

Сорока В.В.

КОНТРОЛЬ ТА ОЦІНЮВАННЯ СТАНУ ПІДШИПНИКІВ СУДНОВОГО ВАЛОПРОВОДУ

Розглянуті пошкодження і відмови суднових валопроводів (ВП) та підшипників кочення й ковзання, а так само причини, які їх викликають. Були розглянуті навантаження, що впливають на ВП у процесі роботи, через які утворюються дефекти. Відомо, що половина від усіх видів напруг, які виникають у ВП, складає такий вид напруженого стану як обертання. Усі обертальні коливання, виникаючі у валопроводах носять знакоперемінний характер і обумовлені дією періодичних сил від кривошипів колінчатого вала і лопатей гвинта, які викликають закручування і розкручування окремих мас. Поперечні коливання з'являються в результаті дисбалансу, обумовленого ексцентриситетом мас роторів та їх сполучних елементів при експлуатації та ремонті. У результаті проведеного аналізу причин дефектів та пошкоджень суднових ВП був зроблений наступний висновок: пошкодження суднових ВП викликає напружено-деформований стан в елементах підшипників. Технічний стан валової лінії СЕУ визначається в основному ресурсом підшипників.

Для запобігання аварійного виходу з ладу судна, були розглянуті причини, які приводять до пошкоджень і виходу з ладу підшипників ВП. Виявлено основні фактори, які визначають умови експлуатації підшипників ВП. Визначено процеси, які призводять до важких задирам, або катастрофічному зносу та виходу з ладу підшипників ВП.

Ключові слова: валопровід, вібродіагностика, двигун внутрішнього згоряння, підшипник, морський транспорт.

Аварії на водному транспорті в більшості випадків пов'язані з ризиком для здоров'я та життя екіпажа, небезпекою для навколишнього середовища, а також із серйозним економічним і моральним збитком.

Однією з причин значної кількості виникаючих аварій є відмова вузлів та агрегатів суднової енергетичної установки (СЕУ). Ресурс СЕУ визначається технічним станом основних деталей у складі "ДВЗ - валопровід (ВП) - гребний гвинт (ГГ)". Найбільш значним джерелом динамічних збуджень є судновий ДВЗ, оскільки в умовах реальної експлуатації для них найбільш характерний широкий діапазон зміни швидкісного і навантажувального режимів, і, у зв'язку з цим, виникають динамічні явища в системі "ДВЗ - ВП - ГГ", що негативно позначається на технічному стані всієї енергетичної установки. За статистичними даними вітчизняних суднових компаній через відмови вузлів СЕУ не працює до 20% вантажних судів у навігації. Українською неприємною обставиною є неможливістю прогнозувати поломки основних деталей, що вносить велику дезорганізацію виробничого процесу. Більшість непередбачених дефектів приходиться на ті деталі, механізми та обладнання, що недоступні для безпосереднього контролю. До таких деталей, наприклад, відносяться підшипники колінчатих валів (КВ) ДВЗ, підшипники та шестірні реверс - редукторних агрегатів та підшипники гребних валів (ГВ). Розбирання суднових ВП з метою контролю технічного стану окремих його вузлів, як правило, сполучена з великими труднощами, виведенням з експлуатації і часто буває невиправданим. Крім цього, досвід експлуатації і ремонту машин, механізмів, різного

обладнання свідчить, що розбирання приводить до прискорення зносу деталей, оскільки порушує приробіток сполучень.

При належному технічному стані підшипники можуть безупинно експлуатуватися протягом багатьох років, але на практиці робочі умови рідко бувають ідеальними. Тому контроль і оцінка технічного стану підшипників суднових ВП для працездатності СЕУ має велике значення.

