема безпеки пов'язана з остійністю суден остаточно ще не вирішена. Зокрема, безпека суден у морі включає складні гідродинамічні процеси, які до сих пір не були повністю досліджені і зрозумілі.

Тому, цілком закономірно, що міжнародні органи і національні морські адміністрації різних держав, що відповідають за безпеку мореплавання, будівництво та експлуатацію суден, прийняли ряд важливих документів, що регламентують вимоги до їх остійності. Судноводії усіх прапорів повинні знати, суворо дотримуватися і виконувати ці важливі вимоги як при виконанні вантажних операцій у портах відходу і приходу, так і протягом рейсу.

У першу чергу мова йде про так званий Міжнародний Кодекс остійності суден у непошкодженому стані 2008 року (КОДЕКС ОНС 2008 року), що був прийнятий Комітетом з безпеки на морі (КБМ) на вісімдесят п'ятій сесії, його текст викладено в додатку 2 Резолюції А.749 (18). Кодекс ОНС 2008 року (далі - Кодекс) почав діяти з 1 липня 2010 року після внесення і вступу в силу відповідних поправок до Конвенції СОЛАС 1974 року і до Протоколу 1988 року до Конвенції про вантажну марку [4, 6].

При розробці Кодексу були враховані такі фактори: стан судна з виведеною з ладу енергетичною установкою; вплив вітру на судна з великою парусністю; характеристики бортової качки, бурхливе море та ін., що засновані на передових технологіях і сучасному рівні знань. Кодекс складено на підставі опрацьованих множинних документів ІМО, з метою об'єднати в одному документі обов'язкові вимоги (частина А) [4] і рекомендовані положення (частина В) [5], як базисних основ відповідних стандартів безпеки.

Висновок. Велика різноманітність типів і розмірів суден у світовому океані, експлуатаційні та екологічні умови вимагають подальших оптимальних підходів у вирішенні проблем безпеки судноплавства та недопущення аварій, що відносяться до остійності.

При цьому Міжнародна морська організація ІМО своєю майбутньою метою ставить індивідуальний розгляд наступних п'яти можливих проблем остійності: для судна з виведеною з ладу енергетичною установкою (dead ship condition); для судна розташованого на гребені хвилі, коли зменшується відновлювальне плече; брочінг (broaching), включаючи розгляд питань, що пов'язані з маневреністю і здатністю утримувати курс, оскільки вони впливають на остійність, надмірні прискорення; параметричний резонанс, включаючи розгляд питань, пов'язаних з великими прискореннями і навантаженнями на вантаж і зміною остійності на хвилях.

ЛІТЕРАТУРА

1. **Barnes F.** On a New Method of Calculating the Statical and Dynamical Stabilities of a Ship. Transactions of the Institution of Naval Architects. 1861. Vol. II, P. 163.
2. **Bassler C., Belenky, V., Bulian, G, Francescutto, A., Spyrou, K., and Umeda, N.** A review of available methods for application to second level vulnerability criteria. Proceedings of the 10th International Conference on Stability of ships and ocean vehicles. STAB. Saint Petersburg, 2009, PP. 111–128.
3. **Bouguer P.** Traité du Navire, de sa Construction et de ses Mouvements. 1746. Paris: Jombert.
4. **Code of Intact Stability for all Ships Covered by IMO Instruments.** RES. A.749 (18). Assembly 18th session. (Adopted on 4 November 1993). International maritime organization. London.

