

МОНІТОРИНГ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ НЕСУЧИХ ЕЛЕМЕНТІВ СУДНОВИХ КОНСТРУКЦІЙ

The investigations of the coercive force distribution along ship load-bearing elements material during working load are presented. It is shown that zones of maximum coercive force and mechanical tension not are in compliance with the recommendations of the International Maritime Organization concerned the deformation probed placement. New strategy for ship construction monitoring based on the critical zones determination for in-service life coercive force measurements.

Keywords: *coercive force, mechanical tension, critical zones, monitoring.*

Подано результати дослідження дискретного розподілу коерцитивної сили матеріалу вздовж несучих елементів конструкції суден під час експлуатаційних навантажень. Встановлено, що зони максимальних значень коерцитивної сили і механічних напружень не збігаються з рекомендаціям Міжнародної морської організації щодо розміщення давачів деформації. Запропоновано нову концепцію моніторингу судна на основі визначення критичних зон для вимірювання коерцитивної сили матеріалу.

Ключові слова: *коерцитивна сила, механічне напруження, критичні зони, моніторинг.*

Велика кількість суден, що є в експлуатації, вичерпала свій розрахунковий ресурс або близькі до його вичерпання. Для забезпечення безпеки мореплавства важливо створити систему експлуатаційного моніторингу технічного стану тривало експлуатованих суднових корпусних конструкцій. Критичними зонами конструкції судна прийнято вважати середню частину судна; місця, які розташовані в чверті довжини судна від носового і кормового перпендикулярів, і район переходу палуби у надбудову [1, 2]. Відповідно до циркуляру Міжнародної морської організації всі судна вантажопідйомністю понад 20000 тонн рекомендовано обладнати тензометричними системами моніторингу технічного стану корпусу [3]. Тензометричні давачі рекомендовано встановлювати стаціонарно в середній частині корпусу судна (зона мідель-шпангоута) і в місцях, що розташовані на відстані $0,25 L$ (де L – довжина судна) від носового і кормового перпендикулярів.

Для діагностики технічного стану судна ефективним може бути непрямий метод визначення рівня механічних напружень, побудований на вимірюванні коерцитивної сили матеріалу обстежуваної конструкції [4–6]. Це було підтверджено експериментально під час ремонту суден [7]. При цьому, мобільність коерцитиметричного методу дає змогу проводити індивідуальний аналіз розподілу механічних напружень в елементах конструкції конкретного судна, що дає можливість підвищити достовірність моніторингу [8].

Метою роботи є експериментальне обґрунтування нової концепції моніторингу технічного стану суден, ґрунтуючись на методі коерцитиметрії.

Методика експерименту. Для визначення розподілу коерцитивної сили вздовж елементів конструкції суден вибрані верхні горизонтальні поверхні комінгсів люків, які розташовані з обох бортів судна. Такий вибір зумовлений тим, що комінгси вантажних трюмів суден змішаного “ріка–море” плавання є доступними для приладного контролю на відміну від інших повздовжніх балок суден цього типу. Комінгси є важливими несучими елементами судна, що забезпечують його повздовжню міцність, а трюми можна вважати конструктивними концентраторами напружень (рис. 1).

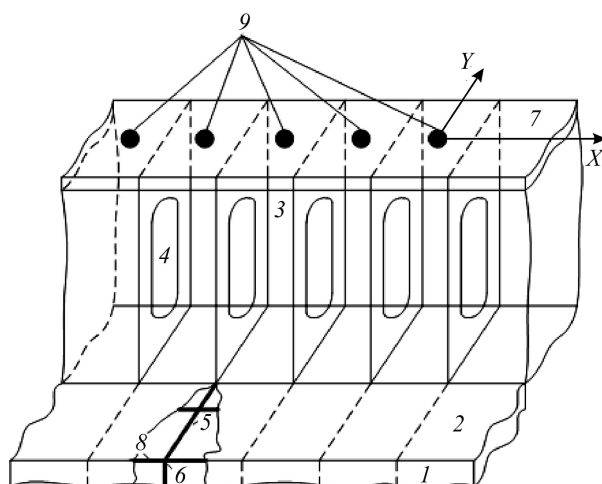


Рис. 1. Розташування точок вимірювання коерцитивної сили вздовж комінгсів досліджуваного судна: 1 – борт судна; 2 – настил палуби; 3 – комінгс; 4 – стійки комінгса; 5 – бімс; 6 – шпангоут; 7 – горизонтальна полка комінгса; 8 – підпалубний стрингер; 9 – точки вимірювання H_c .

Вимірювання коерцитивної сили здійснювали за допомогою магнітного структуроскопа КРМ-Ц-К2М (розробник – фірма “Спеціальні наукові розробки”, Харків), оснащеного П-подібним приставним перетворювачем. Діапазон вимірювання коерцитивної сили 1...60 А/см. Похибка вимірювання не більше 5%. Тривалість вимірювального циклу – 6 с. Під час вимірювань магнітне осердя перетворювачів коерцитивної сили створює з матеріалом контрольованої зони комінгса трюмів замкнутий магнітний контур, що дає змогу проводити вимірювання коерцитивної сили матеріалу H_c навіть через невеликий шар захисного покриття [4–8].

