# СЕКЦІЯ XVII.
# ТРАНСПОРТ ТА ТРАНСПОРТНІ ТЕХНОЛОГІЇ

## НАДІЙНІСТЬ СУДНОВИХ СИСТЕМ

**Васильченко Геннадій Юрійович**
*ORCID: 0000-0002-8320-4441*
канд.пед.наук, доцент,
доцент кафедри транспортних технологій та механічної інженерії
*Херсонська державна морська академія, Україна*

***Анотація.*** *У статті розглянуто основні чинники, що впливають на надійність суднових систем, зокрема трубопровідних мереж. Проаналізовано причини та характер відмов, пов'язаних із корозією, ерозією, кавітацією та гідравлічними ударами. Наведено особливості роботи систем охолодження, стисненого повітря та допоміжних контурів. Окреслено сучасні технічні рішення й профілактичні заходи, спрямовані на підвищення експлуатаційної надійності суднового обладнання та зниження аварійності.*

Надійність суднових систем значною мірою визначається станом трубопровідних мереж, які в процесі експлуатації зазнають дії низки несприятливих фізико-хімічних процесів. До найбільш небезпечних із них належать гідравлічні удари, корозія, ерозія та кавітація, що істотно скорочують ресурс елементів трубопровідних систем.

Експлуатація металевих трубопроводів супроводжується характерними видами відмов, серед яких переважають розриви труб, корозійно-ерозійне зношування матеріалу та руйнування захисних покриттів. Зазначені процеси зумовлені такими чинниками:

– високими швидкостями руху робочих середовищ усередині труб;

– малими радіусами вигину гнучких труб і різкими змінами прохідного перерізу, особливо в місцях установлення арматури та контрольно-вимірювальних приладів;

– порушенням цілісності захисних покриттів унаслідок складності їх нанесення;

– змінами експлуатаційних параметрів рідин;

– розвитком напружено-корозійного тріщиноутворення у сталевих трубах за наявності галогенів (хлоридів, бромідів тощо), що посилює сумісну дію корозії, механічних напружень і вологого середовища.

Слід зазначити, що аустенітні нержавіючі сталі, особливо за температури понад 50 °С, а також феритні нержавіючі сталі практично не схильні до цього виду корозії. У феритно-аустенітних сталях такі пошкодження мають, як правило, випадковий характер.

Узагальнення досвіду експлуатації суднових систем показує, що розриви трубопроводів зумовлені такими причинами:

– гідравлічні удари, різкі перепади тиску та вібрації — близько 60 % випадків;

– корозійні процеси — приблизно 25 %;

– аварійні ситуації та порушення умов експлуатації — близько 15 %.

Корозія зазвичай має локалізований характер, розвивається без рівномірного утворення іржі та швидко призводить до появи тріщин у металі. У зв’язку з цим корозійне руйнування є основним недоліком суднових трубопровідних систем.

Інтенсивність корозійних процесів у трубопроводах визначається такими параметрами:

– матеріалом труб і типом захисних покриттів;

– наявністю місцевих гідравлічних опорів;

– гідродинамічними характеристиками потоку (ступінь турбулізації, швидкість руху, якість обробки внутрішньої поверхні, товщина приграничного шару тощо).

Практика показує, що до 90 % руйнувань припадає на круто вигнуті коліна, приварні відгалуження та фланцеві з’єднання. Найбільш уразливими є зони зварювання трійників, колекторів, фланцевих перехідників і криволінійних ділянок. У цьому відношенні прямолінійні литі конструкції вирізняються підвищеною надійністю.

Суттєвий вплив на надійність мають також схема системи охолодження (одноконтурна, двоконтурна або центральна) і тип застосовуваних теплообмінних апаратів, кінгстонів та запірної арматури.

На криголамах широко застосовують донні та бортові льодові ящики, а також рециркуляційні трубопроводи, якими частина підігрітої забортної води подається до приймальних трубопроводів насосів забортної води або безпосередньо до льодових ящиків.

Сучасною тенденцією є використання центральних систем охолодження забортної води, що дає змогу істотно скоротити протяжність трубопроводів. У таких системах один центральний охолоджувач і насос забезпечують охолодження прісної води внутрішніх контурів усіх суднових систем.

Відмови контурів прісної та забортної води мають такий характер:

– корозійно-ерозійні руйнування неоцинкованих сталевих трубопроводів, які посилюються за температури води 60…80 °С і швидкості потоку 2,5…3,0 м/с;

– порушення герметичності запірних органів;

– відмови насосів унаслідок ерозійного руйнування робочих коліс і підвищеного зношування сальникових ущільнень;

– вихід з ладу контрольно-вимірювальних приладів і елементів автоматики.

Витрати на усунення відмов систем забортної води становлять близько 10 % від загальної вартості ремонту судна.