Аналіз публікацій за темою дослідження. Аналіз вітчизняних та закордонних робіт в області контролю технічного стану механічних систем дозволяє стверджувати про доцільність й ефективність використання методів віброакустичної діагностики. "Вібросигнал, володіючи досить ємною інформацією про роботу агрегату та його елементів, може стати достовірним показником його стану. Не тільки виявити вже існуючу несправність, але й знайти дефект, який розвивається на дуже ранній стадії, дозволяють методи віброакустичної діагностики. Це надає можливість прогнозувати аварії та планувати терміни й об'єм ремонту обладнання" [2, 7]. Наукові аспекти даного дослідження формувалися на основі вивчення робіт вітчизняних та закордонних учених ведучих науково - дослідницьких та проектних інститутів, вищих навчальних закладів, розробників апаратно – програмних комплексів для виміру динамічних характеристик машин, установок, обладнання та їх елементів. Дослідження і розробки в області виміру динамічних характеристик представлені в роботах З.П. Глушкова, Б.О. Лебедева, А.М. Барановського, В.С. Поповича, Л.В. Єфремова, R.V.Randall, M.G. Srinivasan, W.J. Wang, Deng Xiaomin, Quail Wang та інших. Дослідження в галузі віброакустичної діагностики безпосередньо підшипників представлені в роботах Р.Я. Коллакота, А.В. Баркова, Н.А. Баркової, В.А. Руссова, М.Д. Генкіна, А.Г. Соколової, А.А. Мінцова.

Метою статті є розробка підходів до оцінки технічного стану та ідентифікації пошкоджень підшипників ВП СЕУ.

Основна частина.

Судновий ВП служить для передачі обертового моменту (ОМ) від головного двигуна (ГД) до ГГ та сприйнятті осьових зусиль упора, створюваних гвинтом при його обертанні, з наступною передачею зусиль через упорний підшипник корпусу судна, і відноситься до тих елементів СЕУ, відмова яких у більшості випадків (для всіх одногвинтових судів) приводить до повної втрати керованості судна, і як наслідок до катастроф.

На рис. 1 представлений ВП СЕУ, що представляє собою багатоупорний вал, несущий на консолі масу – ГГ.

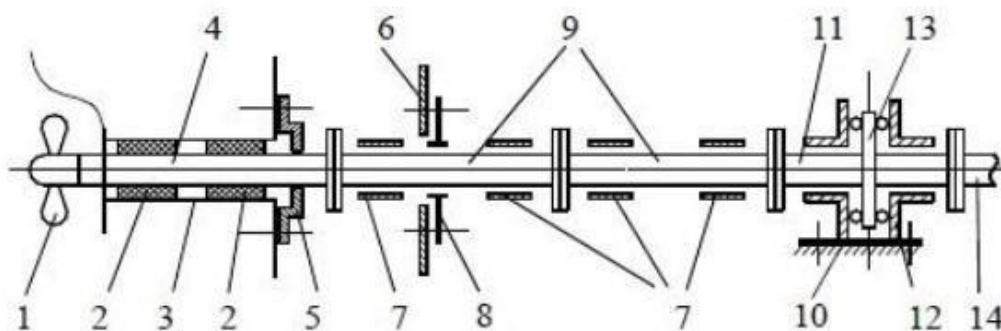


Рисунок 1 – Судовий валопровід

На рисунку 1.1 позначено: 1 – гвинт; 2 - дейдвудні підшипники; 3 - дейдвудна труба; 4 - гребний вал; 5 - ущільнюючий пристрій; 6 - сполучна напівмуфта; 7 – опорні підшипники; 9 - проміжні вали; 10 - судновий фундамент; 11 - упорний вал; 12 - упорний

підшипник; 13 - упорний гребінь; 14 - вал двигуна або вал передачі від двигуна (наприклад, з редуктором).

У процесі руху судна ВП має складний напружений стан, який викликається дією ОМ силової установки, осьової сили від упора ГГ і впливом деформації корпусу судна.