Вимірювання проводили на судні змішаного “ріка–море” плавання, яке знаходиться в експлуатації з 1980 року. Запланований термін експлуатації судна – 25 років. Матеріал комінгсу трюмів досліджуваного судна – сталь 09Г2С. Повздовжню координату точок вимірювання коерцитивної сили визначали за номером. Вимірювання проводились в точках на горизонтальних полках комінгсів (рис. 1), що відповідають кожному 5-му шпангоуту. Для досліджуваного судна відстань між кожним п’ятим шпангоутом дорівнювала 2,5 м. Точки визначення коерцитивної сили вздовж повздовжніх комінгсів можна точно визначити і перенести на загальний план досліджуваного судна. При цьому визначались повздовжня і поперечна складові коерцитивної сили, які відповідали повздовжньому вздовж осі X і поперечному вздовж осі Y напрямкам магнітного поля намагнічування (рис. 1).

Результати і їх обговорення. Використовуючи зазначену методику, проводили вимірювання розподілу коерцитивної сили вздовж комінгсу трюмів на судах типу “ріка–море” в різних умовах їх експлуатації і при різних варіантах завантаження. Після обробки результатів вимірювань на одному з досліджуваних суден були отримані графіки зміни коерцитивної сили за номерами шпангоутів № у баласті (рис. 2а) і у завантаженому стані (рис. 2б).

Аналіз розподілу величини коерцитивної сили виявив (рис. 2), що найбільші значення спостерігаються в зоні шпангоутів за номерами 50 (точка 4), 57 (точка 5), 85 (точка 6), 135 (точка 7) і 190 (точка 8). Визначені зони можна віднести до критичних і використати для подальшого моніторингу досліджуваного судна. Аналіз виявив, що визначені критичні зони збігаються для судна, що знаходиться у баласті (рис. 2а), і для судна за умови повного завантаження (рис. 2б). Отже, вияв-

лені критичні зони наявні за різних умов навантаження судна і є індивідуальними для кожного досліджуваного судна.

Зауважимо, що завантаження судна може приводити до перерозподілу початкових напружень. Це може призводити до того, що в окремих точках (точки 4 і 5 на рис. 2) напруження при завантаженні судна зменшуються.

Зазначимо, що встановлені для досліджуваного судна критичні зони максимальних механічних напружень суттєво відрізняються від рекомендацій Міжнародної морської організації [3]. Це дало змогу запропонувати принципово нову концепцію моніторингу суднових конструкцій в умовах експлуатації, яка (на відміну від традиційних підходів) враховує особливості конкретного судна [8, 9]. При реалізації запропонованої концепції для вантажних суден типу “ріка–море” попередньо за різних режимів його експлуатації визначають розподіл коерцитивної сили матеріалу поздовжніх комінгсів судна, за максимальними значеннями якої визначають критичні зони досліджуваного судна. Подальший моніторинг проводять шляхом розміщення давачів коерцитивної сили у визначених критичних зонах і у вимірюванні змін коерцитивної сили в процесі подальшої експлуатації.

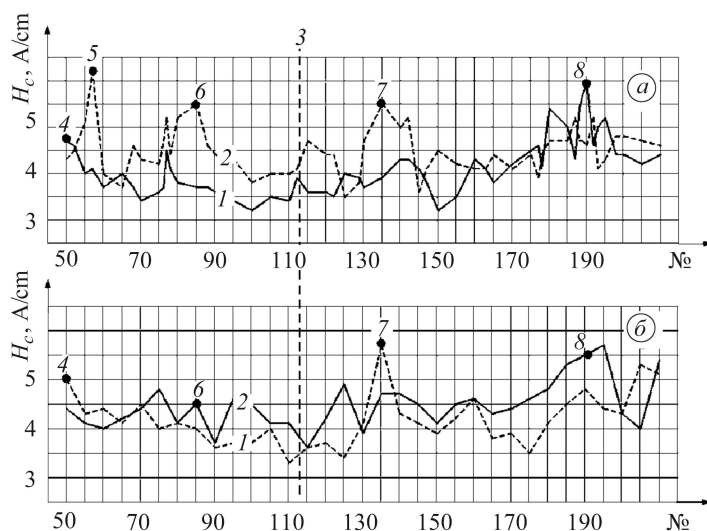


Рис. 2. Розподіл коерцитивної сили H_c вздовж комінгсів за номерами шпангоуту № у баласті (а) і у завантаженому стані (б): 1 – поздовжня складова H_c ; 2 – поперечна складова H_c ; 3 – мідель-шпангоут; 4–8 – виявлені критичні зони.

