

МОДЕЛЮВАННЯ ЗНИЖЕННЯ ШВИДКОСТІ ХОДУ ТРАНСПОРТНОГО СУДНА ПРОТЯГОМ ЙОГО СТРОКУ СЛУЖБИ

В. П. Шостак, канд. техн. наук, проф. ;
В. І. Гершаник, канд. техн. наук ;
А. І. Кісарова, асп.

Національний університет кораблебудування, м. Миколаїв

Анотація. На підставі узагальнення інформації з літературних джерел щодо спаду швидкості ходу суден унаслідок корозії й обростання та аналізу фізичних і хімічних процесів на підводній поверхні морського судна змодельовано стохастичну залежність цього спаду в режимі повного ходу від віку судна.

Ключові слова: судно, обростання, корозія, спад швидкості ходу, кліматичні зони, географічна широта, стоянковий час, специфікаційна швидкість ходу.

Аннотация. На основании обобщения информации из литературных источников о падении скорости хода судов в результате коррозии и обрастания, а также анализа физических и химических процессов на подводной поверхности морского судна смоделирована стохастическая зависимость этого падения в режиме полного хода от возраста судна.

Ключевые слова: судно, обрастание, коррозия, падение скорости хода, климатические зоны, географическая широта, стояночное время, спецификационная скорость хода.

Abstract. Based on a synthesis of information from the literature on the speed decreasing of the ships due to corrosion and fouling, and analysis of physical and chemical processes on the underwater surface ship it was modeled the stochastic dependence of the decreasing in full run of the age of the ship.

Keywords: ship, fouling, corrosion, decreasing of the speed, climate zones, latitude, time of berthing, the specification speed.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Для розв'язання низки задач як при проектуванні судна, так і при його експлуатації необхідні відомості щодо рейсових витрат палива, комерційної швидкості ходу, тривалості рейсу, що пов'язані зі спадом швидкості ходу внаслідок зміни шорсткості підводної поверхні корпусу, обумовленої корозією та обростанням. Крім того, в прикладних

дослідженнях суднової енергетичної установки як складної технічної системи, що в свою чергу є підсистемою судна [8], нерідко виникає потреба у визначенні тривалості рейсів і витрат палива протягом усього строку служби судна. Поряд з цим прийняття й обґрунтування раціональних проектних та управлінських рішень без відповідних розрахунків витрат палива і швидкості ходу не можна вважати коректними. Але такі

розрахунки потребують інформації про зниження швидкості ходу суден за час їх експлуатації протягом 20–30 років, хоча нормативний термін служби для переважної кількості цивільних суден не перевищує 25 років [10].

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

У багатьох літературних джерелах, наприклад у [2–4, 6, 7, 12], відомості про спад швидкості ходу суден подаються вибірково, стосовно окремих експлуатаційних ситуацій, і відсутня загальна картина цього небажаного явища, яке може бути змодельовано на підставі статистичних, хоча й обмежених, даних і характерних фізичних та хімічних процесів, що супроводжують контакт морської води з матеріалами підводної поверхні судна та збільшують шорсткість цієї поверхні. Отже, **актуальною** задачею для проектування й експлуатації суден та їх енергетичних установок є визначення спаду швидкості

ходу як від корозії, так і від обростання на будь-який момент експлуатації в тих чи інших кліматичних зонах з урахуванням виведення суден із навігації для проведення докових та заводських ремонтів.

МЕТА СТАТТІ — визначити шляхом моделювання в стохастичній постановці спад швидкості ходу внаслідок корозії й обростання транспортного судна залежно від району плавання, його специфікаційної швидкості та віку.

ВИКЛАДЕННЯ ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Шорсткість підводної зовнішньої поверхні судна, яка обумовлює опір рухові та визначає швидкість ходу, з часом змінюється, оскільки морська вода вступає в хімічну взаємодію з його корпусом і гвинтувальним комплексом, а на поверхні поселяються морські рослини та тваринні організми, або, як прийнято їх називати [2], обростачі.

На рис. 1 показані характерні для морських транспортних суден матеріали, що контактують з морською водою.

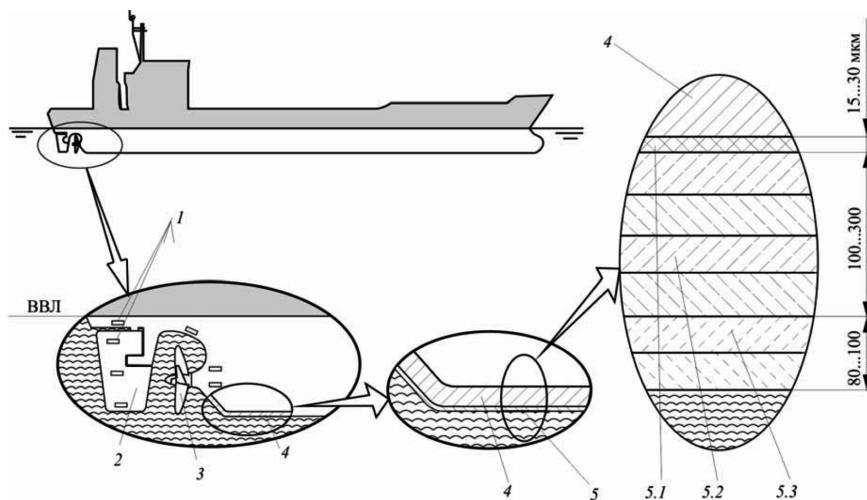


Рис. 1. Матеріали зовнішньої підводної поверхні судна:

