

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ МОРСЬКИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ
імені адмірала Макарова**

Шарейко Дмитро Юрійович

УДК 629.12.05-752

**СИНТЕЗ ВІБРОЗАХИСНИХ СИСТЕМ СУДНОВИХ
ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК З КЕРОВАНИМИ
ДИНАМІЧНИМИ ВІБРОГАСНИКАМИ**

Спеціальність 05.08.05 - Суднові енергетичні установки

**Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук**

Миколаїв 2002

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Українському державному морському технічному університеті Міністерства освіти і науки України, м.Миколаїв.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, професор кафедри автоматики Українського державного морського технічного університету імені адмірала Макарова,
Гуров Анатолій Петрович, м.Миколаїв.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор кафедри динаміки та міцності суднових машин
Крючков Юрій Семенович, Український державний морський технічний університет імені адмірала Макарова, м.Миколаїв;

кандидат технічних наук, доцент кафедри суднових енергетичних установок і технічної експлуатації

Варбанець Роман Анатолійович, Одеський національний морський технічний університет Міністерства освіти і науки України, м.Одеса.

Провідна установа: Одеська державна морська академія Міністерства освіти і науки України, м.Одеса.

Захист відбудеться 21 жовтня 2002 р. о 15 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 38.060.01 в Українському державному морському технічному університеті за адресою: 54025, м.Миколаїв, просп. Героїв Сталінграда, 9, головний корпус УДМТУ, ауд.360.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Українського державного морського технічного університету імені адмірала Макарова університеті за адресою: 54025, м.Миколаїв, просп. Героїв Сталінграда, 9, головний корпус УДМТУ.

Автореферат розісланий 9 вересня 2002 р.

Вчений секретар
спеціалізованої
вченої ради

Квасницький В.Ф.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. Проблема зниження шуму та вібрації машин і механізмів суднових енергетичних установок (СЕУ), їхніх фундаментів і корпусних конструкцій судна, що примикають до них, відома давно. Розв'язання цієї проблеми безпосередньо пов'язане з підвищенням ефективності, надійності, довговічності та ремонтпридатності установок. Зниження гідроакустичних шумів є важливим завданням при проектуванні й побудові кораблів і підводних човнів. Вібрація і шум згубно впливають на населеність судна, можуть бути причиною часткової втрати працездатності чи захворювань екіпажу.

Особливої гостроти ця проблема набула в даний час у зв'язку з тривалою експлуатацією СЕУ без планово-профілактичних ремонтів. Це призведе до підвищення вібрації та шуму механізмів і машин СЕУ, деформації корпусів і фундаментів унаслідок розцентрування валів, обумовленого спрацюванням опорних вузлів, до зміни в'язконружних властивостей віброізоляції та віброгасильних пристроїв через старіння, а в ряді випадків до виходу їх з ладу.

Урахувати всі причини вібрацій елементів СЕУ на етапі проектування неможливо через відсутність достовірних розрахункових методик. Необхідне доведення установок за рівнем вібрацій після їхнього монтажу, що пов'язано з додатковими витратами і простоями.

Знизити вібрацію та шум машин і механізмів СЕУ, їхніх фундаментів і прилеглих корпусних конструкцій, змонтованих на судні, практично неможливо. Тому на стадії проектування необхідно передбачити такі пристрої, що дозволяють цілеспрямовано підтримувати рівень вібрації в припустимих межах. Ці пристрої називають керованими, чи регульованими, віброгасниками.

Відомі різні типи суднових керованих віброгасників. Однак вони занадто складні в конструктивному виконанні, мають порівняно великі маси й габарити і не можуть бути безпосередньо встановлені разом з віброізоляторами.

З цієї причини в дисертаційній роботі поставлена актуальна задача зниження рівня вібрації та шуму машин і механізмів СЕУ шляхом удосконалювання керованих віброгасників і створення узагальненої методики для вибору їхньої кількості й оптимального розташування на об'єкті, що містить віброізолятори.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Роботі виконувалася відповідно до держбюджетних науково-дослідних тем: 1216 "Дослідження віброзахисних систем з керованими віброгасниками для суднових енергетичних установок", № ДР – 019U23264 за напрямком 06 "Екологічно чиста енергетика і ресурсозберігаючі технології"; 1431 "Дослідження суднових систем енергозберігаючого електропривода", № ДР – 010U008041 за напрямком 04 "Перспективні інформаційні технології, прилади комплексної автомати-

зації". Автор дисертаційної роботи брав участь у наукових дослідженнях з указаних тем як відповідальний виконавець.

Мета і задачі досліджень. Мета досліджень полягала у вирішенні актуальної задачі віброгасіння та зниження рівня шуму машин і механізмів СЕУ шляхом удосконалювання керованих віброгасників і створення узагальненої методики, алгоритмів і програм для раціонального вибору їхніх робочих параметрів, кількості й оптимального розташування на об'єкті, установленому на віброізолятори.