-
- URL: [http://www.imo.org/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/Assembly/Documents/A.749\(18\).pdf](http://www.imo.org/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/Assembly/Documents/A.749(18).pdf)
5. **Development** of Second Generation Intact Stability Criteria. Development of Amendments To Part B of The 2008 IS Code on Towing, Lifting and Anchor Handling Operations. Report of the working group (Part 1).SDC 2/WP.4, 2015. IMO. London. 250 p
 6. **International** Code on Intact Stability, 2008. IS Code. 2008. IMO. London. 250 p.
 7. **Francescutto A.**, Papanikolaou, A. Buoyancy. Stability and Subdivision: From Archimedes to SOLAS 2009 and the Way Ahead. International Journal of Engineering for the Maritime Environment. Proceedings Institution of Mechanical Engineers. 2011. Part M. Vol. 225, PP. 17-32.
 8. **Francescutto A.**, Serra A., Scarpa S. A Critical Analysis of Weather Criterion for Intact Stability of Large Passenger Vessels. Proceedings 20th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering. 2001. Rio de Janeiro. Vol. 1, pp. 829-836.
 9. **Lewis E. V.** Principles of Naval Architecture Second Revision. Vol. I, Stability and Strength. The Society of Naval Architects and Marine Engineers. Pavonia Avenue Jersey City, NJ. 1988. PP. 330.
 10. **Moseley H.** On the Dynamical Stability and on the Oscillations of Floating Bodies. Philosophical Transactions of the Royal Society. Vol. 140, 1850. London. PP. 609-643. URL: <https://doi.org/10.1098/rstl.1850.0031>
 11. **Nowacki, H.** and Ferreiro L. D. Historical roots of the theory of hydrostatic stability of ships. 8-th International Conference on Stability of Ships and Ocean Vechicles (15-19 September 2003, Madrid, Spain). Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales. 2003. Madrid, Spain. PP.1-30. URL: <http://www.shipstab.org/files/Proceedings/STAB/STAB2003/Papers/Paper%2001.pdf>
 12. **Peters W.**, Belenky V., Bassler C., Spyrou K., Umeda N., Bulian G., Altmayer, B. The second generation intact stability criteria: an overview of development. The Society of Naval Architects and Marine Engineers. 2011. Vol. 119, pp. 225-264. URL: https://www.academia.edu/19859901/The_second_generation_intact_stability_criteria_an_overvie_of_development
 13. **Pierrottet E.** Standards of Stability for Ships. Transactions Institution of Naval Architects. Pavonia Avenue Jersey City, NJ. 1935. Vol. 77, pp. 208-222.
 14. **Rahola J.** The judging of the stability of ships and the determination of the minimum amount of stability - Especially considering the vessels navigating finnish waters. 1939. Technical University of Finland, Helsinki. URL: <https://aaltodoc.aalto.fi/handle/123456789/15149>
 15. **Revision** of the Code on Intact Stability. Submitted by Germany. (MSC78/24/1) (15 December 2003) . International maritime organization. 2003. London.
 16. **Russo, L.** The forgotten revolution: how science was born in 300 BC and why it had to be reborn. Springer. Berlin. 2004. p.380.
 17. **White, W. H.**, John, W., On the Calculation of the Stability of Ships and some Matters of Interest Connected Therewith. Transactions Institution of Naval Architects, Vol. XII. 1871. pp. 76-127.
 18. **Weather** Criterion for Large Passenger Ships. Submitted by Italy. (SLF44/INF.6). International maritime organization. 2001. London.
 19. **Липис В.Б., Ремез Ю.В.** Безопасные режимы штормового плавания судов. Москва: “Транспорт”. 1982. 117 с.
 20. **Ремез Ю.В.** Качка корабля. Л.: Судостроение. 1983. 328 с.

REFERENCES

1. **Barnes, F. K.**, (1861). On a New Method of Calculating the Statical and Dynamical Stabilities of a Ship. Trans. INA. Vol. II, p.163.

2. **Bassler, C.**, Belenky, V., Bulian, G, Francescutto, A., Spyrou, K., & Umeda, N., (2009). A review of available methods for application to second level vulnerability criteria. *Proceedings of the 10th International Conference on Stability of ships and ocean vehicles*. STAB 2009, Saint Petersburg, pp. 111–128.
3. **Bouguer, P.**, (1746). *Traité du Navire, de sa Construction et de ses Mouvements*. [Treatise of the Ship, its Construction and Movements]. Paris: Jombert [in French]
4. **Code of Intact Stability for all Ships Covered by IMO Instruments**. RES. A.749 (18). Assembl 18-th Session. (Adopted on 4 November 1993). IMO. London. URL:[http://www.imo.org/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/Assembly/Documents/A.749\(18\).pdf](http://www.imo.org/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/Assembly/Documents/A.749(18).pdf)
5. **Development of Second Generation Intact Stability Criteria**. Development of Amendments To Part B of The 2008 IS Code on Towing, Lifting and Anchor Handling Operations. Report of the working group (Part 1).SDC 2/WP.4. 2015. IMO. London.
6. **International Code on Intact Stability**, 2008. IS Code. 2008. IMO. London. 250 p.
7. **Francescutto, A.**, Papanikolaou, A. D. (2011). Buoyancy, Stability and Subdivision: From Archimedes to SOLAS 2009 and the Way Ahead. *International Journal of Engineering for the Maritime Environment*. Proceedings Institution of Mechanical Engineers. Part M. Vol. 225, pp. 17-32.
8. **Francescutto, A.**, Serra, A., Scarpa, S., (2001). A Critical Analysis of Weather Criterion for Intact Stability of Large Passenger Vessels. *Proceedings 20th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering*. OMAE '2001, Rio de Janeiro, Vol. 1, pp. 829-836.
9. **Lewis, E. V.** (1988). *Principles of Naval Architecture Second Revision*. Vol. I, Stability and Strength. SNAME. Pavonia Avenue Jersey City, NJ. pp. 330.
10. **Moseley, H.** (1850). On the Dynamical Stability and on the Oscillations of Floating Bodies. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, Vol. 140, pp. 609-643. URL: <https://doi.org/10.1098/rstl.1850.0031>
11. **Nowacki, H.** & Ferreiro, L. D., (2003). Historical roots of the theory of hydrostatic stability of ships. *8-th International Conference on Stability of Ships and Ocean Vechicles* (15-19 September 2003, Madrid, Spain). Transactions *The Society of Naval Architects and Marine Engineers*. pp. 1-30. URL: <http://www.shipstab.org/files/Proceedings/STAB/STAB2003/Papers/Paper%2001.pdf>
12. **Peters, W.**, Belenky, V., Bassler, C., Spyrou, K., Umeda, N., & Altmayer, B. (2011). The Second Generation Intact Stability Criteria: An Overview of Development. Transactions - *The Society of Naval Architects and Marine Engineers*, Vol. 119, pp. 225-264. URL: https://www.academia.edu/19859901/The_second_generation_intact_stability_criteria_an_overview_of_development
13. **Pierrottet E.** (1935). *Standards of Stability for Ships*. Transactions Institution of Naval Architects, Vol. 77. Pavonia Avenue Jersey City, NJ, pp. 208-222.
14. **Rahola, J.** (1939) *The judging of the stability of ships and the determination of the minimum amount of stability - Especially considering the vessels navigating finnish waters*. Technical University of Finland, Helsinki. URL: <https://aaltodoc.aalto.fi/handle/123456789/15149>
15. **Revision of the Code on Intact Stability. Submitted by Germany**. (MSC78/24/1) (15 December 2003). IMO. London.
16. **Russo, L.**, (2004). The forgotten revolution: how science was born in 300 BC and why it had to be reborn. Springer. Berlin. p.380
17. **White, W. H.** & John, W. (1871) *On the Calculation of the Stability of Ships and some Matters of Interest Connected Therewith*. Transactions Institution of Naval Architects. Vol. XII. pp. 76-127.
18. **Weather Criterion for Large Passenger Ships. Submitted by Italy**. (SLF44/INF.6). IMO. 2001. London.

