

Міністерство освіти і науки України
Державний університет інфраструктури та технологій

Сандлер Альберт Кирилович



УДК 681.518.5:681.586.5

**МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ДІАГНОСТУВАННЯ
ТЕХНІЧНОГО СТАНУ СУДНОВИХ ГАЗОТУРБІННИХ УСТАНОВОК НА
ОСНОВІ ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

Спеціальність 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ – 2021

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Національному університеті "Одеська морська академія"
Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник

доктор технічних наук, професор
Онищенко Олег Анатолійович,
Національний університет "Одеська морська
академія", професор кафедри технічної експлу-
атації флоту.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
Варбанець Роман Анатолійович,
завідувач кафедри суднових енергетичних
установок і технічна експлуатація Одеського
національного морського університету

доктор технічних наук, професор
Мачалін Ігор Олексійович, декан факультету
аеронавігації, електроніки та телекомунікацій
Національного авіаційного університету

Захист відбудеться "23" квітня 2021 р. о 13:00 на засіданні спеціалізованої
вченої ради Д 26.110.01 у Державному університеті інфраструктури та технологій
за адресою: 04071, м. Київ, вул. Кирилівська, 9, ауд. 208.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Державного університету ін-
фраструктури та технологій за адресою: 04211, м. Київ, пр. Героїв Сталінграда, 2.

Автореферат розісланий "20" березня 2021 року.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради
Д 26.110.01



О.М. КОЛОМІЄЦЬ

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Гідродинамічні та кліматичні умови експлуатації пропульсивного комплексу та вплив агресивного морського середовища суттєво знижують ресурс суднових газотурбінних установок (СГТУ). Виникаючі динамічні термомеханічні навантаження значно погіршують режими мащення і ініціюють прогресуючі незворотні дефекти підшипникових вузлів СГТУ. Несвоєчасне виявлення та усунення дефектів і різноманітних деструкційних процесів у підшипниках роторів СГТУ приводять до виходу суден з працездатного стану. З метою запобігання аварій суден і для безпеки судноплавства, рішення щодо проведення технічного обслуговування, виду та періодичності ремонту, інших планово-попереджувальних і експлуатаційних процедур, для СГТУ приймаються на підставі діагностичної інформації про реальний технічний стан її елементів.

Сучасна концепція "експлуатації до передвідмовного стану" ґрунтується на різних методах прогнозування технічного стану, зокрема – ідентифікації дефектів та пошкоджень на початковій стадії їх розвитку. Практичне використання цієї концепції вимагає впровадження новітніх, більш ефективних, зручних у застосуванні, автоматизованих засобів та пристроїв технічної діагностики і прогнозування технічного стану СГТУ і значно ускладнює процедури діагностування. Тенденції розвитку сучасних методів експлуатації показують, що саме використання надійних, верифікованих, нечутливих до збурень діагностичних засобів і пристроїв, які органічно вбудовуються у судові мікропроцесорні вимірювальні системи і мережі, забезпечують високу експлуатаційну ефективність та надійність функціонування СГТУ.

Існуючі засоби і пристрої діагностики технічного стану СГТУ функціонують в умовах дестабілізуючих факторів – концентрованого впливу потужних електромагнітних і термічних полів, під дією вібрацій, впливу потужного локального судового енергетичного встаткування. Саме ці збурення не дозволяють забезпечити ефективну, відповідну сучасним експлуатаційним вимогам, діагностику і прогнозування технічного стану підшипників СГТУ за головною діагностичною ознакою – вібраціями у найбільш інформативному високочастотному діапазоні.

Аналіз відомих рішень доводить, що для сучасної технічної експлуатації і ремонту СГТУ затребувані нові засоби діагностування та прогнозування технічного стану їх підшипникових вузлів, а саме – нечутливі до більшості експлуатаційних дестабілізуючих факторів (ДФ) пристрої волоконної оптики. Теоретичні передумови синтезу різноманітних нових засобів і пристроїв діагностування, у тому числі волоконно-оптичних акселерометрів (ВОА), наведені у працях таких вчених, як Л. М. Андрушко, В. І. Бусурін, М. М. Бутусов, В. М. Гречишников, Ю. В. Гуляєв, В. І. Богом`я, Р. А. Варбанець, Є. М. Діанов, О. В. Бондаренко, Б. А. Красюк, Ю. Р. Носов, А. Г. Шереметьєв, *A. Snyder, T. Okosi, E. Udd* і інших.

У той же час, у цих працях не визначені методи побудови, принципи і особливості синтезу засобів діагностики та прогнозування технічного стану технічних систем, що експлуатуються під дією концентрованого впливу ДФ (наприклад, температура підшипників СГТУ у нормальних режимах близька до 300 °С, а пікова температура сягає більше 430 °С), не розглядаються конструктивно-

технологічні особливості побудови і синтезу таких засобів, не дається оцінка змінування їх характеристик у складних умовах експлуатації.

Саме тому, наукове завдання створення засобів діагностики, що функціонують у складних експлуатаційних умовах і пристосовані для безперервного, тривалого і достовірного контролю стану підшипників СГТУ під дією концентрованого впливу ДФ, є актуальним і затребуваним судовласниками, розв'язок і практичне використання якого суттєво підвищує рівень безпеки судноплавства.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана відповідно до положень Транспортної стратегії України на період до 2030 року (розпорядження Кабінету Міністрів України від 30.05.2018 року, № 430-р), Стратегії сталого розвитку "Україна - 2020" (Указ Президента України від 12.01.2015 р., № 5), а також у рамках планів науково-дослідних робіт за держбюджетними темами Національного університету "Одеська морська академія" (НУ "ОМА"): ДР № 0104U002961 "П'єзооптичні перетворювачі фізичних величин" і ДР № 0115U003577 "Автоматизація технологічних і адміністративних процесів на транспорті", де здобувач був співвиконавцем окремих етапів досліджень.

Мета і завдання дослідження - зниження аварійності, забезпечення високої ефективності використання та надійності роботи СГТУ, що досягається впровадженням сучасних засобів діагностування та прогнозування технічного стану, які забезпечують підвищення вірогідності процесів діагностування підшипникових вузлів СГТУ за рахунок використання принципів часткової інваріантності до зовнішніх неконтрольованих впливів на вимірювання.

Досягнення поставленої мети передбачає вирішення наступних завдань.

1. Аналіз основних ознак деструкції підшипникових вузлів СГТУ та можливостей існуючих методів контролю вібрації окремих елементів цих вузлів.
2. Визначення завадостійких до впливу експлуатаційних факторів засобів діагностики та прогнозування технічного стану підшипників СГТУ з подальшою оцінкою можливостей корекції вимірювальних погрешностей.
3. Синтез математичної моделі оцінювання впливу зміни параметрів на метрологічні характеристики завадостійких волоконних акселерометрів маятникового типу, призначених для діагностики та прогнозування технічного стану підшипникових вузлів СГТУ.
4. Експериментальні дослідження характеристик запропонованих засобів і пристроїв діагностики з верифікацією математичних моделей процесів перетворення інформаційних діагностичних сигналів.