Для досягнення цієї мети в дисертації поставлені й успішно вирішені наступні *задачі*, що полягають у розробці:

- методики розрахунку амплітуд переміщень машин і механізмів СЕУ при змушених коливаннях;
- узагальненої методики раціонального вибору робочих параметрів, кількості й оптимального розташування віброгасників на об'єкті, встановленому на віброізолятори;
- малогабаритних динамічних віброгасників електромагнітного типу із системою автоматичного керування частотним настроюванням на дискретних програмованих контролерах;
- методики розрахунку робочих характеристик керованого динамічного віброгасника;
- алгоритмів і пакета обчислювальних програм, призначених для аналізу розрахунку працездатності системи віброгасіння з керованими динамічними віброгасниками;
- експериментального стенда для відпрацювання керованих віброгасників і підтвердження основних положень дисертаційної роботи;
- рекомендацій для забезпечення припустимого рівня вібрацій та шуму машин і механізмів СЕУ на замовлення підприємств України.

Об'єктом дослідження в роботі є системи віброзахисту машин і механізмів СЕУ з керованими динамічними віброгасниками електромагнітного типу.

Предмет дослідження - поліпшення віброакустичного стану машин і механізмів СЕУ шляхом використання динамічних керованих віброгасників, визначення кількості й оптимального розташування віброгасників на об'єкті, встановленому на віброізолятори, а також удосконалення конструкції цих віброгасників.

Методи досліджень. Теоретичні дослідження змушених коливань об'єкта СЕУ виконані на основі відомих рівнянь теорії малих коливань твердого тіла з одно- чи двокаскадною системою віброізоляції та керованими віброгасниками. Ці рівняння наведені в матричній формі. Числове розв'язання матричних рівнянь руху коливальної системи виконано на персональному комп'ютері за розробленою програмою, яка написана мовою СІ. Характеристики керованого віброгасника розраховувалися в процесі розв'язання відомих інтегральних рівнянь електродинаміки методом виключення Гаусса. Експериментальні дослідження, призначення яких полягало в перевірці вірогідності

розроблених методик і працездатності керованого віброгасника, здійснені на стенді, сконструйованому за зразком реального об'єкта.

Вірогідність розроблених і теоретично обґрунтованих методик підтверджується вимірами амплітуд переміщень і частот змушених коливань проміжної платформи двокаскадної системи віброізоляції об'єкта та робочих характеристик віброгасників, установлених на цій платформі, а також натурними випробуваннями машин і механізмів СЕУ кораблів "Гетьман Сагайдачний" і "Слава". Робочі характеристики спроектованого й виготовленого керованого віброгасника одержані в процесі його відпрацювання на вібростенді ВЕДС 200.

Наукову новизну становлять наступні результати, що виносяться на захист:

- запропоновано науково обґрунтоване й експериментально підтверджене положення про те, що найбільший ефект від віброгасіння елементів СЕУ керованими віброгасниками досягається при їх установленні на проміжну платформу двокаскадної системи віброізоляції об'єкта захисту;

- вперше здійснений аналіз динамічних явищ, які відбуваються в коливальній системі, що складається з вібруючого об'єкта СЕУ і системи віброізоляції, при інерційному впливі керованих віброгасників на поверхні елементів, де вони закріплені. Результатом цього аналізу є визначення оптимальної кількості віброгасників та ефективних місць їх закріплення на машинах та механізмах СЕУ;

- вперше отриманий розподіл напруженості електромагнітного поля в повітряному зазорі виконавчого пристрою керованого динамічного віброгасника за допомогою розв'язання системи інтегральних рівнянь, складених для розподілу потенціалу простого шару вторинних джерел з використанням закону повного струму в ядрі цих рівнянь. Це дало змогу удосконалити методику проектування керованих віброгасників;

- вперше здійснено аналіз характеристик керованих віброгасників при зміні форми полюсів у їхньому виконавчому пристрої і запропоновано найбільш ефективну конфігурацію цих полюсів, що призводить до розширення частотного діапазону регулювання або зниження маси та габаритів керованих віброгасників які застосовуються в СЕУ.

Практичну цінність роботи становлять:

- узагальнена методика раціонального вибору параметрів, кількості й оптимального розташування віброгасників на об'єкті, встановленому на віброізолятори;

- малогабаритний віброгасник електромагнітного типу із системою автоматичного керування частотним настроюванням на дискретних програмованих контролерах;

- методика розрахунку характеристик керованого віброгасника;

- алгоритми і пакет обчислювальних програм, призначених для аналізу працездатності системи віброгасіння з керованими віброгасниками;

- експериментальний стенд для відпрацювання керованих віброгасників. **Особистий внесок здобувача:**

- створено узагальнену методику формування матриць комплексних коефіцієнтів жорсткостей при розрахунках параметрів віброзахисних структур машин та механізмів СЕУ, визначенні кількості віброгасників та місць їх розташування, а також методику визначення сил та моментів використовуючи результати вимірювань;