Для визначення механічних напружень суднових конструкцій в критичних зонах використовують відповідну кореляційну залежність між напруженим станом σ і коерцитивною силою матеріалу H_c . Для оцінки критичного стану елементів конструкції судна можна використати попередньо визначені для кожного матеріалу значення коерцитивної сили H_c^P і H_c^S , що відповідають границі текучості ($\sigma_{0,2}$) і міцності (σ_s) відповідно [5, 6]. Для досліджуваної сталі типу 09Г2С відповідні значення коерцитивної сили дорівнюють $H_c^P = 7,5$ А/см і $H_c^S = 9,5$ А/см відповідно [6].

Отже, запропонована концепція базується на попередньому визначенні критичних зон несучих елементів суднових конструкцій, що дає змогу врахувати індивідуальні особливості судна і збільшити достовірність моніторингу [8, 9].

ВИСНОВКИ

Для визначення механічних напружень несучих елементів конструкцій суден запропоновано використовувати коерцитиметричний метод неруйнівного

контролю. Для моніторингу рівня механічних напружень у процесі експлуатації суден типу “ріка–море” запропоновано визначати напруження на горизонтальних елементах комінгсів люків, які створюють жорсткий поздовжній зв’язок з іншими несучими елементами судна і відповідають вимогам контролепридатності.

Проведено дослідження розподілу коерцитивної сили матеріалу комінгсів люків у процесі експлуатаційних навантажень. Встановлено, що зони максимальних значень коерцитивної сили, що відповідають максимальним механічним напруженням, є індивідуальними для кожного судна і не завжди збігаються із зонами розташування тензOMETричних давачів відповідно до рекомендацій Міжнародної морської організації.

Запропоновано нову концепцію моніторингу суднових конструкцій, яка полягає у визначенні індивідуальних критичних зон кожного обстежуваного судна і вимірюванні коерцитивної сили матеріалу в цих критичних зонах несучих елементів.

Отримані результати будуть використані для створення автоматизованої багатоканальної системи безперервного коерцитиметричного моніторингу технічного стану суднових конструкцій в умовах їх експлуатації.

1. *Максимаджи А. И.* Капитану о прочности корпуса судна: Справ. – Л.: Судостроение, 1988. – 224 с.
2. *Прочность судов смешанного плавания / Ф. Г. Кандель, И. Н. Галахов, Ю. Н. Раскин, А. З. Фридлянский.* – Л.: Судостроение, 1974. – 240 с.
3. *MSC/Circ.646. Recommendations for the fitting of Hull Stress Monitoring Systems, 06.06.1994.* – Офіційний сайт: www.imo.org.
4. *Назарчук З. Т., Рибачук В. Г., Учанін В. М.* Методи та засоби вимірювання коерцитивної сили в неруйнівному контролі // Матеріали 4-ої нац. наук.-техн. конф. “Неруйнівний контроль та технічна діагностика”. – К., 2003. – С. 177–182.
5. *Діагностика напружено-деформованого стану та накопичення пошкоджуваності в елементах сталевих конструкцій магнітним методом / О. Остащ, О. Вольдемаров, В. Учанін, Г. Безлюдько // Праці міжнар. конф. “Механіка руйнування і міцність конструкцій”. – Львів: Фіз.-мех. ін-т ім. Г. В. Карпенка НАНУ, 2004. – С. 749–753.*
6. *Магнитная диагностика и остаточный ресурс подъемных сооружений / Б. Е. Попов, В. С. Котельников, А. В. Зарудный, Е. А. Левин, Г. Я. Безлюдько // Безопасность труда в промышленности.* – М., 2001. – № 2. – С. 44–49.
7. *Нестеренко В. Б., Завальнюк О. П., Учанін В. Н.* Исследование возможности использования коерцитиметрии для оценки технического состояния судовых конструкций длительной эксплуатации // Матеріали 17-ої міжнар. наук.-техн. конф. “Електромагнітні та акустичні методи неруйнівного контролю матеріалів та виробів –“ЛЕОТЕСТ-2012”. – Львів: Фіз.-мех. ін-т ім. Г. В. Карпенка НАНУ, 2012. – С. 43–45.
8. *Патент 76864 Україна, МПК В63В9/08. “Спосіб моніторингу технічного стану несучих елементів суднових конструкцій” / В. Б. Нестеренко, В. М. Учанін, О. П. Завальнюк, Г. Я. Безлюдько.* – № 2012 u 04407. Заявл. 09.04.2012. Опубл. 25.01.2013. Бюл. № 2. – 5 с.
9. *Заявка на винахід № 07675 від 22.06.2012. МПК В63В9/08 “Спосіб моніторингу технічного стану несучих елементів конструкції судна” / О. П. Завальнюк, В. М. Учанін.*

*Херсонська державна морська академія;
Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка
НАН України, Львів*

*Одержано
08.02.2013*