1 — протектори (магнієві алюмінієві сплави); 2 — перо стерни (сталь); 3 — гребний гвинт (латунь, бронза, нержавіюча); 4 — обшивка корпусу (сталь); 5 — лакофарбове покриття; 5.1, 5.2, 5.3 — ґрунтовка, протикорозійна фарба та протиобростача фарба відповідно (лакофарбові матеріали)

Як відомо, морська вода — це розчин дуже багатьох речовин у воді. У ній розчинені різні солі, передусім кам'яна сіль (NaCl), а також гази: азот, кисень, аргон та вуглекислота. У цілому ж, у ній розчинено безліч різних сполук майже всіх елементів періодичної системи. У силу аномально високої діелектричної проникності вода є одним із дуже сильних розчинників. У середньому солоність Світового океану складає біля 3,5%, з коливанням від 3,4 до 3,6%. Найменш солоною є вода Фінської затоки, найбільш — Червоного моря. Густина морської води коливається від 1020 до 1030 кг/м³. Слабколузна реакція морської води, водневий показник якої pH = 8,38...8,40, обумовлена переважною кількістю лужних елементів: натрію, кальцію, магнію та калію. Основою життя в океані є планктон. Першооснова ланцюга живлення — це фітопланктон, яким живиться рослиноїдний зоопланктон. Інтенсивність корозії підводної зовнішньої поверхні судна визначається хімічним складом води, а обростання — фіто- і зоопланктоном та температурою води. Усі ці чинники змінюються з переходом судна з однієї кліматичної зони в іншу.

Для корпусних конструкцій морських транспортних суден застосовуються звичайна вуглецева сталь (ЗВС) і низьколегована сталь підвищеної міцності (СПМ). Найчастіше для виготовлення корпусних конструкцій суден вітчизняної побудови використовуються сталі категорії В (ЗВС), Д36 (СПМ) та Е40 (СПМ). Відповідно до нормативно-технічної документації хімічний склад корпусної сталі, окрім заліза — ферум Fe, наприклад для категорії Д36, такий (масова частка, %):

марганець (манган Mn) — 1,0...1,3;
нікель (нікол Ni) — 0,1...0,4;
мідь (купрум Cu) — 0,20...0,35;
кремній (силіцій Si) — 0,15...0,35;

хром (хром Cr) — 0,1...0,2;
вуглець (карбон C) — не більше 0,14;
ванадій (ванадій V) — до 0,1;
алюміній (алюміній Al), розчинений у кислоті — не більше 0,06;
ніобій (ніобій Nb) — 0,05.

Матеріалом для виготовлення гребних гвинтів морських транспортних суден є латунь, бронза або нержавіюча сталь.

Для гребних гвинтів суден, швидкість яких не перевищує 18 вуз і які експлуатуються поза районами з тропічним або арктичним кліматом, застосовується марганцевиста латунь ЛЦ40МцЗЖ як найбільш дешевий і технологічний матеріал із числа сплавів на мідній основі. Проте вона схильна до вибіркової корозії та корозійного розтріскування в морській воді.

Для гребних гвинтів суден з необмеженим районом плавання найчастіше застосовуються бронзи: алюмінієво-нікелева БрА9Ж4Н4 або марганцево-алюмінієва БрА7Мц14Ж3Н2. Їх корозійна стійкість у морській воді вдвічі вища, ніж у латуні. Більшу міцність і вищу корозійну стійкість має бронза БрА7Мц14Ж3Н2. Бронза БрА9Ж4Н4 схильна до вибіркової корозії.

У зв'язку з тим, що нержавіюча сталь 08Х14НДІ має високі міцнісні характеристики, задовільну пластичність та ударну в'язкість і не схильна до міжкристалітної корозії та корозійного розтріскування, вона застосовується для виготовлення гребних гвинтів криголамно-транспортних суден.

З метою суттєвого зменшення інтенсивності корозії підводної частини сталевих корпусу транспортних суден повздовж корпусу та поблизу гвинта й стерна розміщують протектори («жертвенні аноди»). Матеріал протекторів — магнієвий, цинковий та алюмінієвий сплави, які більш електро-негативні стосовно сталі. Поступово

розчиняючись у морській воді, протектори захищають від інтенсивної корозії підводну частину судна. Через один-два роки встановлюють нові протектори.

Для захисту від корозії й обростання підводної частини судна її, крім гвинта, покривають декількома шарами лакофарбових матеріалів. Звичайно на чисту сталеву поверхню для забезпечення необхідної адгезії наносять один шар ґрунтовки, потім три-чотири шари протикорозійної фарби та два шари протиобростаючої фарби. Розміри лакофарбового покриття показані на рис. 1.

Суднобудування має у своєму розпорядженні відносно невеликий асортимент ґрунтовок, придатних для корпусів суден, зокрема: фосфатуєчу ВЛ-02, ВЛ-08 або ВЛ-023, свинцево-сурічну 81, змішану 83, гліфталеву ГФ-020 та ін.