- запропоновано формули для обчислення силових характеристик виконавчого пристрою керованого динамічного віброгасника, здійснено аналіз характеристик керованих віброгасників при зміні форми полюсів у їхньому виконавчому пристрої і запропоновано найбільш ефективна конфігурація цих полюсів;

- розроблено малогабаритний динамічний віброгасник електромагнітного типу із системою автоматичного керування частотним настроюванням на дискретних програмованих контролерах з програмою, що загрузається в постійний запам'ятовуючий пристрій мікроконтролера, пакет прикладних програм для розрахунку параметрів віброзахисних систем машин та механізмів СЕУ з керованими динамічними віброгасниками;

- проведено дослідження динамічних явищ, які відбуваються в коливальній системі, що складається з віброуючого об'єкта і системи віброізоляції, при інерційному впливі керованих віброгасників на поверхні елементів, де вони закріплені, встановлено, що найбільший ефект від віброгасіння керованими віброгасниками досягається при їх установленні на проміжну платформу двокаскадної системи віброізоляції об'єкта захисту.

Реалізація результатів роботи. Результати роботи були використані в НДР № ДР – 193U43/82 "Аналіз можливості ефективного використання керованих динамічних віброгасників для зниження рівнів вібрації енергетичного устаткування і допоміжних механізмів замовлення "Кордон-М", виконаній в КДПЦК; НДР № ДР 019U23264 "Дослідження віброзахисних систем з керованими віброгасниками для суднових енергетичних установок", виконаній в УДМТУ; НДР № ДР – 0196U01995 "Реконструкція установок ЕПЗ та вакуумних насосів з розробкою та установкою віброзахисних систем", виконаній на ВО "Зоря". Розробка навчальних програм для курсів "Основи вібротехніки", "Вібротехнічні керовані системи", "Віброприводи", "Вібродіагностика" та "Елементи систем автоматики". Упровадження результатів роботи підтверджені відповідними актами.

Апробація роботи. Основні наукові і практичні результати дисертаційної роботи доповідалися й обговорювалися на Міжнародному науково-практичному симпозіумі "Проблеми суднобудування: стан, ідеї, рішення" (Миколаїв, 1997 р.), 2-й Міжнародній науково-технічній конференції "Проблеми енергопостачання й екології в суднобудуванні" (Миколаїв, 1998 р.), на IV Всеукраїнській конференції "Фундаментальна і професійна підготовка фахівців з фізики" (Миколаїв, 1999 р.), на II і III

Всеукраїнських молодіжних науково-практичних конференціях з міжнародною участю "Людина і космос", присвячених Дню космонавтики (Дніпропетровськ, 2000 і 2001 р.), Міжнародних науково-технічних конференціях "Проблеми створення нових машин і технологій" (Кременчук, 2000 і 2001 р.), "Інформаційна техніка й електромеханіка на порозі ХХІ сторіччя" (ІТЕМ-2001, Луганськ, 2001 р.), на 2-й науково-технічній конференції ВМС України "Проблеми реформування ВМС України, розвиток озброєння і військово-морської техніки" (Севастополь, СВМІ, 2000 р.), VI Всеукраїнській конференції "Фундаментальна і професійна підготовка вчителів з фізики" (Миколаїв, 2001 р.).

Публікації. Результати дисертації, що виносяться на захист, опубліковані в десяти статтях науково-технічних збірників списку ВАК України (2 без співавторів), шести тезах у збірниках тез міжнародних, всеукраїнських і військових конференцій; отримано чотири деклараційні патенти на винахід, випущений один науково-технічний звіт.

Структура й обсяг роботи. Дисертаційна робота складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Загальний обсяг роботи складає 253 сторінки, з яких 80 сторінок - додатки. Робота також містить 36 таблиць, 47 рисунків, список використаних джерел з 93 найменувань.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтована актуальність роботи, сформульовані мета й основна задача дослідження, перераховані проблеми дослідження і результати, що виносяться на захист, стисло викладена наукова новизна дослідження проблеми, визначена практична цінність отриманих результатів.

У **першому розділі** розглянуто літературу з проблематики, що досліджується, вказані основні напрямки і підходи у вирішенні поставлених задач. Проаналізовано віброакустичні характеристики (ВАХ) елементів СЕУ з метою довести, що основний їх локальний екстремум незалежно від розміщення машин і механізмів на судні обумовлений частотою обертання валів і може знаходитися поблизу власних частот установок. Також аргументовано доведена необхідність застосування систем віброзахисту машин і механізмів СЕУ від **низькочастотної** вібрації. При розробці математичної моделі для дослідження коливальних процесів у динамічних системах на низьких частотах аналізувалися два відомі напрямки:

- одновимірна задача з вибором модальних коефіцієнтів (інерційних, дисипативних і жорсткості) таким чином, щоб близькорезонансні й антирезонансні зони амплітудно-частотних характеристик (АЧХ) розрахункової схеми відповідали за амплітудою та частотою сплескам і провалам реальної ВАХ досліджуваного механізму;

- просторова задача для одно- і двокаскадної системи віброізоляції, у якій об'єкт захисту є абсолютно твердим тілом рівномірної щільності, з'єднаним з опорними зв'язками за допомогою зосереджених жорсткостей.