Навантаження, що діють на судновий ВП розділяються на систематичні і випадкові. До систематичних навантажень належать:

- величина ОМ ГД;
- сила ваги конструктивних елементів;
- передана від ГГ сила;
- гідродинамічний момент, що з'являється на ГГ через нерівномірності швидкості, набігаючого на нього потоку води:

- контактний тиск у місці посадки гвинта на вал;
- обумовлені пружною деформацією корпусу судна згинальні моменти ВП.

До випадкових навантажень належать:

- монтажними викривлення ВП, згинальні моменти та реакції на його опорах;
- викликані зносом тертьових підшипникових пар згинальні моменти реакції на опорах ВП;
- згинальні моменти та реакції на опорах ВП від пружної деформації корпусу під дією хвиль;
- навантаження від неврівноваженості конструктивних елементів;
- сили інерції при крені та диференті судна;
- динамічні навантаження при зіткненнях з перешкодами корпусу або ГГ.

ОМ вала двигуна є величиною змінною. Його величина залежить від зміни значень суми тангенціальних зусиль по всіх циліндрах ГД за один оборот, а так само від моментів інерції всіх обертових деталей двигуна. Зміни величини ОМ викликають обертальні коливання ВП, які також відносяться до систематичних навантажень.

Струмені набігаючого на ГГ потоку води мають різну швидкість руху по площі його лопатей, що є причиною зміни опору його обертання та сили упора. Різні значення сили упора обумовлюють появу поперечних та паралельних коливань гідродинамічного характеру.

Динамічний характер навантажень приводить до виникнення, під час роботи ГГ, складного та змінного в часі напружено-деформованого стану матеріалу валів: колінчатого, проміжного, гребного, обумовленого напругами вигину, крутіння та розтягання - стиску.

Існуючі в інженерній практиці аналітичні підходи до оцінки міцності колінчатих, проміжних, гребних валів мають деяку невизначеність кінцевих результатів, оскільки не враховують комплексного впливу навантажень і не дають реальної картини напружено-деформованого стану усього вала. Крім того, через складні умови експлуатації виникає ряд випадкових (непрогнозованих) навантажень, що компенсуються запасами міцності [4]. Усі навантаження, що виникають у судових ВП, можна розділити по способам та видам впливу й упорядкувати у вигляді схеми представленої на рис. 2.

Особливу небезпеку для ВП являють собою подовжні (осьові) коливання. Подовжні коливання, впливаючи ВП, викликають наступні дефекти:

- тріщини галтелі кривошипа колінчатого вала;
- тріщини фундаменту упорного підшипника;
- тріщини лопатей ГГ;
- фреттінг-коррозія підшипників ВП;
- руйнування ВП.

Унаслідок впливу обертальних коливань на ВП утворюються наступні дефекти:

- втомні тріщини різних ділянок ВП;
- фреттінг-коррозія ВП;

- втомні руйнування колінчатого вала;
- втомні руйнування ГГ;
- збільшення навантаження на опорні підшипники.