Для фарбування підводної частини корпусу використовуються такі протикорозійні фарби: епоксидно-етиолова ЕП-755, етиолова ЕКЖС-40, перхлорвінілова ХС-74, епоксидно-кам'яновугільна ЕП-72 та ін. Протиобростаючі фарби мають таку ж саму плівкоутворюючу основу, що й протикорозійні. Проте вони містять токсичні компоненти: неорганічні сполуки міді, органічні сполуки олова, свинцю, закиси міді, сполуки миш'яку тощо. Серед великої кількості марок протиобростаючих фарб можна виділити такі: ХВ-53, ХВ-5151 (перхлорвінілові), ХС-79, ХВ-71 (вінілові), ТПК-868 (на основі сплава каніфолі з воскоутворюючими речовинами). Загальний термін захисту від корозії й обростання при повній схемі фарбування лежить у межах від 12 до 24 місяців [2].

Сумісне застосування електрохімічного захисту та сучасного лакофарбового покриття на підводній частині судна дає значний ефект. Проте запобігти повністю корозії й обростанню неможливо. Це пояснюється наступним:

не вдається отримати при нанесенні фарби безпористого покриття;

при коливанні температури в лакофарбовому покритті з'являються тріщини;

унаслідок проникнення морської води до основного металу відбувається підшарова корозія сталі, з'являється локальне набухання фарби та подальше її відлущування;

у районах близького розташування «жертвених анодів» має місце більше обростання, оскільки біля окремих ділянок корпусу судна водневий показник забортної води зростає від $\text{pH} \cong 8,5$ до $\text{pH} \cong 12 \dots 14$ [2];

протягом міждокового періоду захисні дії протиобростаючих фарб знижуються внаслідок безупинного вимивання з них токсичних речовин.

Таким чином, у захисному шарі фарби постійно проходять руйнівні процеси — в початковий період повільно, і спад швидкості ходу судна не суттєвий. Далі, приблизно через рік, цей шар починає інтенсивно руйнуватися, обростачі активізуються, шорсткість корпусу швидко зростає, що обумовлює прогресуючий спад швидкості ходу судна. Наприкінці дворічного міждокового періоду шорсткість підводної поверхні корпусу стабілізується і спад швидкості ходу сповільнюється.

У свою чергу, на швидкість ходу судна впливає і стан поверхні гребного гвинта. Шорсткість поверхні його лопатей зростає внаслідок кавітаційних явищ. Крім того, як зазначено вище, і бронза, і латунь схильні в тій чи іншій мірі до вибіркової корозії в морській воді, а нержавіюча сталь — до міжкристалітної корозії та корозійного розтріскування. Отже, з часом шорсткість поверхні гребного гвинта, як і поверхні корпусу судна, збільшується, що обумовлює спад його ККД і, як наслідок, зменшення швидкості ходу.

Настає час, коли подальша експлуатація судна потребує очищення корпусу та гвинторульового комплексу від корозії й обростачів, шпатлювання значних корозійних пошкоджень, усунення кавітаційних та інших заглибин на гвинті, нанесення лакофарбового покриття та встановлення нових протекторів. Цей час для переважної більшості транспортних суден настає приблизно після двох років неперервної навігації.

Як засвідчує практика експлуатації морських суден і спеціальні дослідження [2], вид і кількісний склад обростання залежать від місцевих фізичних, хімічних та біологічних факторів. До основних факторів належать: географічний район, пора року, ступінь насиченості навколишнього середовища личинками обростачів, наявність у воді поживних речовин і кисню, солоність і концентрація водневих іонів рН, температура і швидкість потоку води, забрудненість морського району, освітленість ділянок води, льодовий режим, глибина занурення, експлуатаційний режим судна (співвідношення ходового і стоянкового часу) тощо.

Інтенсивність обростання залежить, у першу чергу, від району плавання судна. У високих широтах обростання розвивається повільно, період осідання личинок обростачів короткий. У помірних широтах обростання значніше і визначається весняно-літніми піками розвитку личинок. У тропічних водах осідання личинок цілорічне, неперервне, а інтенсивність обростання значна. Масовий розвиток личинок відбувається в теплу пору року і зменшується

в зимовий період. Таким чином, обростання і внаслідок цього спад швидкості ходу судна залежать від кліматичних зон Світового океану, де експлуатується судно. Зокрема, при переважному плаванні суден у помірній і тропічній зоні втрати швидкості ходу через 12 місяців в окремих випадках можуть сягати 2 вуз. Однак такі втрати при плаванні в більш високих широтах ($\lambda = 55 \dots 80^\circ$), якщо плавання не супроводжується регулярним «самоочищенням» кригою, не перевищують 0,6 вуз [2, 3].

На підставі розрізнених і різночасових даних, що наведені в [2–7, 11, 12], побудовано індетерміновану залежність $\Delta v_s^{06} = f(\lambda)$ для сучасного транспортного судна з помірною специфікаційною швидкістю ходу $v_s^c = 16$ вуз, часткою стоянкового часу $\tau_{ct} = 0,2$ після 24 місяців експлуатації на акваторії з певною географічною широтою λ (рис. 2). При моделюванні зниження швидкості ходу внаслідок обростання Δv_s^{06} враховано застосування останнім часом більш ефективних плівкоутворюючих речовин і протиобростаючих фарб.