Огляд літератури показав, що існуючі способи розрахунку параметрів віброзахисних систем засновані на матричному й частотному підходах і дослідженні пружних деформацій віброізоляторів. Однак існуючі методи розрахунків не дозволяють урахувати, як кількість віброгасників і місця їхнього кріплення впливають на ефективність віброзахисних систем машин і механізмів СЕУ. Тому виникає необхідність побудови математичної моделі для просторових динамічних структур з багатьма об'єктами, що обґрунтовано в першому розділі. Аналіз систем автоматичного управління (САУ) з керованими динамічними віброгасниками (КДВГ) дозволив відзначити перспективи поліпшення

У другому розділі розглянуто розроблену математичну модель просторової динамічної структури з багатьма об'єктами, що складена для синтезу віброзахисних систем елементів СЕУ з КДВГ. Числовий експеримент і синтез віброзахисної структури здійснені на прикладі дизель-генератора ДГ-190, надалі об'єкта захисту (ОЗ), що встановлений у двокаскадній системі віброізоляції з передбаченими місцями кріплення віброгасників (рис.1).

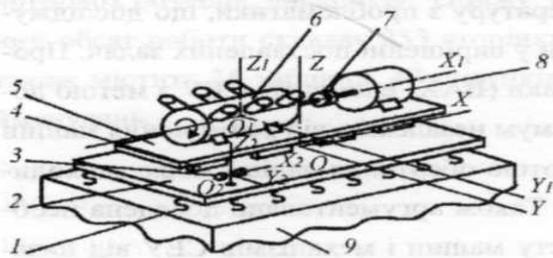


Рис.1.Віброзахисна структура ДГ-190

дизель-генератор ДГ-190 складається з генератора 8, дизеля 6, сполучної муфти 7, настановної платформи 5. Він закріплений у двокаскадній системі віброізоляції на віброізоляторах верхнього каскаду 4. Проміжна платформа (ПФ) 2 закріплена на віброізоляторах нижнього каскаду 1 корабельного фундаменту 9 з розміщеним на ній динамічним віброгасником 3. Рівноважне положення головних центральних осей інерції проміжної платформи визначає нерухому систему координат $OXYZ$, ще дві нерухомі системи координат $O_1X_1Y_1Z_1$ і $O_2X_2Y_2Z_2$ визначають рівноважне положення головних центральних осей інерції відповідно дизель-генератора та динамічного віброгасника. У другому розділі наведені диференціальні рівняння коливань цієї структури. У матричній формі система диференціальних рівнянь, що описують коливання установки в системі координат $OXYZ$, має вигляд $([FI+A]+B)X=P$, де F – вектор результуючого зусилля, що деформує віброізолятори; A – симетрична матриця коефіцієнтів жорсткостей; X – вектор координат об'єкта відносно його центра інерції; I – одинична матриця; B – симетрична матриця коефіцієнтів демпфірування; P – вектор збурювальних сил і моментів. Розмірність матриць A і B – 18×18 . У загальному випадку порядок системи диференціальних рівнянь – $6n \times 6n$, де n – кількість об'єктів у динамічній структурі. Більшість машин і механізмів СЕУ, наведених у першому розділі, мають сплески амплітуд ВАХ на частотах 25 і 50 Гц і кратних їм. Тому параметри розрахункової схеми для синтезу віброзахисної структури підібрані таким чином, щоб забезпечити основний сплеск ВАХ на частоті 50 Гц. Ця розрахункова схема відповідає динамічній структурі (див. рис.1). На рис.2 наведені геометричні розміри розрахункової схеми і показані координати центра мас (ЦМ) об'єкта захисту, а також

пронумеровані точки кріплення віброізоляторів і позначені їхні координати.

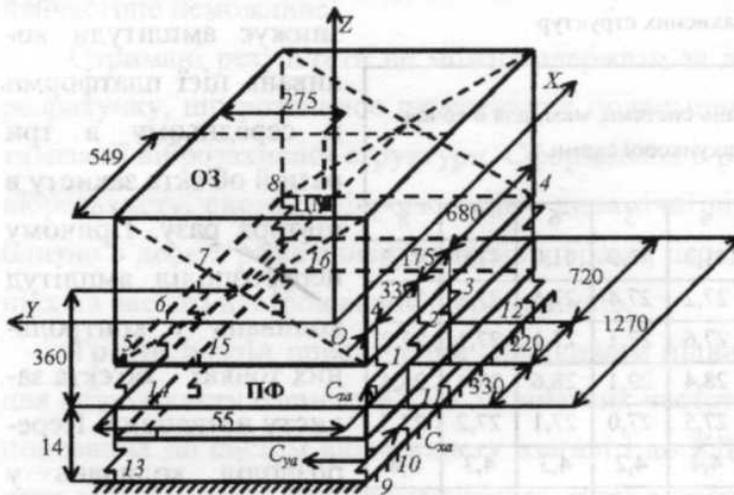


Рис.2. Розрахункова схема

Точки кріплення віброгасників позначені порядковими номерами. Зусилля впливає по вертикалі в ЦМ об'єкта захисту. Осі жорсткостей кожного віброізолятора співвісні осям розрахункової системи координат, осі якої – головні осі інерції проміжної платформи.