Об'єктом дослідження є процеси формування й перетворення діагностичного сигналу у засобі діагностики та прогнозування технічного стану підшипникових вузлів у складних умовах експлуатації СГТУ.

Предметом дослідження є волоконно-оптичні засоби діагностування та прогнозування технічного стану підшипникових вузлів СГТУ, що функціонують у складних умовах експлуатації.

Методи дослідження. Теоретична частина роботи виконана з використанням: а) системного аналізу й дослідження операцій – при визначенні структурних зв'язків між елементами вимірювального засобу діагностики й декомпозиції об'єкта дослідження; б) теорії оптичних хвилеводів – при розрахунках коефіцієнтів оптичного зв'язку серцевин оптичного волокна (ОВ) чутливого елемента (ЧЕ);

в) методів аналітичного дослідження процесів взаємодії полів хвилеводних елементів – при дослідженні процесів перетворення світлового випромінювання у ЧЕ під впливом деформацій; з) теорії погрішності – при оцінюванні складових погрішностей елементів ВОА; д) математичного й комп'ютерного моделювання – при отриманні наближеної оцінки функціонування оптомеханічної системи ВОА.

У ході експериментальних досліджень використовувалося серійне, сертифіковане і атестоване, технологічне і вимірювальне встаткування.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у наступному.

1. Вперше запропоновані теоретичні основи побудови засобу діагностування процесів експлуатації СГТУ, який, **за рахунок** обґрунтування і визначення конструкції та застосування матеріалів з особливими властивостями, **відрізняється** інваріантністю до зовнішніх неконтрольованих впливів на діагностичні процеси, **що дозволяє** здійснювати безперервний моніторинг високочастотних вібрацій, превентивне діагностування та прогнозування технічного стану підшипникових вузлів СГТУ, підвищити якість їх експлуатації, технічного обслуговування та ремонту.

2. Отримав подальший розвиток метод синтезу волоконно-оптичного засобу діагностування процесів експлуатації СГТУ, який побудовано на основі теоретичного обґрунтування маятникової схеми діагностування та **відрізняється** від відомих рішень оптимізацією сполучення конструктивних параметрів і комбінацією матеріалів, **що дозволяє** практично реалізувати запропонований спосіб одержання діагностичної інформації про стан підшипникових вузлів СГТУ **за рахунок** застосування волоконно-оптичних технологій.

3. Удосконалено математичну модель волоконно-оптичного засобу діагностування процесів експлуатації СГТУ, яка **відрізняється** застосуванням модифікованої теорії зв'язаних мод, **що дозволяє** визначати, уточнювати та змінювати параметри засобу діагностики **за рахунок** обліку властивостей реальних матеріалів, технології виробництва та особливостей експлуатації СГТУ.

Практичне значення отриманих результатів визначається підвищенням ефективності використання та надійності СГТУ за рахунок збільшення міжремонтного періоду та зменшення експлуатаційних витрат на 8 ... 10 ам. дол. на 1 кВт·г генерованої потужності за рік роботи зі середньостатистичним навантаженням, що досягається шляхом впровадження нового засобу превентивного діагностування та прогнозування технічного стану підшипникових вузлів СГТУ.

Практичні результати дисертаційного дослідження впроваджені у навчальний процес НУ "ОМА" у рамках викладання навчальної дисципліни "Метрологія, технологічні вимірювання та прилади". Також, матеріали дисертаційного дослідження використані у планових держбюджетних наукових дослідженнях НУ "ОМА" (ДР № 0104U002961 "Г'єзооптичні перетворювачі фізичних величин" і ДР № 0115U003577 "Автоматизація технологічних і адміністративних процесів на транспорті"), у виробничій діяльності ПАТ "Одескабель" (акт від 03 березня 1993 р.) та компанії "Belra Impex inc." (акт від 27 лютого 2020 р.).

Особистий внесок здобувача. Без співавторів проведено інформаційний пошук і аналіз основних підходів до розв'язування проблеми підвищення вірогідності діагностування підшипникових вузлів СГТУ, методологічне обґрунтування

дослідження, розроблено і запропоновано спосіб формування й перетворення діагностичного сигналу у ВОА на основі багатошарового хвилеводу з депресованою серцевиною у спеціальних умовах, розроблена структурна й метрологічна моделі волоконного перетворювача вібрації, удосконалена математична модель ВОА, що дозволяє синтезувати вимірювальні пристрої зі стабільними, в умовах комплексного впливу ДФ, метрологічними характеристиками; запропоновано метод розрахунку параметрів частково-інваріантного до ДФ засобу діагностування.

У публікаціях зі співавторами, здобувачеві належать наступні особисті результати: [1, 21] – обґрунтування методів дослідження й математичний опис процесів модуляції випромінювання; [2] – схемотехнічне рішення п'єзооптичного перетворювача; [4] – верифікація результатів електронного моделювання; [6] – постановка задачі, склад та аналіз структурної моделі волоконного перетворювача; [7] – склад та режими роботи комбінованого датчика клімат-контролю; [9] – постановка задачі та рекомендації щодо захисту волоконно-оптичних перетворювачів для діагностування СГТУ; [11, 24-25] – формула винаходу та опис режимів роботи; [15] – постановка задачі, склад та аналіз метрологічної моделі перетворювача; [16] – розробка схемотехнічного рішення засобу діагностування стану підшипників СГТУ; [19] – обґрунтовано застосування волоконно-оптичних пристроїв для моніторингу об'єктів суднових енергетичних установок, їх схемотехнічні рішення; [20] – обґрунтування режимів роботи інваріантних до ДФ волоконно-оптичних пристроїв контролю положення валів суднових механізмів; [22] – обґрунтування доцільності застосування пристроїв для вимірювання коливальних процесів у високочастотному діапазоні, експериментальні дослідження.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи доповідалися та отримали схвалення на наукових і науково-методичних конференціях професорсько-викладацького складу НУ "ОМА" у 1991-2020 р. р. (м. Одеса); на науково-технічній конференції "Датчики, прилади й системи" (м. Гурзуф, 2007 р.); на міжнародній науково-технічній конференції "Автоматика - 2008" (м. Одеса, 2008 р.) та "Автоматика - 2012" (м. Київ, 2012 р.); на міжнародній науково-методичній конференції "Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика" (м. Одеса, 2018-2019 р. р.).

Публікації. Основні наукові результати дисертації опубліковані у 27 наукових працях, з яких: 9 – у наукових фахових виданнях України, що входять до переліку наукових видань, які рекомендовані МОН України для публікацій результатів дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата технічних наук; 1 – у періодичному науковому виданні держави, яка входить до складу ЄС; 2 – патенти України на винахід. Наукові праці які засвідчують апробацію матеріалів дисертації опубліковані у 11 збірниках матеріалів наукових конференцій державного і міжнародного рівня. Додатково відображають наукові результати дисертації 4 патенти України на корисну модель.

Обсяг і структура роботи. Дисертація складається з переліку умовних скорочень, анотації, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків.