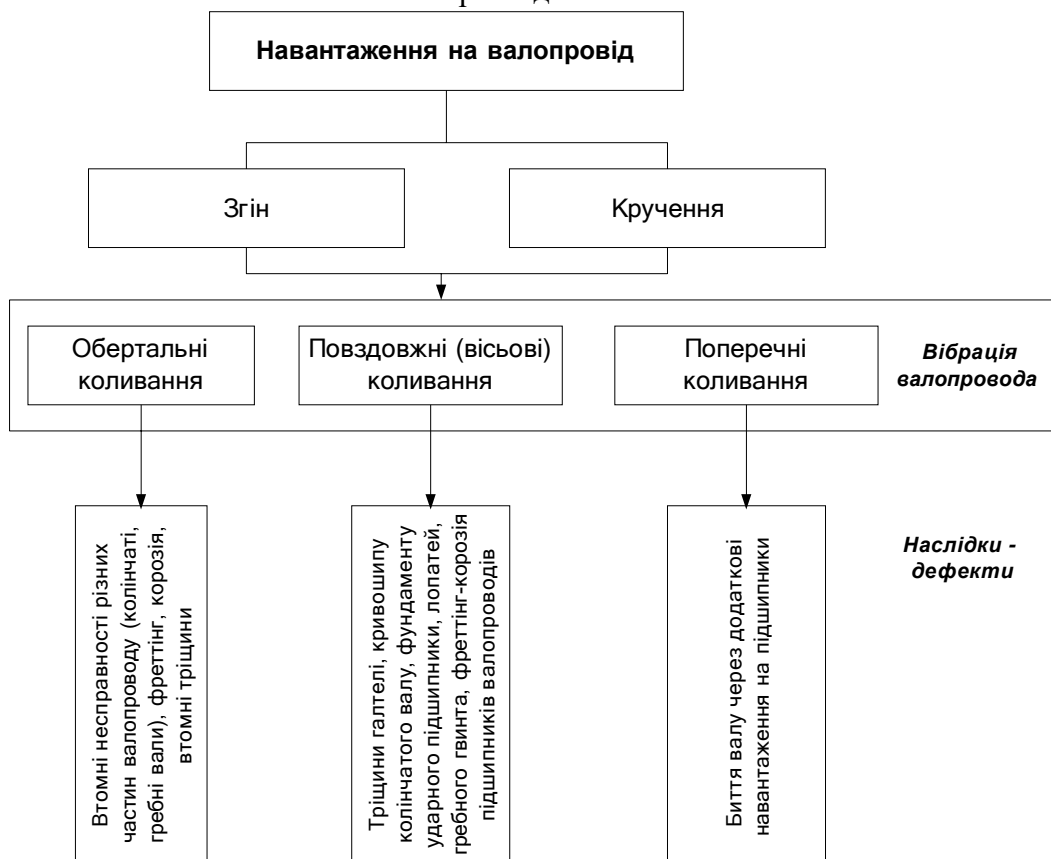


Рисунок 2 – Систематизація навантажень і дефектів валопроводу

Усі обертальні коливання, які виникають у ВП, носять знакоперемінний характер та обумовлені дією періодичних сил від кривошипа колінчатого вала і лопатей гвинта, що викликають закручування та розкручування окремих мас [3].

У практиці, щоб уникнути небезпечного резонансного режиму роботи суднового ДВЗ, установлюють зону заборонних оборотів.

Поперечні коливання з'являються в результаті дисбалансу, обумовленого ексцентриситетом мас роторів та їх сполучних елементів при експлуатації та ремонті. Особливу небезпеку представляє собою критична частота обертання, при якій виникає биття вала, що викликає додаткове навантаження на підшипники.

Пошкодження ПК в експлуатаційних умовах можуть бути умовно розділені на групи (рис. 2).

Надзвичайно великі навантаження або частоти обертання, погане змащення і забруднення поверхонь є причиною втомного руйнування ПК, що проявляється у вигляді викрашування доріжок кілець і тіл кочення.

На рис. 3 схематично виділені зовнішні ознаки по яких можна судити про вид пошкодження підшипника.



Рисунок 2 – Схема експлуатаційних пошкоджень підшипників кочення



Рисунок 3 – Схема зовнішніх ознак пошкодження підшипника кочення

У розвитку дефектів підшипника, за весь термін служби можна виділити п'ять стадій (рис. 4).

