

# Використання методу коерцитиметрії для ідентифікації напружених станів корпусу судна

О.П. Завальнюк<sup>1</sup>, В.Б. Нестеренко<sup>1</sup>, Г.В. Рудакова<sup>2</sup>

*Annotation* – The report deals with the use of method of coercive measuring for identification of the stress states of hull. Importance of setting on the ships of hull stress monitoring systems is stressed. For control and identification of the stress states of hull during his maintenance it is suggested to utilize the method of non-destructive control by measuring of coercive force of material of separate hull constructions.

*Keywords* – general hull strength, non-destructive control, coercive measuring.

## I. ВСТУП

Судно – це складна інженерна споруда, яка для виконання свого призначення повинна володіти рядом якостей, у тому числі, і міцністю. Корпус судна працює на межі двох стихій (води і повітря) та схильний до впливу навантажень, значення і напрям дії яких безперервно та випадково змінюються. Зв'язки корпусу, який представляє собою складну порожнисту балку, беруть участь одночасно у декількох видах деформацій. З часом міцність зв'язків корпусу змінюється через неминучий знос, корозію, залишкові деформації. Причому ці зміни залежать не тільки від тривалості експлуатації судна, але й від особливостей конструкції корпусу та щонайбільше від умов експлуатації судна. Все це нерідко веде до зростання кількості аварій на торговельних судах, причиною яких у значній кількості випадків є порушення загальної міцності корпусу судна.

## II. АКТУАЛЬНІСТЬ ДОСЛІДЖЕНЬ

Наразі почастишали випадки загибелі суден класу «ріка-море», які супроводжуються людськими жертвами та значними матеріальними збитками, а також завдають шкоди навколишньому середовищу. Підтвердженням цьому служать численні випадки катастроф балкерів (суховантажів) [1]. Здебільшого, аварії відбуваються через пошкодження корпусу судна – тріщини, розломи тощо.

Доцільність обладнання суден системами моніторингу свого функціонального стану в умовах вітру і хвиль, під час їх експлуатації та ремонту очевидна.

## III. АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

У 1994 році з метою зменшення рівня конструктивних пошкоджень балкерів Комітет з безпеки на морі ІМО (Міжнародної морської організації) представив «Рекомендації щодо установки систем моніторингу напруження корпусу для підвищення безпечної експлуатації суден, що перевозять сухі вантажі

навалом» [2]. Судна з повною вантажопідйомністю від 20 тисяч тонн необхідно обладнати системами моніторингу корпусу. Причому давачі механічних напружень корпусу судна повинні бути встановленими у його середній частині (на мідельшпангоуті) та у місцях, що знаходяться в ¼ довжини судна від носового та кормового перпендикулярів.

Однак, сумна статистика аварійності флоту [1] свідчить, що на сучасному етапі існуючі системи моніторингу технічного стану корпусів морських суден не вирішують повною мірою проблему контролю загальної міцності корпусу судна під час його експлуатації на тихій воді та в умовах хвилювання.

Для контролю та ідентифікації напружених станів корпусу судна у даному випадку може бути використаний метод неруйнівного контролю шляхом вимірювання коерцитивної сили матеріалу окремих суднових корпусних конструкцій.

## IV. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Метою дослідження є: проведення аналізу можливості застосування методу коерцитиметрії для ідентифікації напружених станів корпусу судна, який би урахував невизначеність відносно миттєвого стану корпусу, вплив випадкових факторів, утому і старіння матеріалу суднових конструкцій, а також виконання на судні експериментальних досліджень з вимірювання коерцитивної сили.

## V. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Магнітний неруйнівний контроль заснований на кореляції між магнітними характеристиками і структурно-фазовим станом та характеристиками міцності сталей. У якості параметру неруйнівного контролю механічних властивостей сталі, зокрема, використовується коерцитивна сила [3].

Коерцитивною силою являється напруженість зовнішнього магнітного поля, при якій намагніченість у матеріалі, попередньо намагніченому до насичення, стає рівною нулю. Вона визначається середньою величиною сил, що затримують необоротне зміщення границь між доменами (окремими мікрообластями феромагнітного матеріалу) при перемагнічуванні.

У загальному випадку можна сказати, що коерцитивна сила феромагнетиків (сталі) визначається усією сукупністю різних факторів [4]: величиною магнітної анізотропії ( $K_1$ ), магніострикцією ( $\lambda_s$ ), внутрішніми і

<sup>1</sup> ВНЗ «Херсонський державний морський інститут», проспект Ушакова, 20, Херсон, 73000, УКРАЇНА, E-mail: kmi@kmi.kherson.ua

<sup>2</sup> Херсонський національний технічний університет, Бериславське шосе, 24, Херсон, 73008, УКРАЇНА, E-mail: kstu@tlc.kherson.ua

зовнішніми механічними напруженнями ( $\sigma$ ), мірою насичення ( $J_s$ ), факторами розмагнічування та граничними шарами між доменами ( $a, b, c$ ):

$$H_c \approx f \left( a \frac{K_1}{J_s} + b \frac{\lambda_s \sigma}{J_s} + c J_s \right). \quad (1)$$

Коерцитивна сила являється однією з найбільш структурно чутливих характеристик феромагнітних матеріалів. Тому методи неруйнівного контролю, засновані на вимірюванні коерцитивної сили, знайшли широке розповсюдження в багатьох галузях промисловості. Їх відрізняє висока точність і достатня простота, можливість проведення вимірів на локальних ділянках контрольованих об'єктів, висока чутливість до фазових перетворень, слабка залежність від геометричних розмірів об'єкта контролю тощо.