Повний обсяг роботи – 158 сторінок, де, крім основного тексту, міститься 41 рисунок і 4 таблиці. Список використаних джерел містить 139 найменувань.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі визначено та обґрунтовано актуальність теми дисертаційного дослідження, сформульовано мету і завдання роботи, сформульовано наукову новизну та викладено практичну цінність отриманих результатів; показано зв'язок дисертації з науковими планами, програмами і темами. Висвітлено особистий внесок здобувача, наведені відомості про апробацію результатів.

У першому розділі "Стан предмету дослідження та формалізація завдання, що розв'язується", розглянуто особливості експлуатації суднових газотурбінних установок. Показано, що до основних елементів, технічний стан яких лімітує експлуатаційну надійність СГТУ, слід віднести, у першу чергу, підшипникові вузли роторів. Надійність, термін використання підшипникових вузлів багато у чому залежать від умов експлуатації, навантаження СГТУ, параметрів робочих процесів, впливу навколишнього середовища, кількості робочих циклів, якості палива й мастильних матеріалів, а також від якісних показників ремонту окремих елементів і всієї установки у цілому. На основі дослідження закономірностей зміни технічного стану, причин та видів ушкоджень підшипників кочення СГТУ визначено, що більшість розглянутих ушкоджень елементів підшипникових вузлів майже не піддаються математичному опису, мають високу швидкість розвитку до критичного стану і складні для виявлення за непрямими діагностичними ознаками дефекти.

Показано, що особливістю конструкцій СГТУ, що суттєво обмежують процедури діагностування, є неможливість вбудовування вимірювальних перетворювачів коливальних процесів безпосередньо на зовнішнє кільце підшипника кочення. При цьому вимірювальні перетворювачі фіксують на податливих зовнішніх силових елементах корпусу установки. Як наслідок, спостерігається перекручування діагностичних сигналів від підшипникових вузлів, через вплив множинних резонансів та механічних переходів "зазор-натяг". В існуючих реаліях експлуатації СГТУ, не забезпечується ефективний моніторинг підшипникових вузлів та прогнозування їх технічного стану, що можливе тільки здійсненням тривалої та безперервної діагностики.

Визначено, що найбільш ефективним, за низкою параметрів і характеристик, є метод технічного обслуговування й ремонту, заснований на використанні вібродіагностичної інформації про стан підшипникових вузлів СГТУ.

Порівняльна оцінка існуючих діагностичних методів показує, що найбільші можливості для виявлення у підшипниках СГТУ дефектів на ранній стадії їх розвитку, є метод аналізу спектру обгинаючих високочастотних вібрацій.

Основне ускладнення у застосуванні високочастотної віброакустичної діагностики дефектів, що тільки починають зароджуватися у СГТУ, полягає у тому, що на початковій стадії деградації, складові коливального процесу підшипникового вузла, що містять інформацію про виникнення ушкодження, мають занадто слабку і зашумлену енергетичну складову. Доведено, що сучасні технічні засоби діагностування у недостатній мірі відповідають задачам превентивного контролю високочастотних вібрацій підшипникових вузлів суднових ГТУ.

Зроблено висновок, що подальше удосконалення процесів діагностування технічного стану СГТУ можливе на основі впровадження рішень, які добре зарекомендували себе в атомній енергетиці, а саме переходу до застосування високоточної виміральної техніки, створеної на основі волоконно-оптичних технологій. На підґрунті проведеного аналізу інформаційних джерел визначені мета та наукові задачі дисертаційного дослідження. Тема дисертаційної роботи сформована на основі "запиту практики" про необхідність розробки й впровадження нових засобів діагностування і прогнозування технічного стану, які забезпечать підвищення вірогідності діагностичної інформації й зниження аварійності підшипникових вузлів СГТУ.

У другому розділі "Аналіз волоконно-оптичних засобів діагностування судових газотурбінних установок", виконана оцінка потенційних можливостей волоконно-оптичних вимірвальних перетворювачів фізичних величин.

На підставі аналітичного огляду наукової літератури, визначені схемотехнічні рішення, які можуть бути використані у судових інформаційно-вимірвальних системах. Встановлено, що найбільш прості, надійні і універсальні за застосуванням є акселерометри, принцип дії яких заснований на модуляції величини інтенсивності світлового випромінювання під дією вимірюваної величини. На основі аналізу процесів руйнації скляних матеріалів під впливом фізико-механічних факторів зроблено такі висновки: *а)* засоби випромінювання у перетворювачах з відкритим або закритим оптичним каналом (ОК) під впливом експлуатаційних дестабілізуючих факторів є джерелом погіршення або деструкції ОВ та волоконного ЧЕ; *б)* найменшою мірою під вплив підпадають перетворювачі з закритим ОК, а при деформації ЧЕ слід уникати впливу на його бічну сторону; *в)* необхідне застосування методів автокорекції впливу ДФ на характеристики акселерометрів.

Аналіз використовуваних методів підвищення точності й стабільності роботи ВОА показує, що компенсацію некорельованої складової погрішності перетворювачів найбільш раціонально виконувати на основі використання методів інваріантних перетворень, заснованих на принципі багатоканальності.

У третьому розділі "Синтез моделі волоконно-оптичного акселерометра для діагностування технічного стану підшипників ГТУ", для дослідження процесів у запропонованому акселерометрі визначені методи, припущення і математичний апарат. Пропонується його розгляд як багат шарової структури, де однорідні зміни профілю показника заломлення, у наслідок деформації, еквівалентні зміні показника заломлення на постійну величину у деякій області поперечного перерізу. Ці процеси визначені з позицій хвильового аналізу, на основі рівнянь Максвелла. Зіставлення ОВ з різним ступенем збурення розглянуті на основі методу показника заломлення рівного об'єму, а деформації – застосуванням моделі класичної механіки суцільних середовищ, що підкоряються закону Гука для анізотропного тіла.

Теоретично обґрунтовано і запропоновано діагностичний засіб, який являє собою композицію двох систем: механічної, яка здійснює перетворення руху інерційної маси у кутову неузгодженість між корпусом і вертикальною площиною відліку перетинів ЧЕ та оптичної, у якій реалізується перетворення механічних характеристик ЧЕ системою "корпус - маятник" у зміну інформативного парамет-

ру. Аналіз способів корекції погрешностей вимірювань запропонованої конструкції показав, що доцільним є використання механічної системи маятникового дисбалансного ВОА, де ОВ використовується одночасно, як пружний і, як чутливий елемент. Саме така, теоретично обґрунтована конструкція дозволяє вирішити завдання отримання діагностичної інформації, інваріантної до збурювальних впливів. Аналітично доведено, що матеріалом, який забезпечує необхідні механічні характеристики коливальної системи для контролю високочастотної вібрацій підшипникових вузлів СГТУ (при припустимому діапазоні геометричних розмірів), є штучний сапфір. Визначено, що для досягнення необхідних параметрів механічної коливальної системи діаметр ЧЕ повинен перебувати у діапазоні від 0,0135 до 0,0145 м. Для збереження властивостей інваріантності до збурень (одномодового режиму роботи ЧЕ, що виключає негативний вплив міжмодової дисперсії), теоретично обґрунтовано застосування ОВ з депресованою первинною та двома вторинними серцевинами (рисунок 1).