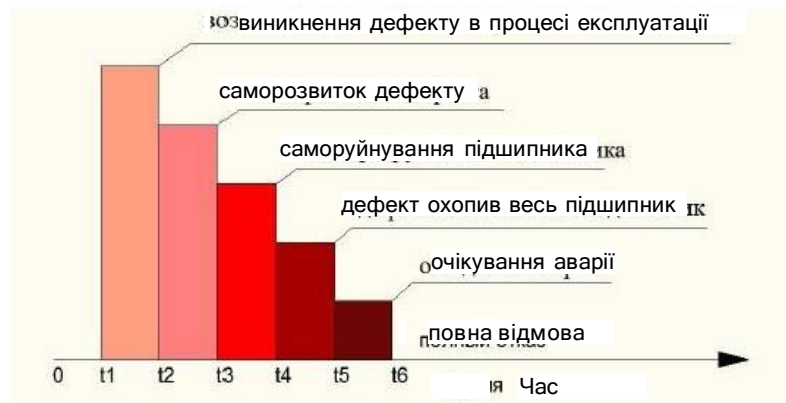


Рисунок 4 – Стадії розвитку дефекту підшипника у часі

На першій стадії з'являється і починає розвиватися який-небудь дефект, виникають постійно збільшуються ударні коливання. Відбувається виникнення дефекту в процесі експлуатації. Далі енергія віброімпульсів у підшипнику досягає свого максимального значення, що призводить до саморозвитку дефектів. Наступна стадія – це саморуйнування підшипника.

Автори робіт [3, 4] довели, що в 90% випадків відмові механізмів передусє підвищення рівня вібрації. При реальних умовах експлуатації машин було встановлене наступне: "між характеристиками вібрації машини і її технічним станом існує прямий зв'язок".

Застосування віброакустичної діагностики не тільки виявляє вже розвинену несправність, що дозволяє запобігти руйнуванню, але і дозволяє знайти дефект на дуже ранній стадії. У цьому випадку, можливо прогнозувати аварійну ситуацію і вчасно планувати терміни й обсяги ремонтних робіт. Оскільки руйнування підшипників відбувається раптово, то головне в діагностиці їх стану – виявлення дефектів до того, як трапилася серйозна поломка.

Віброакустичні методи визначення технічного стану ПК можна розділити на три групи (рис. 5) .

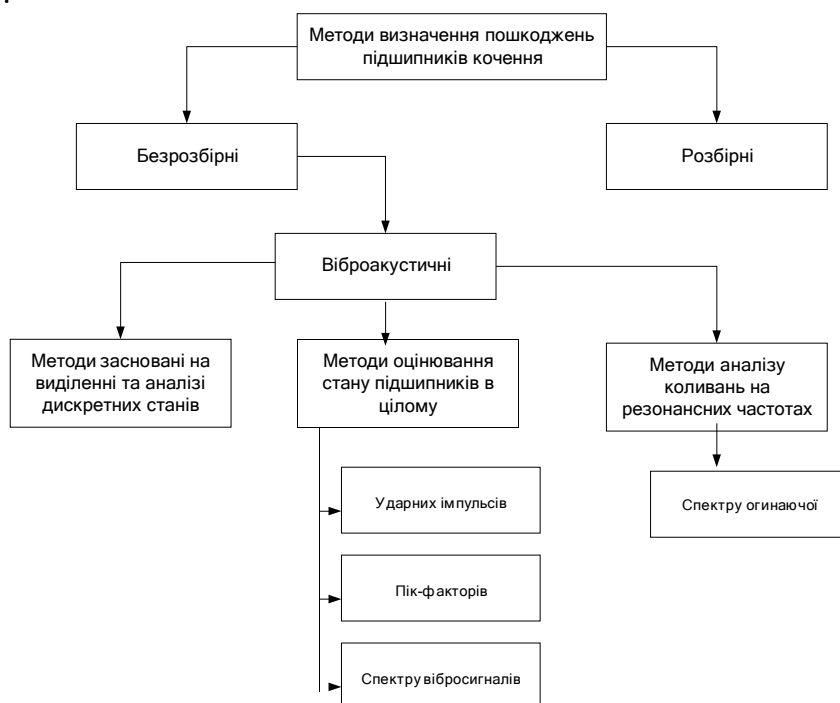


Рисунок 5 – Схема основних методів діагностики підшипників кочення та виділення віброакустичних методів

Вимір і обробка віброакустичних процесів за допомогою ОВК містить у собі послідовність дій, спрямованих на досягнення визначеної мети (рис. 6).