Індетермінізм обумовлений як розкиданістю наявних даних щодо значень Δv_s^{06} , так і коливанням межі кліматичних зон за районами Світового океану [1]. Наприклад, тропічна зона в північній півкулі обмежується широтами приблизно 10° , а в південній — в багатьох випадках 20° . Узагальнені дані щодо географічної широти кліматичних зон наведено в табл. 1.

На рис. 2 середня лінія залежності — передбачуване найбільш імовірне

Таблиця 1. Широти, град, для характерних зон Світового океану

Кліматичні зони	min	max	Середньоінтегральне значення
Тропічна	0	23	12
Тропічна сезонна	10	24	15
Літня	14	36	22
Зимова сезонна	34	60	50
Арктична	55	80	70

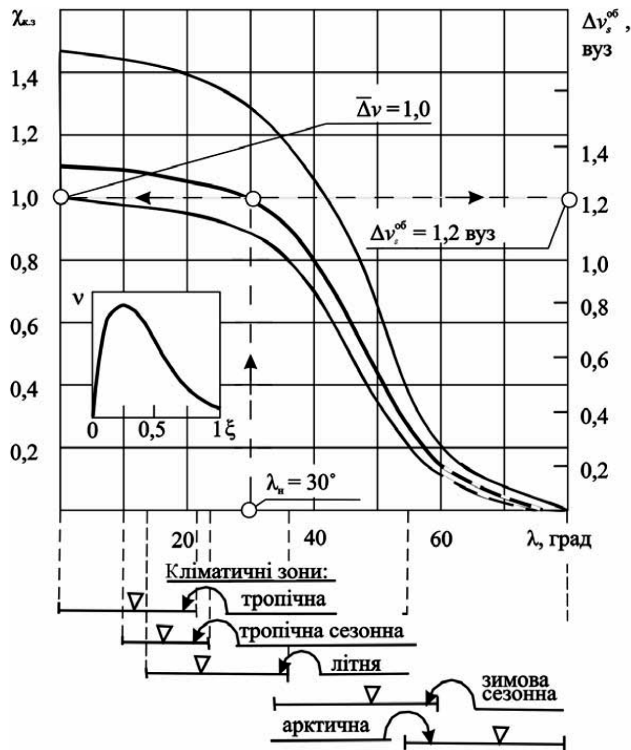


Рис. 2. Залежність зниження абсолютної $\Delta v_s^{об}$ і відносної $\chi_{к.з.}$ швидкості ходу транспортного судна від широти кліматичної зони його експлуатації за дворічний період

значення $\Delta v_s^{об}$, або $\chi_{к.з.} = \Delta v_s^{об} / \Delta v_{сб}^{об}$, а вкладений рисунок відображає усічену диференціальну функцію розподілу (v) нормованих на відрізьку 0...1 значень (ξ) зниження швидкості ходу судна $v = f(\xi)$ [8]. Усічення здійснено 5- і 95-відсотковими квантилями.

При визначенні відносного спаду швидкості $\chi_{к.з.}$ за базове значення взято $\Delta v_s^{об} = 1,2$ вуз.

Крім того, на рисунку зображено діапазони кліматичних зон з трикутними відмітками середньоінтегральних значень широти відповідно до табл. 1.

На рис. 3 зображено змодельовані стохастичні залежності $\chi_{ст} = f(\bar{\tau}_{ст})$ і $\chi_v = f(V_s^c)$ для транспортних суден при експлуатації в кліматичних зонах з широтою $\lambda = 30^\circ$. Ці залежності відповідають часу, що минув після докування

судна, $\tau_n = 24$ місяці. Стохастичний характер залежностей обумовлений розбіжностями даних у різних джерелах інформації, на підставі яких побудовано ці гладкі неперервні функції.

«Жирні» лінії на рис. 3 і наступних рисунках — це геометричне місце точок з найбільш вагомими значеннями відповідних величин, а «тонкі» лінії відображають їх граничні значення.

Залежність на рис. 3,а характеризує відносний спад швидкості ходу $\chi_{ст}$ транспортних суден зі зміною частки стоянкового часу $\bar{\tau}_{ст}$ по відношенню до сумарного експлуатаційного часу. За базу взято найбільш характерне на даний час значення $\bar{\tau}_{ст} = 0,2$, а тому при цьому значенні $\chi_{ст} = 1$. При $\bar{\tau}_{ст} > 0,4$ подальший спад швидкості незначний, оскільки за цих умов майже вся зовнішня поверхня

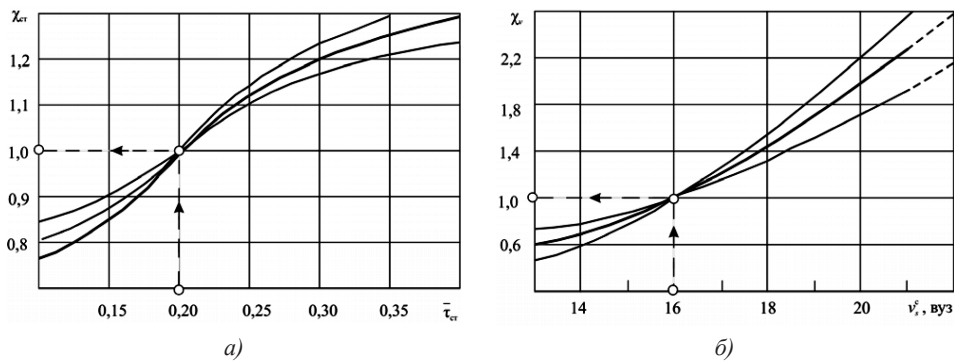


Рис. 3. Залежність відносного спаду швидкості ходу транспортного судна внаслідок обростання від частки стоянкового часу (а) та обростання і корозії від специфікаційної швидкості ходу (б)

підводної частини судна покрита обростачами.