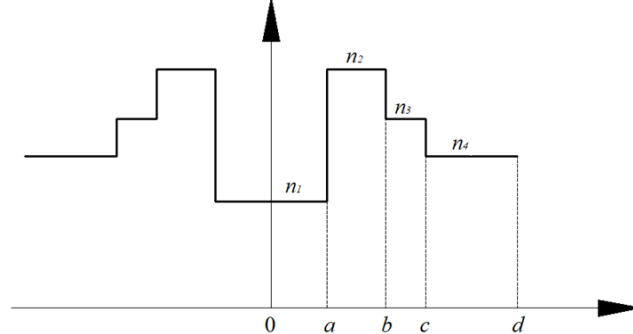


Рисунок 1 – Профіль показника заломлення волокна із двома трубчастими областями: 0-а – депресована серцевина; а-б, б-с – вторинні серцевини

Вперше, на підставі модифікованої теорії зв'язаних мод у тунельно-зв'язаних оптичних структурах засобу діагностики СГТУ, визначено коефіцієнт зв'язку C між вторинними коаксіальними серцевинами:

$$C = \sqrt{\frac{\pi\Delta}{(\beta^2 - k^2 n_{xzcl}^2) d \rho^2}} \cdot \frac{\rho \sqrt{\sqrt{(k^2 n_{xzco}^2 - \beta^2)^2}}}{(k\rho(n_{xzco}^2 - n_{xzcl}^2))^2} \cdot \frac{\exp\left(-\left(\sqrt{(\beta^2 - k^2 n_{xzcl}^2)}\right)d\right)}{K_1^2(\rho \sqrt{(\beta^2 - k^2 n_{xzcl}^2)}d)}, \quad (1)$$

де Δ – параметр висоти профілю; β – різниця постійних поширення; k – хвильове число; ρ – радіус серцевини; n_{xzco} , n_{xzcl} – показники заломлення складових ЧЕ при крученні; K_1 – функція Бесселя.

Вперше, при визначенні зазначеного коефіцієнту C , враховані зміни величини показника заломлення серцевин n_{xzco} , n_{xzcl} , які виникають у наслідок деформації крутіння та відхилень постійної поширення випромінювання під впливом вібрацій підшипникових вузлів СГТУ.

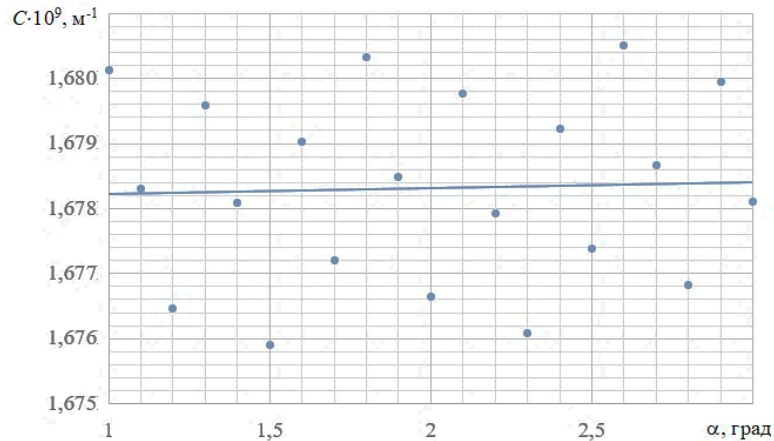


Рисунок 2 – Залежність зміни коефіцієнту зв'язку першої та другої серцевини ЧЕ від величини кута крутіння

Вперше визначена величина оптичної потужності $P_R(z)$ у ЧЕ з урахуванням порушення геометрії при виготовленні засобу діагностики (рисунок 3):

$$P_R(z) = \left[1 - \frac{\sin^2 CL \sqrt{1 + [((\beta_R + \beta_e + \beta_n) - (\beta_T + \beta_e + \beta_n)) / 2C]^2}}{1 + [((\beta_R + \beta_e + \beta_n) - (\beta_T + \beta_e + \beta_n)) / 2C]^2} \right] P_0, \quad (2)$$

де P_0 – сумарна потужність, уведена у коаксіальну структуру; β_R – постійна поширення у першій серцевині; β_T – постійна поширення у другій серцевині; β_e – збільшення постійної поширення через еліптичність коаксіальної структури; β_n – збільшення постійної поширення через збурювання, що порушують циркулярну симетрію коаксіальної структури; L – довжина ЧЕ.

Використання вперше визначених виразів (1) і (2) дозволяє теоретично обґрунтовувати та синтезувати необхідні параметри інваріантних до збурень діагностичних засобів СГТУ, що працюють у режимі безперервного моніторингу.

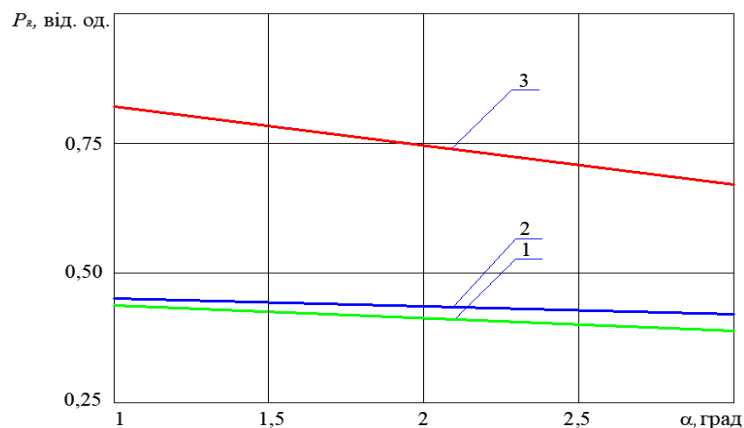


Рисунок 3 – Залежність величини оптичної потужності, яка залишається у першій серцевині ЧЕ після деформації крутіння, від величини кута крутіння для скла: 1 – органічного; 2 – кварцового; 3 – сапфірового

Аналіз розрахованої амплітудно-частотної характеристики (АЧХ) діагностичного засобу (рисунок 4) та теоретично визначена залежність безрозмірної динамічної помилки акселерометру контролю високочастотних вібрацій підшипників СГТУ від його параметрів (рисунок 5), експериментальне підтвердження (розділ 4) достовірності теоретично визначених виразів (1) і (2), дозволяють стве-

рджувати про можливість отримання високих стабільних технічних характеристик запропонованих засобів при їх практичній побудові і подальшому використанні у діагностиці стану підшипників СГТУ.