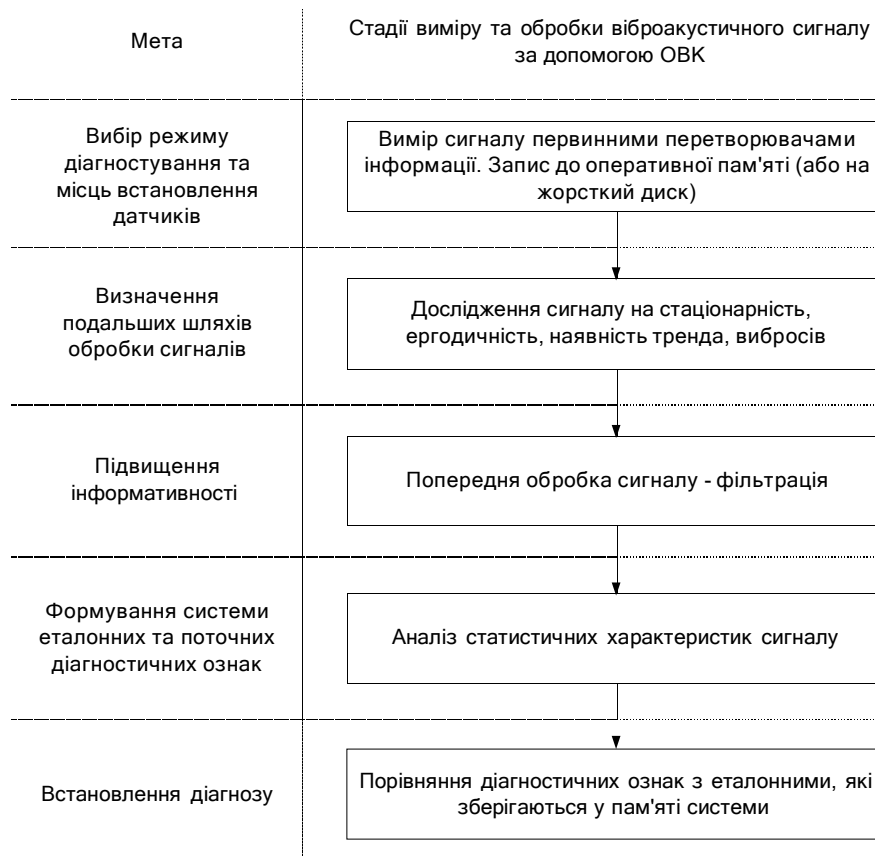


Рисунок 6 – Схема роботи обчислювально – вимірювального комплексу

Збір діагностичної інформації починають з перетворення механічних величин в електричні за допомогою датчиків вимірювань коливання. При вимірі параметрів вібрації найбільше поширення отримали індукційні, індуктивні, ємнісні, тензорезистивні, п'єзоелектричні перетворювачі [2].

Тензорезистивними, індуктивними, ємнісними перетворювачами доцільно одночасно вимірювати змінну та постійну складові динамічного процесу.

Найбільш ефективні при оцінці та прогнозуванні технічного стану різних об'єктів - п'єзоелектричні акселерометри, завдяки їх можливості вимірювати вібрацію в широкому частотному і амплітудному діапазонах.

Висновки. 1. Аналіз методик оцінки технічного стану підшипників валової лінії СЕУ по зміні динамічних характеристик підтверджує, що перспективним напрямком є безрозбірна діагностика.

2. Використання систем технічного діагностування дозволяє виконувати оцінку технічного стану підшипників валової лінії СЕУ в період експлуатації.

3. Чисельні і лабораторні дослідження показали - виділення з вібросигналу імпульсної складової від ушкодження ефективніше досягається при використанні вейвлет-аналізу. Запропонована методика дозволяє визначити наявність і число локальних дефектів ПК СЕУ.

ЛІТЕРАТУРА

1. Глушков. С.С. Идентификация поврежденных подшипников судовых валопроводов/ С.С. Глушков. Б.О. Лебедев. В.В. Коновалов. Н.С. Ткаленко //Науч. пробл. Трансп. Сиб. и Дал. Вост. - 2013 - №2.- С.200-204.