Ерозійні пошкодження виникають на внутрішніх поверхнях труб унаслідок ударів водяних бульбашок, піску та інших твердих частинок. Особливо інтенсивно ерозія розвивається на вигинах труб за високих швидкостей потоку. У системах, де можливе потрапляння абразивних домішок, застосування високих швидкостей є недоцільним.

Для трубопроводів діаметром менше ніж 50 мм гранична швидкість становить 1,2 м/с, а для труб більшого діаметра допустиме падіння тиску не повинно перевищувати 400 Па на 1 м довжини трубопроводу. Загалом швидкість потоку рекомендується обмежувати значенням 4,6 м/с з метою зменшення ерозії, шуму та ймовірності гідравлічних ударів.

Кавітація є процесом порушення суцільності потоку рідини, що супроводжується утворенням парових або газових бульбашок у разі зниження тиску нижче тиску насиченої пари. Найчастіше кавітація виникає в насосах, зокрема на тильних поверхнях лопатей робочих коліс у зонах мінімального тиску.

Під час переміщення бульбашок у зону підвищеного тиску відбувається їх схлопування, яке супроводжується локальними ударними навантаженнями, що спричиняють кавітаційну ерозію поверхонь каналів і лопатей.

До основних негативних наслідків кавітації належать:

– руйнування поверхонь каналів і робочих органів;

– поява шуму, вібрації та ударів;
– зменшення подачі, напору, потужності та ККД насосів;
– обмеження допустимої висоти всмоктування.

Для зменшення кавітаційних явищ застосовують спеціальні конструкції робочих коліс, передвключені шнеки, багатопотокові схеми, зниження частоти обертання, а також спеціальні матеріали й захисні покриття.

Гідравлічний удар супроводжується різким зростанням тиску та характерним шумом, що призводить до прискореного зношування труб і арматури. Основною причиною його виникнення є швидке перекриття потоку, зокрема під час різкого закривання клапанів.

Навіть за помірних швидкостей руху рідини виникаючий тиск може досягати кількох мегапаскалів, що підтверджує високу небезпеку цього явища.

Для підвищення надійності систем охолодження рекомендується:
– спрощення конструкції та скорочення довжини трубопроводів;
– застосування центральних систем охолодження;
– використання труб із цинковим покриттям, а також труб із латуні та мідно-нікелевих сплавів.

Надійність систем стисненого повітря забезпечується резервуванням обладнання, регулярним видаленням конденсату, контролем стану балонів і застосуванням антикорозійних покриттів. Трубопроводи стисненого повітря зазвичай виконують зі сталевих безшовних або біметалевих труб.

Важливим елементом забезпечення надійності є оперативний ремонт трубопроводів у разі появи тріщин із використанням універсальних ремонтних муфт і хомутів, що дає змогу швидко відновити працездатність системи.

Останніми роками широкого застосування набули стабілізатори тиску, які ефективно гасять гідравлічні удари, коливання тиску та вібрації. Їх використання дозволяє знизити аварійність трубопроводів і обладнання до 85 %.

Важливе місце також посідають технології очищення труб і теплообмінних поверхонь. Застосовують гідродинамічні, абразивоструминні, імпульсні, ультразвукові, механічні та хімічні методи, а також їх комбіновані варіанти, що забезпечують ефективне видалення відкладень, зменшення корозії та покращення тепло- і масообміну.

**Висновки.** Надійність суднових систем безпосередньо залежить від технічного стану трубопроводів, правильності вибору матеріалів, конструктивних рішень і дотримання умов експлуатації. Аналіз показав, що основними причинами відмов є корозійні процеси, ерозія, кавітація та гідравлічні удари, які призводять до передчасного зношування елементів систем і зростання витрат на ремонт.

Застосування центральних систем охолодження, обмеження швидкостей потоку, зменшення кількості місцевих опорів, використання корозійностійких матеріалів, а також впровадження стабілізаторів тиску та сучасних методів очищення дозволяє суттєво підвищити експлуатаційну надійність суднових систем. Комплексний підхід до проєктування, експлуатації та технічного обслуговування є ключовою умовою забезпечення безпечної й безперебійної роботи суднового енергетичного обладнання.

## Список використаних джерел:

1. Vizentin G., Vukelic G., Murawski L., Recho N., Orovic J. *Marine Propulsion System Failures – A Review* // Journal of Marine Science and Engineering. – 2020. – Vol. 8, №9. – Article 662. – 10 p. – DOI: 10.3390/jmse8090662.
2. Garbatov Y., Guedes Soares C. *Reliability Based Maintenance of Marine Structures* // In: Marine Technology and Engineering. London: Taylor & Francis Group, 2011. – 340 p. – ISBN 978-0-415-69808-5
3. Компютерне діагностування на основі термодінамічних характерних відмов роботи суднових механізмів із гідравлічним приводом у надзвичайних ситуаціях / К. М. Клевцов та ін. *Прикладні питання математичного моделювання*. 2024. Т. 7, вип. 1. С. 110-121. URL: https://doi.org/10.32782/mathematical-modelling/2024-7-1-10.