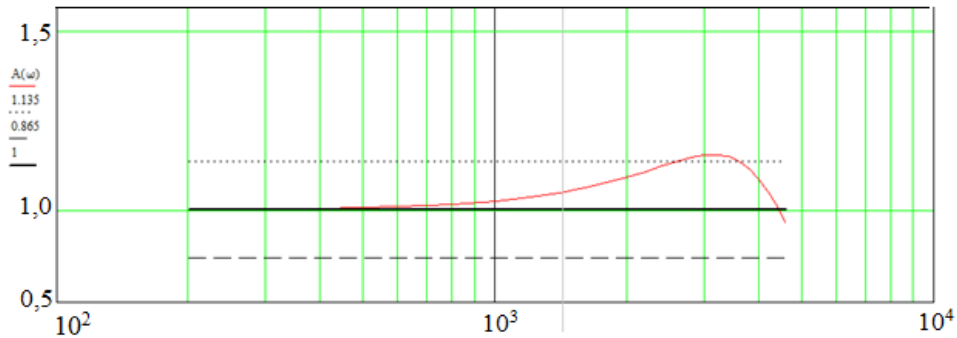


Рисунок 4 – Амплітудно-частотна характеристика засобу діагностики маятничого типу

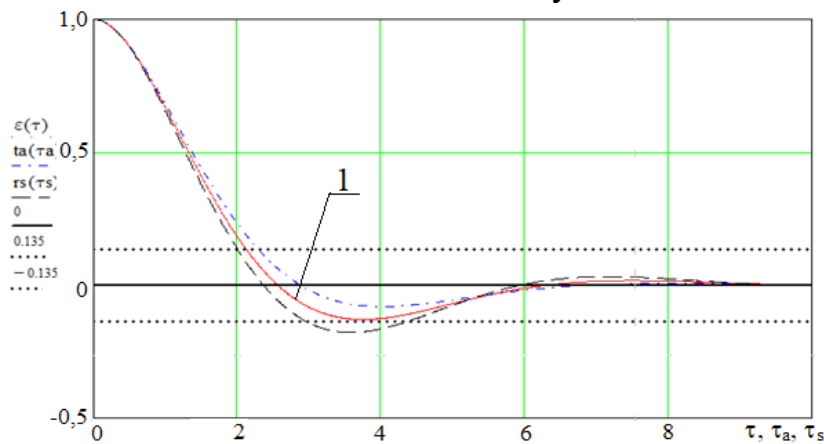


Рисунок 5 – Безрозмірні динамічні помилки акселерометру від його параметрів

На підґрунті проведених аналітичних досліджень доведено, що створення діагностичних засобів маятничого типу з багатошаровим оптичним хвилеводом з депресованою серцевиною більш ефективно у порівнянні з існуючими діагностичними засобами контролю стану підшипникових вузлів СГТУ.

У четвертому розділі "Експериментальні дослідження", визначено склад та призначення створеної експериментальної установки, що призначена для дослідження характеристик макетного зразка запропонованого засобу діагностики підшипникових вузлів СГТУ, обґрунтовано апаратно-методичне забезпечення експериментальних досліджень та обробки даних. За результатами експериментів і подальшої обробки даних отримані залежності, що описують процеси у чутливих елементах запропонованих акселерометрів (рисунки 6, 7). На підставі зіставлення експериментальних та теоретичних результатів зроблено висновок про обґрунтованість і вірогідність отриманих результатів, коректність визначеної мети досліджень, застосованого математичного апарату. Встановлено, що максимальне відхилення теоретичних і експериментальних значень статичної характеристики не перевищує 5,9 % для ЧЕ діаметром 0,014 м і 6,4 % для ЧЕ діаметром 0,04 м, що верифікує математичну модель оптичної підсистеми акселерометра.

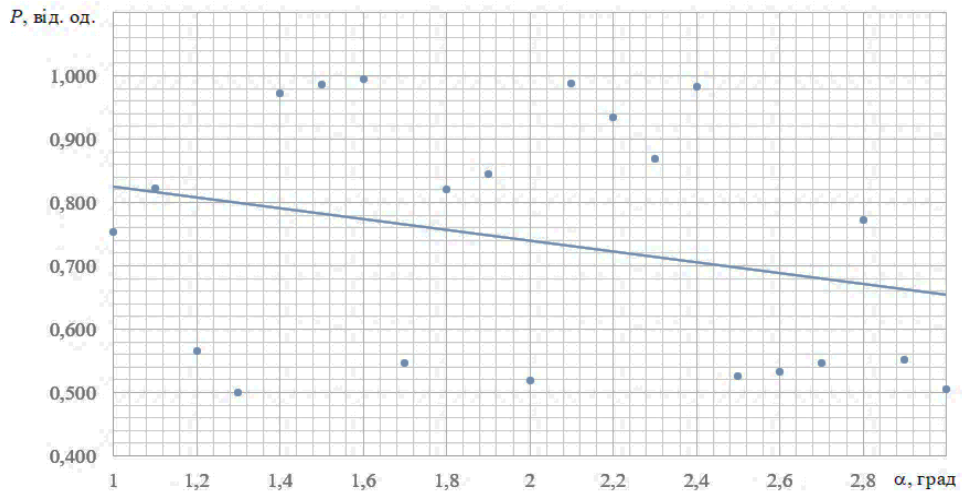


Рисунок 6 – Статична характеристика ЧЕ виготовленого зі сапфірового скла діаметром 0,014 м

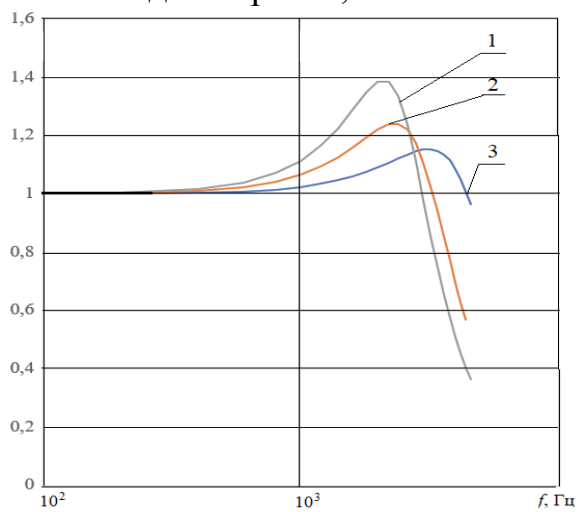


Рисунок 7 – Амплітудно-частотна характеристика ЧЕ діаметром 0,014 м виготовленого зі сапфірового скла з вагою M , кг: 1 – 0,0001; 2 – 0,00015; 3 – 0,0002.

Визначено, що максимальне відхилення експериментальних АЧХ від теоретичних не перевищує 3,5 %, що дозволяє дійти висновку щодо адекватності математичної моделі руху маятникового елемента акселерометра, а також виразів для визначення його динамічних характеристик. На підґрунті досліджень встановлені найбільш доцільні діапазони геометричних розмірів елементів акселерометрів, при яких забезпечено максимальне наближення характеристик діагностичного засобу до теоретичних.

ОСНОВНІ ВИСНОВКИ

Найбільш важливими науковими і практичними результатами, отриманими у ході виконання дослідження, є наступні.

1. Аналіз основних ознак деструкції та можливостей основних методів контролю вібрації елементів підшипникових вузлів СГТУ дозволив визначити, що найбільш інформативним для задач діагностування стану підшипників є метод контролю обгинаючого спектру високочастотної вібрації.