Інші параметри розрахункової схеми наведені в табл.1. Розрахунок

Таблиця 1

Параметри розрахункової схеми

Маса ОЗ	356,431 кг
Маса ПФ	40 кг
Коефіцієнти жорсткостей віброізоляторів, що з'єднують ПФ із фундаментом	$C_x = 2,542 \cdot 10^7$ Н/м $C_y = 1,09 \cdot 10^7$ Н/м $C_z = 1,816 \cdot 10^7$ Н/м
Коефіцієнти жорсткостей віброізоляторів, що з'єднують ПФ з ОЗ	$C_{x'} = 8,196 \cdot 10^7$ Н/м $C_{y'} = 3,512 \cdot 10^7$ Н/м $C_{z'} = 5,854 \cdot 10^7$ Н/м
Власні частоти системи (розглядаються коливання тільки вздовж осі OZ)	50 Гц
Величина зусилля, що діє на ОЗ	$F_z = 1000$ Н
Маса віброгасника	1,5 кг
Коефіцієнт утрат віброгасника	$\eta = 0,001$
Коефіцієнт утрат віброізоляторів	$\eta = 0,5$

виконувався для шести варіантів кріплення віброгасників. Результати розрахунків амплітуд коливань у контрольних точках (див. рис.2) на частоті 50 Гц подані в табл.2.

Аналіз цих результатів дозволяє відзначити наступні особливості низькочастотних коливань ОЗ у двокаскадній системі віброізоляції з динамічними віброгасниками:

–перерозподіл амплі-

туд коливань у контрольних точках розрахункової схеми без віброгасників незначний. Це можна пояснити тим, що зусилля прикладено в ЦМ верхнього об'єкта (див. рис.2) по вертикалі;

–розходження між амплітудами коливань об'єкта захисту і проміжної платформи в чотири рази свідчить про ефективність двокаскадної системи віброізоляції;

–установлення віброгасників у протилежних кутах проміжної платформи

Таблиця 2 (точки 9 і 16, 13 і 11)

Результати синтезу віброзахисних структур

Установлення віброгасників у контрольних точках	Амплітуди коливань системи, мкм, для 8 точок розрахункової схеми							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Без віброгасників	40,8	41,0	41,1	41,3	40,9	41,0	41,0	41,3
9 і 16	27,1	27,1	27,1	27,2	27,4	27,5	27,5	27,6
13 і 12	27,4	27,5	27,5	27,6	27,1	27,1	27,1	27,2
10 і 14	29,1	28,6	28,4	28,4	29,1	28,6	28,4	28,4
11 і 15	27,1	27,1	27,2	27,5	27,0	27,1	27,2	27,5
ЦМ	4,2	4,3	4,3	4,4	4,2	4,3	4,3	4,4
9, 11, 12, 13, 15, 16	10,5	10,4	10,3	10,2	10,5	10,4	10,4	10,2

Установлення віброгасників у контрольних точках	Амплітуди коливань системи, мкм, для 8 точок розрахункової схеми							
	9	10	11	12	13	14	15	16
Без віброгасників	10,5	10,4	10,3	10,2	10,5	10,4	10,3	10,2
9 і 16	2,9	3,1	3,2	3,6	3,1	3,3	3,4	3,9
13 і 12	3,1	3,3	3,4	3,9	2,9	3,1	3,1	3,6
10 і 14	6,0	4,8	4,1	2,1	6,0	4,8	4,1	2,1
11 і 15	3,4	3,3	3,3	3,2	3,4	3,3	3,3	3,2
ЦМ	0,7	0,7	0,7	0,8	0,7	0,7	0,7	0,8
9, 11, 12, 13, 15, 16	1,2	1,3	1,3	1,5	1,2	1,3	1,3	1,5

знижує амплітуди коливань цієї платформи в середньому в три рази й об'єкта захисту в півтора разу. Причому перерозподіл амплітуд коливань у контрольних точках об'єкта захисту незначний. Перерозподіл коливань у контрольних точках проміжної платформи при цьому доходить до 1 мкм (точки 12 і 13), що складає 25 % від максимального значення амплітуди коливань (точка 13);

–розміщення віброгасників на протилежних гранях проміжної платформи (точки 10 і 14) менш ефективно і приводить до більшої різниці амплітуд коливань у контрольних точках динамічної структури;

- установлення віброгасників у ЦМ об'єктів динамічної структури дозволяє в середньому в десять разів знизити амплітуди коливань об'єктів при їх незначній різниці в контрольних точках;

- встановлені в центрах мас об'єктів віброгасники (при цьому зусилля прикладено в центр мас об'єкта захисту) у середньому в три рази ефективніші, ніж розташовані по краях проміжної платформи. Тому для одержання такого ж ефекту від розміщення віброгасників по краях проміжної платформи необхідні принаймні ще дві пари віброгасників (у точках 9, 11, 12, 13, 15, 16) з такими ж параметрами. Цей факт важливий тому, що в реальних машинах і механізмах СЕУ майже неможливо встановити віброгасник у центрі мас. До того ж, як показує аналіз, закріплення віброгасників у місцях впливу сили найчастіше неможливе.