Спад швидкості ходу зі зростанням шорсткості підводної частини корпусу для тихохідних суден значно менший, ніж для швидкохідних. Залежність на рис. 3, б характеризує відносний спад швидкості ходу χ_v для суден з різними специфікаційними швидкостями $V_s^к$.

Тут за базу взято $V_s = 16$ вуз. В основу моделювання залежності $\chi_v = f(V_s^к)$ покладено те, що із зростанням V_s шорсткість має все більший вплив на ходові якості судна.

На рис. 4 зображено стохастичні залежності $\Delta v_{сб}^к = f(T)$ і $\Delta v_s^{об} = f(\tau_d)$ стосовно транспортних суден з $V_s = 16$ вуз, географічної широти $\lambda = 30^\circ$ і частки стоянкового часу $\tau_{ст} = 0,2$ для режиму повного ходу. Ці залежності, як і попередні, є результатом узагальнення даних з різних джерел та експертних оцінок.

Незважаючи на періодичне документування, на застосування протикорозійних фарб і протекторів, зовнішня поверхня підводної частини судна під впливом морської води з віком судна збільшує свою шорсткість унаслідок електрохімічної корозії. На рис. 4, а зображено спад швидкості ходу внаслідок корозії $\Delta v_s^к$ в залежності від віку судна T . Приблизно після 8 років експлуатації

($\Delta v_s^к = 0,15$ вуз) інтенсивність зростання шорсткості від корозії падає і майже вся поверхня корпусу судна покривається більш-менш рівномірними корозійними заглибинами. Наприкінці терміну служби судна, коли $T = 26$ років, $\Delta v_s^к = 0,42 \dots 0,65$ вуз, найімовірніше $\Delta v_s^к = 0,5$ вуз.

Поселення та ріст обростачів після спуску судна на воду відбуваються в початковий період вкрай повільно, оскільки ефективно діє протиобростаюча фарба. Але після певного часу, приблизно через рік, коли кількість отрути у приграничному шарі води суттєво зменшується, починається інтенсивний ріст як водоростей, так і живих організмів на корпусі судна та гвинтурульовому комплексі. Втрати швидкості ходу судна внаслідок обростання $\Delta v_s^{об}$ в залежності від тривалості неперервної навігації, тобто від часу τ_d , що минув після докування, ілюструється рис. 4, б. Після року експлуатації зменшення швидкості не перевищує $0,33 \dots 0,44$ вуз. Зміна інтенсивності впливу обростання на швидкість ходу відбувається приблизно після 14 місяців неперервної експлуатації. По завершенні міждокового (неперервного навігаційного) періоду, коли $\tau_d = 2$ роки, для суден з помірними швидкостями ходу втрата швидкості ходу внаслідок обростання

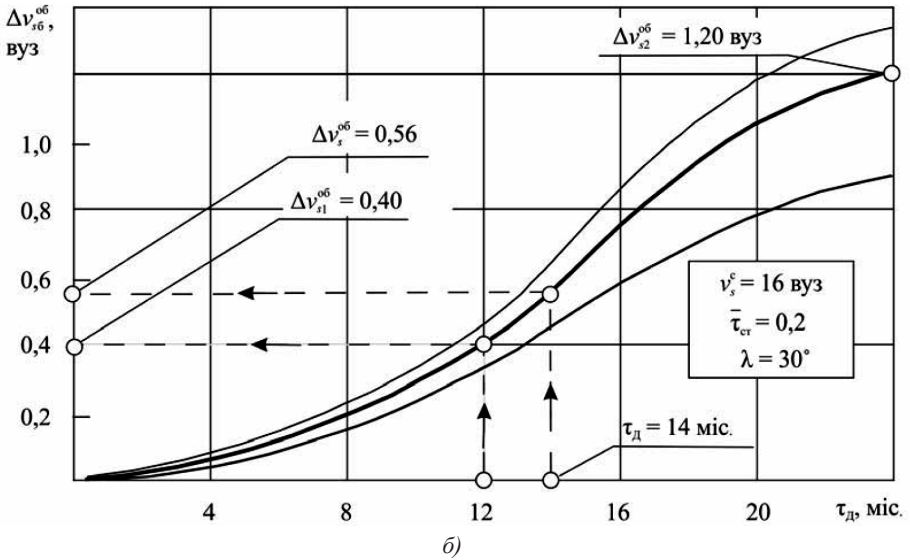
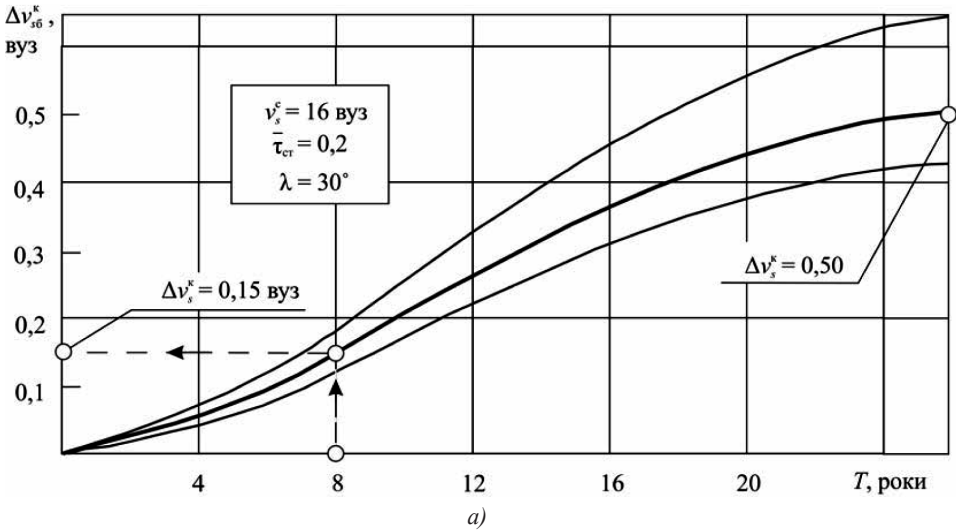