2. Визначено, що найбільш завадостійкими до впливу експлуатаційних факторів є волоконно-оптичні засоби діагностики та прогнозування технічного стану підшипників СГТУ, які побудовані на основі запропонованої маятникової схеми перетворювача з закритим оптичним каналом і чутливим елементом з депресованою серцевиною. За результатами оцінки можливостей методів корекції погрешностей обґрунтовано обрання двоканальної схеми діагностичного засобу стану підшипників СГТУ. Запропонована схема забезпечує ефективне діагностування стану підшипникових вузлів СГТУ до температур до 1400 °С.

3. Синтезована математична модель акселерометра на основі багатошарового оптичного хвилеводу дозволила визначити параметри діагностичного засобу з урахуванням властивостей матеріалів та особливостей технології виробництва.

5. Одержав подальшого розвитку метод визначення конструктивних параметрів акселерометрів, який може застосовуватися для створення широкого спектру і номенклатури волоконних вимірювальних перетворювачів різного цільового призначення.

6. Виконані експериментальні дослідження характеристик макетного зразка запропонованого діагностичного засобу, доведена адекватність фізичним процесам удосконалених і розроблених його математичних моделей. Створені експериментальні стенди для дослідження статичних й динамічних характеристик теоретично обґрунтованої конструкції діагностичного засобу.

7. Визначено, що впровадження нового засобу превентивного діагностування та прогнозування технічного стану підшипникових вузлів дозволить досягти підвищення ефективності використання та надійності СГТУ за рахунок зниження аварійності на 6 ... 11 %, збільшення міжремонтного періоду та зменшення експлуатаційних витрат на 8 ... 10 ам. дол. на 1 кВт·г генерованої потужності за рік роботи зі середньостатистичним навантаженням. Результати досліджень є універсальними і можуть бути розширеними для застосування у інших діагностичних засобах водного транспорту.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, у яких опубліковані основні наукові результати дисертації

1. Сандлер, А. К. Пьезооптические устройства как средство повышения достоверности диагностической информации / В. В. Никольский, А. К. Сандлер // Автоматика, автоматизация, электротехнические комплексы и системы. – 2003. – № 2 (12). – С. 49-53.

2. Сандлер, А. К. Разработка пьезооптического акселерометра для диагностирования энергоустановок / А. К. Сандлер, В. В. Никольский // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – 2004. – № 14. – С. 329-338.

3. Сандлер, А. К. Моделирование процессов в волоконно-оптическом акселерометре / А. К. Сандлер // Автоматика, автоматизация, электротехнические комплексы и системы. – 2004. – № 2 (14). – С. 68-73.

4. **Сандлер, А. К.** Оптимизация процесса модуляции в волоконно-оптических акселерометрах / А. К. Сандлер, В. В. Никольский // Автоматизация судовых технических средств. – 2004. – Вып. 9. – С. 73-81.

5. **Сандлер, А. К.** Волоконно-оптический датчик контроля вибрации ГТУ / А. К. Сандлер // Вісник Черкаського державного технологічного університету. – 2007. – Спецвипуск. – С. 236-238.

6. **Сандлер, А. К.** Структурная модель инвариантного волоконного акселерометра / А. К. Сандлер, И. В. Логишев, А. А. Сандлер // Судовые энергетические установки. – 2011. – Вып. 25. – С. 87-93.

7. **Сандлер, А. К.** Схемотехнічне рішення комбінованого датчика клімат-контролю / А. К. Сандлер, Ю. М. Цюпко, О. А. Сандлер, К. Ю. Цюпко // Автоматизация судовых технических средств. – 2014. – Вып. 19. – С. 69-73.

8. **Сандлер, А. К.** Моделирование акселерометра маятникового типа / А. К. Сандлер // Вісник Черкаського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки. – 2019. – №1. – Черкаси: ЧДТУ. – С. 75-81.

9. **Сандлер, А. К.** Применение волоконно-оптических датчиков в системах автоматического диагностирования судовых газотурбинных установок / А. К. Сандлер, А. Ю. Карпилов // Автоматизация технологических и бизнес-процесів. – 2019. – Т. 11. – №. 2. – С. 46-52.

10. **Сандлер, А. К.** Оптимізація конструктивних параметрів волоконного акселерометру / А. К. Сандлер // Slovak international scientific journal. – 2020. – № 42. – V.1. – P. 25-31.

11. Патент України на винахід № 108519, МПК (2015.01) G02B 6/00 G01N 19/10 G01K 5/10. Волоконно-оптичний датчик клімат-контролю для вимірювання вологості і температури / **А. К. Сандлер**, Ю. М. Цюпко, О. А. Сандлер, К. Ю. Цюпко; заявники та володарі патенту Сандлер, А. К., Цюпко, Ю. М., Сандлер, О. А., Цюпко, К. Ю. – а201306835; – заявл. 31.05.2013; опубл. 12.05.2015, бюл. № 9. – 3 с.

12. Патент України на винахід № 122818, МПК (2006): G01M 11/00, G01M 1/02 (2006.01). Волоконно-оптичний акселерометр для спеціальних умов експлуатації / **А. К. Сандлер**; заявник та володар патенту Сандлер, А. К. – а201810909; – заявл. 05.11.2018; опубл. 06.01.2021, бюл. № 1. – 3 с.

Наукові праці які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

13. **Сандлер, А. К.** Разработка волоконно-оптических акселерометров для систем технического диагностирования / А. К. Сандлер // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції "Сучасне судноплавство і морська освіта". – 2004. – С. 79-82.

14. **Сандлер, А. К.** Волоконно-оптический акселерометр для контроля высокочастотной вибрации судовых газотурбинных установок / А. К. Сандлер // Автоматика-2008: XV Міжнародна конференція з автоматичного управління. – 2008. – С. 504-506.

15. **Сандлер, А. К.** Метрологическая модель волоконного преобразователя вибраций / А. К. Сандлер, И. В. Логишев, А. А. Сандлер // Энергетика судна: эксплуатация та ремонт. Матеріали науково-технічної конференції. – 2010. – С. 87-89.

16. **Сандлер, А. К.** Инвариантный волоконный акселерометр / А. К. Сандлер, И. В. Логишев, А. А. Сандлер // Энергетика судна: експлуатація та ремонт. Матеріали науково-технічної конференції. – 2011. – С. 277-279.

17. **Сандлер, А. К.** Волоконно-оптический акселерометр для диагностирования судовых газовых турбин / А. К. Сандлер // Автоматика-2012: XIX Міжнародна конференція з автоматичного управління. – 2012. – С. 336.

18. **Сандлер, А. К.** Повышение надежности чувствительных элементов волоконных акселерометров / А. К. Сандлер // Науково-практична конференція "Актуальні питання суднової електротехніки і радіотехніки". – 2012. – С. 42-44.

19. **Сандлер, А. К.** Разработка волоконно-оптических устройств для систем контроля и управления СЭУ / А. К. Сандлер, И. В. Логишев // Суднові енергетичні установки: експлуатація та ремонт. Матеріали науково-технічної конференції. – 2012. – С. 19-22.