Отримані результати не можна одержати за допомогою відомих методів розрахунку, що розширює перспективи подальших досліджень

проблеми оптимізації віброзахисної структури. Сформована в результаті синтезу структура віброзахисту, система віброізоляції - динамічні

9

віброгасники, дозволяє приблизно в десять разів знизити рівень вібрації, переданої по опорних конструкціях на частоті настроювання віброгасників.

Третій розділ присвячений проблемам підвищення ефективності КДВГ для віброзахисту елементів СЕУ на низьких частотах. На підставі вимог, пропорованих до систем віброзахисту взагалі і до КДВГ зокрема, показані переваги віброгасників електромагнітного типу з постійним повітряним зазором. Питання поліпшення динамічних характеристик САУ КДВГ вирішуються комплексно. Наприклад, підвищення ефективності КДВГ' шляхом збільшення добротності приводить до зменшення маси і габаритів виконавчого пристрою віброгасника. Розширення частотного діапазону його регулювання дозволить не тільки зменшити масу і габарити КДВГ при початковому діапазоні, але й забезпечити лінійність регулювальних характеристик виконавчого пристрою, що поліпшить точність регулювання і підвищить ефективність віброгасіння. Конструкція запропонованого КДВГ вигідно відрізняється від усіх інших, керування частотним настроюванням у яких здійснюється за допомогою силових характеристик магнітного поля. Регулювання частотним настроюванням відбувається шляхом додавання до коефіцієнта жорсткості пружних елементів коефіцієнта електномагнітної жорсткості (ЕЖ):

$$\omega_n + \Delta\omega = \sqrt{\frac{C + C_{em}}{m}}, \quad (1)$$

де ω_n – частота настроювання, що забезпечується пружними елементами КДВГ; $\Delta\omega$ – збільшення частоти в процесі регулювання; C – коефіцієнт жорсткості пружних елементів; C_{em} – коефіцієнт електромагнітної жорсткості; m – маса виконавчого пристрою КДВГ.

Регулювання нагору від частоти настроювання, забезпечуваної пружними елементами КДВГ, дозволяє поліпшувати добротність віброгасника. Однак ця конструкція має один недолік - ЕЖ забезпечується не основним потоком магнітного поля виконавчого пристрою КДВГ, а потоками розсіювання. Електромагнітні зусилля, що створюються цими потоками, на порядок менші від тих, котрі створюються основним потоком. Збільшення витків чи струму в обмотці керування призводить до додаткової витрати міді та насичення сталі, зменшення повітряного зазору погіршує технологічність КДВГ. Найбільш ефективно можна впливати на конструктивні якості КДВГ за допомогою зміни форми полюсів виконавчого пристрою. Цей шлях вирішення проблеми утруднений особливостями математичного апарату для досліджень електромагнітних процесів у виконавчому пристрої. Відома конструкція КДВГ, де основний полюс дробиться на прямокутні підполюси. Добротність КДВГ' електромагнітного типу Q , виражену через відношення втрат за період коливань до коливальної енергії, можна записати наступним виразом:

$$Q = \frac{\pi \omega_{\text{во}} m}{p \tau^2 \gamma B^2 l}, \quad (2)$$

де $\omega_{\text{во}}$ – частота настроювання віброгасника; m – рухома маса КДВГ; p – число пар полюсів; τ – ширина; l – довжина полюса; B – індукція в повітряному зазорі; γ – питома електрична провідність магнітопроводу. Вираз (2) свідчить про неоднозначний вплив на добротність КДВГ дроблення полюсів його виконавчого пристрою. З одного боку, збільшення пар полюсів p приводить до зменшення добротності, з іншого – зменшення ширини полюса τ збільшує добротність. Для дослідження проблеми поліпшення динамічних характеристик виконавчого пристрою КДВГ автором використаний метод інтегральних рівнянь. Однак складність математичного апарату, на якому заснований метод, і нестійкість рішень інтегральних рівнянь змушують використовувати апріорну інформацію та модифікувати математичну модель. Метою розробки математичної моделі є розрахунок за її допомогою електромагнітного зусилля, що впливає на елемент границі рухомого магнітопроводу dl у напрямку нормальної складової магнітного поля H_n : $\vec{F} = \frac{\mu_0}{2} \int H_n^2 \vec{dl}$.