В основі контролю механічних напружень, діючих у сталених конструкціях, за значеннями коерцитивної сили лежить магніострикційний зв'язок між прикладеними напруженнями та зміщенням доменних границь. В області пружних напружень найбільшу чутливість до механічних напружень має коерцитивна сила [3].

Разом з тим, утомні дефекти металу – це підсумок розвитку його мікропошкодження. Тому об'єктивна оцінка стану металу [5] повинна формуватися з даних про напружений і втомний стан та його дефектність. У зонах концентрації механічних напружень накопичення ступеню утомного мікропошкодження значно збільшується.

Розміри зон-концентраторів механічних напружень істотно більше розмірів втомних дефектів, що неминуче виникають в них, місцеположення таких зон не випадково, а зумовлено логікою конструкції і розподілу прикладених навантажень на корпус судна. Тому утомні зони, як великі і логічно розташовані, виявляються багато простіше, ніж дефекти металу, розподілені в них достатньо випадковим чином.

Вимірювання за допомогою коерцитиметра (рис. 1) засновані на намагнічуванні і перемагнічуванні окремої ділянки металу за допомогою приставного електромагніту та вимірюванні струму перемагнічування у момент рівності нулю магнітного потоку.

Експериментальні вимірювання коерцитивної сили матеріалу суднових конструкцій з використанням коерцитиметра КРМ-Ц-К2М було здійснено на т/х «Сибирский-2101». Метою вимірювань на судні було встановлення місць вірогідного зносу і утоми металу корпусу судна на тихій воді через дію моментів, що вигинають, а також порівняння їх з рекомендаціями Комітету з безпеки на морі ІМО [2].



Рис. 1. Структурна схема коерцитиметра

Отримані криві результатів вимірів стану подовжніх елементів набору корпусу т/х «Сибирский-2101» свідчать, що місця підвищеного зносу корпусу досліджуваного судна майже співпадають з місцями, рекомендованими ІМО для установки давачів механічних напружень, а саме: район мідельшпангоута і місця, що знаходяться в ¼ довжини судна від носового і кормового перпендикулярів.

Чисельна коерцитиметрична оцінка деградації металу перетворює ідентифікацію напружених станів корпусу судна на процедуру з точними кількісними критеріями ступеня утоми і ресурсу металу. Це дає можливість використовувати апарат статистичних методів і оцінок, а діагностика стає кількісно вимірюваною, такою, що попереджує і об'єктивно прогнозує напружені стани об'єкту, що контролюється, та всіх його елементів.

## VI. ВИСНОВКИ

Для ідентифікації напружених станів корпусу судна можливо застосовувати метод неруйнівного контролю шляхом вимірювання коерцитивної сили, який дозволяє отримати кількісну оцінку щодо напружених станів та утоми металу корпусу за всією довжиною судна.

Існує необхідність продовжити експериментальні дослідження по вимірюванню коерцитивної сили матеріалу корпусних конструкцій на судах різних типів на тихій воді, в умовах хвилювання, при проведенні вантажних і баластних операцій, у стані ремонту тощо з метою порівняння отриманих результатів експерименту з побудованою у подальшому математичною моделлю процесу вантажних і баластних операцій.

Грунтуючись на отриманих результатах вимірювань, а також на побудованій математичній моделі, доцільно створити систему моніторингу загальної міцності судна під час його експлуатації для запобігання аварій, пов'язаних з порушенням міцності корпусу через перевищення допустимих навантажень.

## СПИСОК ПОСИЛАНЬ

- [1] <http://www.rs-head.spb.ru> – офіційний сайт Російського морського реєстра судноплавства.
- [2] MSC/Circ.646. Recommendations for the fitting of Hull Stress Monitoring Systems, 06.06.1994. ІМО.
- [3] Матюк В.Ф., Кулагин В.Н. Контроль структуры, механических свойств и напряженного состояния ферромагнитных изделий методом коэрцитиметрии / В.Ф.Матюк, В.Н. Кулагин // Неразрушающий контроль и диагностика. – Минск, 2010. – №3. – С. 4-13.
- [4] Гаврилов А.Н., Чижиков В.Ю. Технология магнитных элементов для приборов, средств автоматики и вычислительной техники. – М: Энергия, 1974. – 232 с.
- [5] Безлюдько Г.Я. Эксплуатационный контроль усталостного состояния и ресурса металлопродукции неразрушающим магнитным (коэрцитиметрическим) методом / Г.Я. Безлюдько // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – Киев, 2003. – №2. – С. 20-26.