Рис. 4. Спад швидкості ходу судна від корозії Δv_{s6}^k та обростання Δv_s^{ob} в залежності від віку судна (а) та часу, що минув після докування (б)

становить 0,90...1,34 вуз; найбільш вагоме $\Delta v_{s2}^{ob} = 1,2$ вуз.

Згідно з викладеним вище спад швидкості в режимі повного ходу судна розраховується наступним чином:

унаслідок корозії

$$\Delta v_s^k = \Delta v_{s6}^k \chi_v;$$

унаслідок обростання

$$\Delta v_s^{ob} = \Delta v_{s6}^{ob} \chi_v \chi_{ст} \chi_{к.з};$$

сумарний $\Delta v_s = \Delta v_s^k + \Delta v_s^{ob}$.

У табл. 2 наведено задані та розраховані значення деяких величин для двох суден з помірною ($v_s^c = 15$ вуз) та підвищеною ($v_s^c = 20$ вуз) швидкостями ходу для району плавання з географічною широтою $\lambda = 40^\circ$, в якій згідно з рис. 1 відносно зниження швидкості внаслідок обростання підводної поверхні цих суден $\chi_{к.з} = 0,82$. Наведені дані

Таблиця 2. Розрахункові дані щодо спаду швидкості в режимі повного ходу транспортних суден з різними специфікаційними швидкостями для $\lambda = 40^\circ$

Вік судна T , роки	10				20			
Спад швидкості ходу внаслідок корозії Δv_{s0}^k за базових умов відповідно до рис. 3, а, вуз	0,21				0,44			
Специфікаційна швидкість ходу v_s^c , вуз	15	20		15	20		20	
Відносний спад швидкості ходу χ_v внаслідок обростання та корозії суден з різними v_s відповідно до рис. 2, б	0,85	2,00		0,85	2,00		2,00	
Падіння швидкості ходу внаслідок корозії Δv_s^k , вуз	0,18	0,42		0,37	0,88		0,88	
Час, що минув після докування, $\tau_{дв}$, міс.	12	24	12	24	12	24	12	24
Спад швидкості ходу внаслідок обростання $\Delta v_{s0}^{об}$ за базових умов відповідно до рис. 3, б, вуз	0,4	1,2	0,4	1,2	0,4	1,2	0,4	1,2
Частка стоянкового часу $\bar{\tau}_{ст}$	0,15	0,30	0,15	0,30	0,15	0,30	0,15	0,30
Відносний спад швидкості ходу $\chi_{ст}$ унаслідок обростання суден з різними $\bar{\tau}_{ст}$ відповідно до рис. 2, а	0,88	1,21	0,88	1,21	0,88	1,21	0,88	1,21
Спад швидкості ходу внаслідок обростання $\Delta v_s^{об}$, вуз	0,24	0,99	0,56	2,32	0,24	0,99	0,56	2,32
Сумарний спад швидкості ходу Δv_s , вуз	0,42	1,17	0,98	2,74	0,61	1,36	1,44	3,20

Таблиця 3. Прогнозні часові параметри танкера типу «Дмитрий Медведєв»

Порядковий номер заводського ремонту	1	2	3	4	5	–
Вік судна на початок ремонту $T_{рз}$, роки	4,02	8,1	12,3	16,6	20,8	–
Тривалість заводського ремонту $\Delta T_{рз}$:						
доби	33	65	93	74	139	–
роки	0,01	0,18	0,25	0,2	0,38	–
Порядковий номер докового ремонту	1	2	3	4	5	6
Вік судна на початок докового ремонту $T_{дв}$, роки	2	6,04	10,3	14,6	18,8	23,2
Тривалість докового ремонту $\Delta T_{дв}$:						
доби	8	9	10	12	14	16
роки		0,02		0,03		0,04

відповідають лініям, що відображають найбільш вагомі значення стохастичних залежностей, показаних на рис. 2–4. Для $v_s^c = 20$ вуз значення величин $\Delta v_s^{об}$ (2,34) і Δv_s (2,74 і 3,20) є умовними, оскільки для швидкісних суден докування здійснюють щорічно; звичайно $\tau_{дв} \leq 1$ рік. Як бачимо, абсолютний спад швидкості ходу швидкісних суден при $\tau_{дв} = 1$ рік приблизно такий самий, як і для суден з помірною швидкістю при $\tau_{дв} = 2$ роки, що обумовлює відповідне докування й

погоджується з практичною експлуатацією транспортних суден.