20. **Сандлер, А. К.** Контроль положения валов судовых механизмов волоконно-оптическими устройствами / А. К. Сандлер, И. В. Логишев // Суднові енергетичні установки: експлуатація та ремонт. Матеріали науково-технічної конференції. – 2013. – С. 110-113.

21. **Сандлер, А. К.** Выбор рационального способа модуляции в волоконном акселерометре / А. К. Сандлер, И. В. Логишев // Энергетика судна: експлуатація та ремонт. Матеріали науково-технічної конференції. – 2014. – С. 131-133.

22. Сандлер, А. К. Разработка волоконного акселерометра для контроля высокочастотной вибрации судовых механизмов / **А. К. Сандлер**, И. В. Логишев // Річковий та морський флот: експлуатація та ремонт. Матеріали науково-технічної конференції. – 2017. – Т.2. – С. 14-17.

23. **Сандлер, А. К.** Чувствительный элемент волоконно-оптического акселерометра на основе сапфирового стекла / А. К. Сандлер // IX Міжнародна науково-методична конференція "Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика". Матеріали конференції. – 2019. – С. 27-33.

Наукові праці які додатково відображають наукові результати дисертації

24. Патент України на корисну модель № 62437, МПК (2011) G01M 11/00. Інваріантний волоконний акселерометр / **А. К. Сандлер**, О. А. Сандлер; заявники та володарі патенту Сандлер, А. К., Сандлер, О. А. – *u201101149*; – заявл. 02.02.2011; опубл. 26.10.2011, бюл. № 18. – 3 с.

25. Патент України на корисну модель № 71295А, МПК 7 G01M 11/00. П'єзооптичний акселерометр / В. В. Нікольський, **А. К. Сандлер**; заявники та володарі патенту Нікольський, В. В., Сандлер, А. К. – 20031211820; – заявл. 18.12.2003; опубл. 15.11.2004, бюл. № 11. – 2 с.

26. Патент України на корисну модель № 16068, МПК (2006) G01M 11/00. Волоконно-оптичний віброакселерометр / **А. К. Сандлер**; заявник та володар патенту Сандлер, А. К. – *u200601725*; – заявл. 02.02.2011; опубл. 17.07.2006, бюл. № 7. – 3 с.

27. Патент України на корисну модель № 110051, МПК (2016.01) G02B 6/00 G01M 11/00. Повнообертвий волоконно-оптичний з'єднувач / **А. К. Сандлер**; заявник та володар патенту Сандлер, А. К. – *u201602359*; – заявл. 11.03.2016; опубл. 26.09.2016, бюл. № 18. – 3 с.

АНОТАЦІЯ

Сандлер А. К. Метод підвищення ефективності діагностування технічного стану суднових газотурбінних установок на основі волоконно-оптичних технологій. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту. Державний університет інфраструктури та технологій, м. Київ, 2021.

Дослідження базується на запиті практики про необхідність розробки й впровадження нових засобів діагностування та прогнозування технічного стану підшипникових вузлів суднових газотурбінних установок (СГТУ), які, за рахунок підвищення вірогідності діагностичної інформації, забезпечують зниження аварійності суден. У роботі вирішена актуальне науково-технічне завдання наукового обґрунтування, розробки й дослідження засобу діагностики та прогнозування технічного стану підшипників СГТУ. Пропонований засіб забезпечує підвищення якості процесів діагностування підшипників СГТУ за рахунок використання принципів часткової інваріантності до зовнішніх неконтрольованих впливів вимірювань, яка досягається шляхом синтезу процесів перетворення світла, конструкції, комбінації матеріалів і способу одержання діагностичної інформації. При вирішенні головного завдання діагностики та прогнозування технічного стану підшипників СГТУ проведено аналіз основних ознак їх деструкції, можливостей основних методів контролю вібрації елементів підшипникових вузлів СГТУ та визначення найбільш інформативних методів. Проведено порівняльний аналіз впливу експлуатаційних факторів на характеристики волоконно-оптичних діагностичних пристроїв контролю вібрації СГТУ. Проведений аналіз результатів впливу експлуатаційних дестабілізуючих факторів (ДФ) на характеристики діагностичних пристроїв контролю вібрації відомих типів, дозволив локалізувати коло досліджень у межах використання волоконно-оптичних датчиків амплітудної модуляції. Для обґрунтування і визначення їх раціональної структури, оцінені можливості різних методів корегування погрішностей вимірювань волоконно-оптичного акселерометра (ВОА). Доведено, що компенсацію некорельованої складової погрішності акселерометра необхідно виконувати на основі використання методів інваріантних перетворень, заснованих на принципі багатоканальності. Обрані методи, припущення і математичний апарат дослідження. Обґрунтовано застосування хвильового аналізу процесів у чутливому елементі (ЧЕ) ВОА, який являє собою концентричну багатопарову структуру, на основі рівнянь Максвелла та методу рівних об'ємів. На основі положень теорії погрішностей запропонована для використання та удосконалена маятникова схема досліджуваного акселерометра. На підґрунті модифікованої теорії зв'язаних мод у тунельно-зв'язаних оптичних волокнах, а також положеннях теорії пружності, сформована математична модель перетворення світлового випромінювання у акселерометрах, призначених для функціонування у складі діагностичних систем СГТУ. Виконано оптимізацію матеріалів за критерієм забезпечення необхідної та достатньої власної частоти та визначення параметрів ЧЕ акселерометрів. Запропоновано застосування волокна з депресованою серцевиною та коаксіальними первинною та вторинною серцевинами у якості первинного ЧЕ. Набула подальшого розвитку методика розрахунків

конструктивних параметрів пропонованої конструкції акселерометра. З метою дослідження засобу діагностики на основі маятникової схеми, впливу зміни параметрів на його характеристики, здійснено моделювання процесів в окремих його елементах. У ході експериментальних досліджень характеристик сконструйованого макетного зразка діагностичного засобу виконана перевірка вірогідності гіпотез і адекватності фізичним процесам його математичної моделі, а також підтверджена доцільність і ефективність запропонованих схемотехнічних рішень, що додатково підтверджується патентами України. Визначено, що за рахунок впровадження нового засобу превентивного діагностування та прогнозування технічного стану підшипників, можливо досягти збільшення міжремонтного періоду СГТУ та зменшення експлуатаційних витрат на 8 ... 10 ам. дол. на 1 кВт·г генерованої потужності за рік роботи зі середньостатистичним навантаженням. Застосування запропонованого методу визначення параметрів синтезованого засобу діагностування на практиці створює передумови для розробки вимірjuвальних перетворювачів широкого цільового призначення.

Ключові слова: суднова газотурбінна установка, діагностування, технічний стан, ефективність, підшипник, акселерометр, аналіз, волоконно-оптичний, чутливий елемент.

ANNOTATION

Sandler A. K. Method of improving the efficiency of diagnosis of the technical condition of ship's gas turbines plants based on fiber-optical technologists. – Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

Dissertation for the degree of a candidate of technical sciences in specialty 05.22.20 – operation and repair of means of transport. State University of Infrastructure and Technologies, Kyiv, 2021.