2. Генкин. М.Д. Виброакустическая диагностика машин и механизмов/М.Д. Генкин. А.Г. Соколова. - М.: Машиностроение, 1987. - 283с.
3. Балицкий. Ф.Я. Виброакустическая диагностика зарождающихся дефектов / Ф.Я. Балицкий. М.А. Иванова, А.Г. Соколова. Е.И. Хомяков. - М.: Наука.1984. - 119с.
4. Коллакот, Р.А. Диагностирование механического оборудования/ Р.А. Коллакот-Л.: Судостроение,1980. - 296с.
5. Соколова, А.Г. Методы и средства технической диагностики зарождающихся эксплуатационных дефектов механизмов// Точность и надежность механических систем: Сборник научных трудов. Рига. 1984.- С.38- 48.
6. Явленский. К.Н. Вибродиагностика и прогноз уровня качества механических систем/ К.Н. Явленский. А.К. Явленский - М.: Машиностроение, 1983,-239 с.
7. Shi, D.F. Purification and feature extraction of shaft orbits for diagnosing large rotating machinery/ D .F. Shi. W. J. Wang, P.J. Unsworth, L. S. Qu // Journal of Sound and Vibration. - 2005. P. 581- 600.
8. Артоболевский, П.И. Задачи акустической динамики машин и конструкций /П.И. Артоболевский. М.Д. Генкин. В.И. Сергеев// Акустическая динамика машин и конструкций: сборник. М.: Наука. 1973. -С.3- 6.
9. Кунце, Х.И. Методы физических измерений Текст. / Х.И. Кунце: пер. с нем. - М.: Мир. 1989.-216 с.
10. Попков. В. И. Виброакустическая диагностика в судостроении / В.И.Попков. Э.Л. Мышинский. О.И. Попков. -Л.: Судостроение. 1989.-256 с.
11. Shabaueh, N. H. Dynamic analysis of rotor- shaft systems with viscoelastically supported bearing / N. H. Shabaneh. Zu W. Jean // Mech. and Mach. Theory. 2000. - Vol.35, № 9. - P. 1313- 1330.
12. Манаков. А.Л. Использование внутрицикловых параметров вращения коленчатого вала для оценки технического состояния двигателей внутреннего сгорания/ А.Л. Манаков. В.Н. Кочергин. А.С. Алехин // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. Новосибирск: НГАВТ. 2013. - № 1. - С. 178-182.

Soroka V.V.

CONTROL AND ASSESSMENT I WILL BE A BEARING MANAGER IN THE SHIP'S SHAFTING

They look at the trains and shafts of the ship (VP) and the bearings and forging, and so the very reasons that call them out. If you look at the innovations that are added to the VP in the process of work, through which defects are established. It seems that half of the strained vibrancy, like blaming the VP, makes such a strained look like a wrap. Usi obertalni kolivannya, vikayuchi at the shaft lines to wear a sign-changing character and umovleni dieyu periodic forces in the crankshaft crankshaft and shovels of the screw, yaki call twisting and rozkruchuvannya okremih wt. The transverse cracking is the result of an imbalance caused by the eccentricity of the masses of the rotors of those successful elements during operation and repair. The results of the analysis of the causes of defects and the failure of the ship's airfoils to break the onset of the bellows: the failure of the ship's airfoils caused the stress-strain of the mills in the elements of the bearings. The technical mill of the SEU gross line is mainly designated as a resource for bearings.

To prevent an emergency exit from the fret of the vessel, the reasons were considered, which would lead to a delay and the exit from the fret of the VP bearings. The main factors were revealed, which determine the mind and operation of the VP bearings. Processes have been designated to cause serious scuffing, or catastrophic wear and tear of the VP bearings.

Key words: *valoprovod, vibrodiagnosis, internal combustion engine, bearing, maritime transport.*