Для морських транспортних суден характерні певні експлуатаційно-ремонтні цикли (ЕРЦ). Кожний цикл складається з одного-двох докувань, двох-трьох переривних навігаційних періодів і заводського ремонту, який включає в себе і черговий доковий ремонт [10]. У табл. 3 наведено змодельовані часові параметри ЕРЦ для середньотоннажного танкера типу «Дмитрий Медведєв»

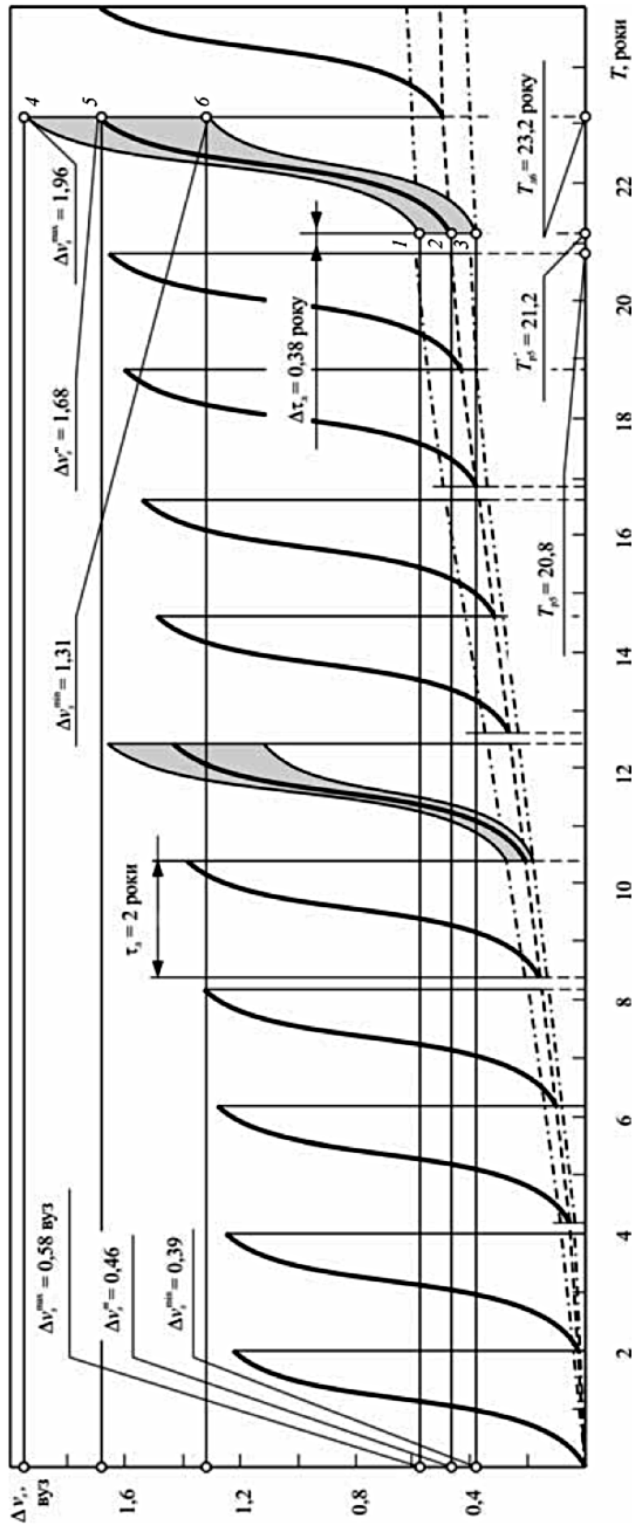


Рис. 5. Залежність спаду швидкості ходу внаслідок обростання та корозії середньогонимного танкера типу «Дмитрий Медведєв» від його віку

водотоннажністю 38290 т і з проектною швидкістю ходу ~ 16 вуз, які розраховані при тривалості докових ремонтів $\Delta T_d = 8 \dots 16$ дб, середньорічний тривалості умовних щорічних заводських ремонтів $\Delta T_p^{sp} = 20$ дб і прогнозній динаміці зростання тривалості кожного наступного докування та коливань у тривалості заводських ремонтів [5, 9, 10].