Проблему стійкості й одиничності розв'язання інтегральних рівнянь і збіжності послідовних наближень можна вирішити, використовуючи закон повного струму як апріорну інформацію. Напруженість магнітного поля всередині ненасиченого маї нітопроводу наближена до нуля, і вся енергія сконцентрована в зазорах. З урахуванням цього інтегральні рівняння для розрахунків

H_n будуть мати вигляд

$$\alpha(Q) - \frac{\lambda}{\pi} \int \alpha(p) \left[\frac{\partial}{\partial n_Q} \ln \frac{1}{r_{QP}} - \frac{C}{2\lambda} \right] dl_p = \mu_0 (2\lambda H_{\text{он}} + D), \quad (3)$$

$$\text{де } C = \int \frac{\partial}{\partial x} \ln \frac{1}{r_{MP}} dl_{MX} + \int \frac{\partial}{\partial y} \ln \frac{1}{r_{MP}} dl_{MY}; \quad D = \frac{1}{l} \left[IW - \left(\int H_{0x} dl_{MX} + \int H_{0y} dl_{MY} \right) \right];$$

I, W – струм і кількість витків обмотки керування КДВГ, що охоплені замкнутим контуром l . Інтегральне рівняння (3) дає стійке й однозначне рішення. Для його реалізації використовується відомий метод виключення Гаусса, що значно скорочує час розрахунків на відміну від методу послідовних наближень і SVD. Пропонований алгоритм дозволяє варіювати геометрією, особливостями матеріалів та іншими характеристиками, може замінити довгий і дорогий експеримент швидким розрахунком з використанням обчислювальної техніки різних варіантів

конструкцій. За допомогою розробленої обчислювальної програми були вперше досліджені силові характеристики виконавчого пристрою КДВГ.

На рис.3 показана залежність електромагнітних зусиль від переміщення магні-

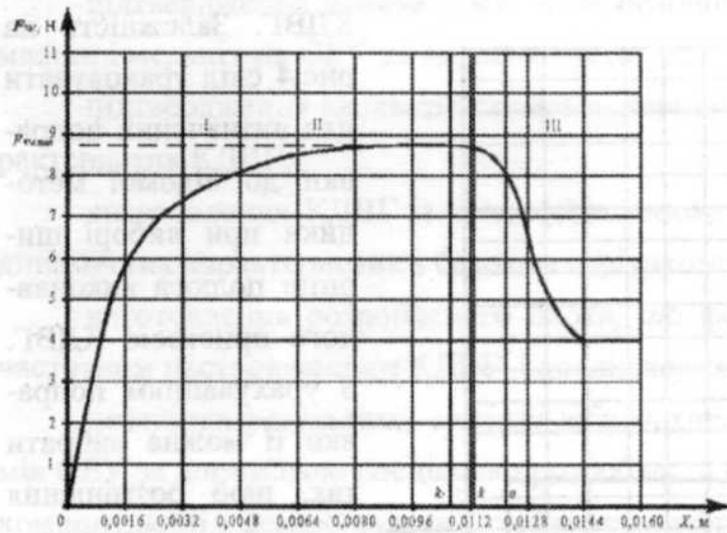


Рис.3. Тягова характеристика КДВГ

топроводів при сталості повітряного зазору. Вихідні дані для розрахунку: сила струму 1 А; кількість витків обмотки підмагнічування – 400; ширина полюса $a = 11$ мм; міжполюсна відстань $b = 45$ мм; повітряний зазор $c = 1$ мм; радіус рухомої частини КДВГ $d = 55$ мм; довжина полюсів 45 мм. Регулювання КДВГ, згідно з виразом (1), здійснюється за допомогою коефіцієнта електромагнітної жорсткості, що розраховується як $C_{em} = F_{em}/X_{max}$, де X_{max} – амплітуда коливань рухомої маси КДВГ, на яку він проектується; F_{em} – електромагнітні зусилля у виконавчому пристрої при зсуві рухомої частини на X_{max} ; C_{em} – коефіцієнт електромагнітної жорсткості. Враховуючи формулу (3), отриману для цих параметрів характеристику (див. рис.3) умовно можна розбити на три ділянки. Перша характеризує наростання її до вигину. Цю ділянку при розрахунку електромагнітної жорсткості можна лінеаризувати. Лінеаризована друга ділянка – це пряма, рівнобіжна осі OX до точки k . Третя – спад характеристики, що визначає від'ємну жорсткість. Уперше було встановлено, що F_{emmax} знаходиться при переміщенні полюсів на відстані k , яка відрі-

няється від висоти полюса. Оскільки висота полюса a вибирається в залежності від амплітуди коливань рухомої частини віброгасника, така розбіжність може викликати зниження ефективності віброгасника. Відзначена особливість викликає необхідність проведення дослідження й установлення закономірності розміщення екстремуму тягових характеристик виконавчого пристрою КДВГ по висоті полюса. Для цього необхідно визначити вплив параметрів виконавчого пристрою КДВГ (величин a , b , c , d) на розташування точки k по висоті полюса. Точка k_1 отримана в результаті експериментальних досліджень за допомогою спеціально розробленої установки. Конструкція цієї установки наведена в дисертаційній роботі. Розбіжність теоретичних та експериментальних результатів свідчить про придатність розробленої математичної моделі для інженерних розрахунків. На рис.4 у відносних одиницях показана залежність розташування точки k по висоті полюса від параметрів виконавчого пристрою