The research is based on the practice request regarding the necessity of development and implementation of new technical state diagnostic and forecasting means. The new method will ensure the increase of the diagnostic information probability and reduction of the accidents on ship's gas-turbine plants (SGTP) bearing units. The relevant scientific and technical task of scientific substantiation, development and research of the diagnostic and prediction means of bearings technical condition has solved in the thesis work. A tool provides high efficient use and reliability of the SGTP. This is achieved due to the invariance of external uncontrolled influences. The invariance is guaranteed through the synthesis and optimization of design parameters, combination of materials and diagnostic information obtaining methods. When addressing the major issue the main signs of destruction and possibilities of the main methods of vibration of elements of SGTP bearing knots control was analyzed to determine the most informative ones. In order to determine the measuring transformer, most corresponding to the problems of diagnosing SGTP, a comparative analysis of the operational factors impact on the characteristics of fiber optic vibration control devices was conducted. Analysis of the results of the operational destabilizing factors (DF) influence on the known converter's characteristics allowed to determine and localize the research field within the fiber-optical amplitude modulation sensors. An estimation of features of the error correction different methods (ECM). To justify and determine the rational structural model It is determined that the compensation of the uncorrelated component of the converter's er-

rors is most rational to perform on the basis of methods of invariant transformations, based on the principle of multichannel. Methods, assumptions and mathematical research apparatus are selected. The application of the wave analysis of processes in a sensitive element (SE) of the fiber-optic accelerometer (FOA) based on the Maxwell equations and the equal volumes method is substantiated. FOA is a concentric multi-layered structure. On the basis of the theory of errors the pendulum scheme of the accelerometer is proposed. A mathematical model of the light radiation transformation in a FOA on modified bound mode theory in the tunnel-connected optical fibers (OF), as well as elasticity theory was formed. Optimization of materials according to the criterion of providing the necessary and sufficient natural frequency and determining the parameters of the SE FOA was made. An application as a SE fiber with depressed core and coaxial primary and secondary cores is proposed. Processes in fiber accelerometer elements of a pendulum scheme are modelled in order to study the influence of parameters change on its characteristics. The method of calculating the structural parameters of fiber accelerometer is formed. In the course of experimental studies of the characteristics of a specially designed prototype of a diagnostic tool, the probability of hypotheses and adequacy of its mathematical model to physical processes was checked, and the expediency and efficiency of the proposed circuit solutions were confirmed, which is additionally confirmed by Ukrainian patents. It is determined that due to the introduction of a new means of preventive diagnosis and forecasting of the technical condition of bearings, it is possible to achieve an increase in the overhaul period of SGTP and reduce operating costs by 8... 10 dollars per 1 kWh of generated power per year of operation with average load. The application of the proposed method for determining the parameters of the synthesized diagnostic tool in practice creates the preconditions for the development of fiber-optic measuring transducers for a wide purpose.

Key words: ship`s gas turbine plants, diagnostics, technical condition, efficiency, bearing, accelerometer, analysis, fiber-optic, sensitive element.

АННОТАЦИЯ

Сандлер А. К. Метод повышения эффективности диагностирования технического состояния судовых газотурбинных установок на основе волоконно-оптических технологий. – Квалификационная научная работа на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.20 – эксплуатация и ремонт средств транспорта. Государственный университет инфраструктуры и технологий, г. Киев, 2021.

Тема исследования базируется на запросе практики о необходимости разработки и внедрения новых средств диагностирования и прогнозирования технического состояния, которые обеспечат повышение достоверности диагностической информации и снижение аварийности подшипников судовых газотурбинных установок (СГТУ). В диссертационной работе решена актуальная научно-техническая задача научного обоснования, разработки и исследования средства диагностики и прогнозирования технического состояния подшипников, которое обеспечивает высокую эксплуатационную эффективность и надежность СГТУ за счет инвариантности к внешним неконтролируемым воздействиям, достигаемой синтезом и оптимизации конструктивных параметров, комбинации материалов и способом получения диагностической информации. При решении главной задачи

проведен анализ основных признаков деструкции и возможностей основных методов контроля вибрации элементов подшипниковых узлов СГТУ для определения наиболее информативных. С целью определения измерительного преобразователя, в наибольшей степени отвечающего задачам диагностирования СГТУ, проведен сравнительный анализ влияния эксплуатационных факторов на характеристики волоконно-оптических устройств контроля вибрации. Анализ результатов влияния эксплуатационных дестабилизирующих факторов (ДФ) на характеристики преобразователей известных классов позволил определить и локализовать поле исследований в пределах волоконно-оптических датчиков амплитудной модуляции. Для обоснования и определения рациональной модели выполнена оценка возможностей таких различных методов коррекции погрешностей волоконно-оптических акселерометров (ВОА). Определено, что компенсацию некоррелированной составляющей погрешности преобразователей наиболее рационально выполнять с использованием методов инвариантных преобразований, основанных на принципе многоканальности. Избраны методы, допущения и математический аппарат исследования. Обосновано применение волнового анализа процессов в чувствительном элементе (ЧЕ) акселерометра, представляющего собой концентрическую многослойную структуру, на основе уравнений Максвелла и метода равных объемов. На основе положений теории погрешностей предложена маятниковая схема исследуемого акселерометра. На основе модифицированной теории связанных мод в туннельно-связанных оптических волокнах (ОВ), а также положениях теории упругости была сформирована математическая модель преобразования светового излучения в ВОА. Выполнен отбор и оптимизация материалов и параметров ЧЕ. Предложено применения в качестве ЧЕ волокна с депрессированной сердцевиной и коаксиальными первичной и вторичной сердцевинами. Осуществлено моделирование процессов в элементах ВОА маятниковой схемы с целью исследования влияния изменения параметров на его характеристики. Сформирован метод определения конструктивных параметров волоконного акселерометра. В ходе экспериментальных исследований характеристик специально сконструированного макетного образца диагностического средства выполнена проверка достоверности гипотез и адекватности физическим процессам его математической модели, а также подтверждена целесообразность и эффективность предлагаемых схмотехнических решений, дополнительно подтверждается патентами Украины. Определено, что за счет внедрения нового средства превентивного диагностирования и прогнозирования технического состояния подшипников, возможно добиться увеличения межремонтного периода СГТУ и уменьшения эксплуатационных расходов на 8 ... 10 ам. долл. на 1 кВт·ч генерируемой мощности за год работы со среднестатистической нагрузкой. Применение предложенного метода определения параметров синтезированного средства диагностирования на практике создает условия для разработки волоконно-оптических измерительных преобразователей широкого целевого назначения.

Ключевые слова: судовая газотурбинная установка, диагностирование, техническое состояние, эффективность, подшипник, акселерометр, анализ, волоконно-оптический, чувствительный элемент.

Підписано до друку 15.01.21. Формат 60x84/16. Папір офсет.
Гарнітура Times New Roman. Друк офсетний. Ум. друк. арк. 0,8.
Обл.-вид. арк. 1,0. Тираж 100 прим. Зам. № 44. Ціна договірна

Товариство з обмеженою відповідальністю фірма "Фенікс".
65059, м. Одеса, вул. Зоопаркова, 25.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК № 11044 від 17.09.2002 р.