Оскільки будь-яке транспортне судно виводиться з навігації для здійснення заводських і докових ремонтів, то спад швидкості ходу внаслідок сумісного впливу корозії й обростання протягом служби судна є кусково-переривною функцією. Для зазначеного танкера така функція зображена на рис. 5. Вона відповідає часовим параметрам табл. 3, даним рис. 2–4 при $\lambda = 40^\circ$ і $\tau_{ст} = 0,3$ з однаковим за тривалістю навігаційним періодом $\tau_n = 2$ роки. Вік судна після 5-го заводського ремонту визначено як $T'_{p5} = T_{p5} + \Delta T_{p5} = 20,8 + 0,38 = 21,18 \approx 21,2$ року. Залежність $\Delta v_s = f(T)$ — це неоднозначна функція. У повному вигляді її зображено лише для віку судна 10,3...12,3 і 21,2...23,2 року; для решти — криві її найбільш вагомих значень Δv_s^m . Штрихова та штрихпунктирна лінії відповідають стохастичній залежності $\Delta v_{сб}^k = f(T)$, яка зображена відповідно «жирною» та «тонкою» лініями на рис. 4, а. Це стосується і спаду швидкості Δv_s у точках 1, 2 і 3. Спад швидкості Δv_s у точках 4, 5 і 6 визначено як суму зниження швидкості внаслідок корозії сталюого корпусу та гвинтурольового комплексу і поселення обростачів на їх поверхні при $T = 23,2$ року та $\tau_d = 24$ міс. Підсумовуючи наведений вище

матеріал, зазначимо, що спад швидкості від зміни шорсткості підводної частини судна внаслідок корозії й обростання подано для режиму повного ходу судна переважно при постійній експлуатаційній потужності малообертового двигуна, тобто такій, яка складає 90% від специфікаційної. При цьому знижується частота обертання гвинта фіксованого кроку і двигуна, збільшується циклова подача палива, середньоєфективний тиск і максимальна температура продуктів згоряння у циліндрах. Якщо тиск і температура перевищують допустимі значення, тобто робочі параметри двигуна виходять за межі навантажувальної діаграми, то його система автоматики й захисту зменшує циклову подачу і, як наслідок, знижується потужність двигуна, що веде до подальшого спаду частоти обертання гребного гвинта та швидкості ходу судна.

ВИСНОВКИ

Установлено й формалізовано загальний характер спаду швидкості ходу транспортного судна внаслідок збільшення шорсткості його підводної частини та коливань в інтенсивності й щільності обростання водоростями та морськими тваринними організмами з віком судна. Змодельовано стохастичні залежності для визначення в режимі повного ходу спаду швидкості транспортних суден щодо районів плавання, їх специфікаційних швидкостей і віку. Як приклад для середньотоннажного ($DW = 28750$ т) танкера типу «Дмитрий Медведев» визначена залежність зменшення швидкості ходу внаслідок обростання та корозії від його віку.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Ветер и волны в океанах и морях [Текст] : справочные данные / Регистр СССР. — М. : Транспорт, 1974. — 359 с.
- [2] Гуревич, Е. С. Защита морских судов от обрастания [Текст] / Е. С. Гуревич, Е. В. Искра, Е. П. Куцевалова. — Л. : Судостроение, 1978. — 200 с.
- [3] Кацман, Ф. М. Эксплуатация пропульсивного комплекса морского судна [Текст] / Ф. М. Кацман. — М. : Транспорт, 1987. — 223 с.

- [4] **Козырь, Л.А.** Управление судами в шторм [Текст] / Л. А. Козырь, Л. Р. Аксютин. — М. : Транспорт, 1973. — 112 с.
- [5] **Лаханин, В.В.** Техническое обслуживание и ремонт флота [Текст] : учебник / В. В. Лаханин, В. И. Мхитарян, А. П. Пашков. — М. : Транспорт, 1978. — 184 с.
- [6] **Петрова, Н.Е.** Биокоррозия корпусов судов [Текст] / Н. Е. Петрова, Л. С. Баева // Вестник МГТУ. — 2006. — № 5. — С. 890–892.
- [7] **Турбал, В.К.** Влияние обрастания корпуса и движителя на характеристики ходкости крупнотоннажных судов [Текст] / В. К. Турбал, В. С. Шпаков, В. М. Штумпф // Судостроение. — 1975. — № 3. — С. 4–7.
- [8] **Шостак, В.П.** Имитационное моделирование судовых энергетических установок [Текст] / В. П. Шостак, В. И. Гершаник. — Л. : Судостроение, 1988. — 256 с.
- [9] **Шостак, В.П.** Моделирование эксплуатационных циклов судов с разными типами энергетических установок [Текст] / В. П. Шостак // Труды НКИ. — Николаев : — НКИ, 1980. — Вып. 158. — С. 47–54.
- [10] **Шостак, В.П.** Потоки енергії в дизельних установках морських суден [Текст] : навч. посіб. / В. П. Шостак. — Миколаїв : УДМТУ, 1997. — 58 с.
- [11] **Шостак, В.П.** Проектування пропульсивної установки суден з прямою передачею потужності на гвинт [Текст] : навч. посіб. / В. П. Шостак, В. І. Гершаник, В. П. Кот, М. С. Бондаренко; за ред. В. П. Шостака. — Миколаїв : УДМТУ, 2003. — 500 с.
- [12] **Determann, H.** Verträglichkeit der Schiffsanstriche mit dem Kathodischen Schutzverfahren [Text] / H. Determann, E. Hargarter, H. Sass, H. Naagen // Schiff und Hafen. — 1974. — Bd 26, № 9. — S. 800–808.