-
19. **Lipis V.B.**, Remez Yu.V. *Bezopasnye rezhimy shtormovogo plavaniya sudov* [Safe modes of storm vessels navigation]. Moscow, Transport Publ., 1982. 117 p. [in Russian]
 20. **Remez, Yu.V.** *Kachka korablya* [Tossing of Ship]. Leningrad, Sudostroenie Publ., 1983. 328 p. [in Russian]

Аксенов А.В., Нечитайло В.И.

ОСТОЙЧИВОСТЬ СУДОВ - ОТ АРХИМЕДА ДО НАШИХ ДНЕЙ

Остойчивость и прочность корпуса судна - важные мореходные качества, от которых зависит судьба судна и экипажа. Законы, которым подчиняются мореходные качества судна, должны знать не только судостроители, но и судоводители. Это позволяет решать самые разнообразные задачи, встречающиеся в практике эксплуатации судов, а знания мореходных и конструктивных особенностей судна позволяет капитану грамотно оценивать риски штормового моря и поведение судна при таких условиях плавания и, тем самым, предотвращать аварии.

Международная морская организация ИМО после своего создания приступила к разработке критериев остойчивости для неповрежденных судов, кульминацией ее работы стало завершение разработки Кодекса остойчивости для всех типов судов, который был принят Комитетом по безопасности на море (КБМ) на 85 сессии в 2008 году. Международный Кодекс остойчивости судов в неповрежденном состоянии содержит в одном документе обязательные требования и рекомендуемые положения, касающиеся остойчивости неповрежденных судов, которые существенно влияют на конструкцию и безопасность плавания судов.

Ключевые слова: *безопасность судна, остойчивость судна, статическая остойчивость, динамическая остойчивость, критерии остойчивости, нормы остойчивости, строительство судов.*

Aksenov A.V., Nechitailo V.I.

STABILITY OF VESSELS - FROM ARCHIMEDES TO THE PRESENT DAY

Stability and strength of the ship's hull are important parts of seaworthiness, on which the fate of the ship and crew depends. The laws that govern the seaworthiness of a ship should be known not only to shipbuilders, but also to mariners. This allows master to solve the most diverse problems encountered in the operation and correctly assess the risks of the sea and the behavior of the vessel under such sailing conditions and, thereby, prevent accidents.

The IMO International Maritime Organization, after its creation, began to work on stability criteria for intact vessels. The culmination of its work was the completion of the development of the Code of Stability for all types of ships, which was adopted by the Maritime Safety Committee (MSC) at its 85th session in 2008. The International Code for the Stability of Ships in an Intact State contains in one document mandatory requirements and recommendations regarding the stability of ships, which significantly affect the design and safety of navigation.

Keywords: *Ship safety, ship stability, static stability, dynamical stability, stability criteria, stability standards, ship building*