КДВГ. Залежність на рис.4 слід урахувати для визначення поправки до

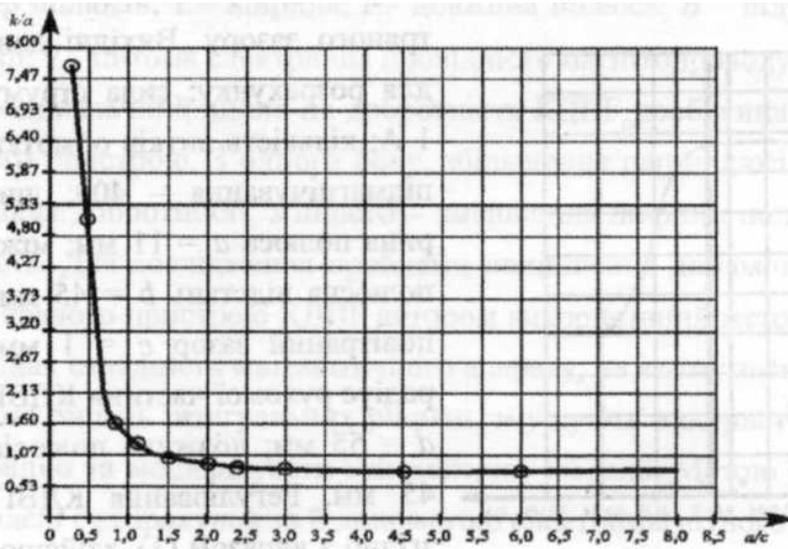


Рис.4. Залежність розгашування F_{max} від параметрів КДВГ

відомої методики при виборі ширини полюса виконавчого пристрою КДВГ. З урахуванням поправки її можна вибрати так, щоб розміщення точки k по висоті полюса дорівнювало амплітуді коливань рухомої маси КДВГ, на яку проектується віброгасник.

Результатом проведених досліджень є уточнення

відомої методики проектування КДВГ з питання вибору висоти полюса, а також спроєктований КДВГ із розширеним діапазоном регулювання. Підвищення ефективності розробленого КДВГ досягнуто завдяки трапецеїдальній формі полюсів і зменшенню їхньої кількості. У третьому розділі автором уперше запропоновано використовувати дискретні елементи в САУ КДВГ, зокрема однокристальні мікроЕОМ (ОМЕОМ). Застосування ОМЕОМ дозволяє не тільки виконати формування керуючого впливу в реальному масштабі часу з необхідною точністю, але й зменшити кількість елементів системи, що приводить до підвищення її надійності, а також надає можливість реалізації таких допоміжних функцій, як удосконалення програми, що завантажується в постійний запам'ятовуючий пристрій ОМЕОМ. Крім цього реалізація функцій введення дозволяє зробити систему більш універсальною завдяки можливості перебудови параметрів системи для роботи з різними виконавчими пристроями. У цьому розділі наведена розроблена принципова схема блока, що формує керуючий вплив у САУ, яка виконана на основі ОМЕОМ, а також алгоритм програми, записаної в постійний запам'ятовуючий пристрій мікроконтролера.

Четвертий розділ присвячений експериментальним дослідженням. У ньому за допомогою розробленої методики здійснений синтез віброзахисної системи експериментальної установки, а також показана ефективність обраної системи віброзахисту.

Вирішення цих задач проводиться в наступній послідовності:

- підтвердження адекватності математичної моделі розрахунку коливань машин і механізмів СЕУ на низьких частотах;
- підтвердження адекватності математичної моделі розрахунку тягових характеристик КДВГ;
- виготовлення КДВГ' із трапецеїдальними полюсами та порівняння його динамічних характеристик з базовим варіантом;

- виготовлення розробленого блока, що формує керуючий вплив у САУ частотним настроюванням КДВГ, і дослідження його характеристик;
- перевірка результатів синтезу віброзахисних структур машин і механізмів СЕУ за допомогою спеціально розробленої експериментальної установки в компонуванні з некерованими і керованими віброгасниками.

Результати синтезу віброзахисних структур машин і механізмів СЕУ, одержані в другому розділі, були втілені в експериментальну установку, спроектовану таким чином, щоб її ВАХ відповідала ВАХ машин і механізмів, які були проаналізовані в першому розділі. На рис. 5 зображена схема розташування датчиків в експериментальній установці з основною гармонікою вібрації приводного двигуна (ПД) - 50 Гц. У табл.3 наведені результати вимірів рівнів вертикальної вібрації (РВВ) експериментальної установки в однокаскадній системі (ОС) віброізоляції, у табл.4 - результати вимірів РВВ експериментальної установки в двокаскадній системі віброізоляції.

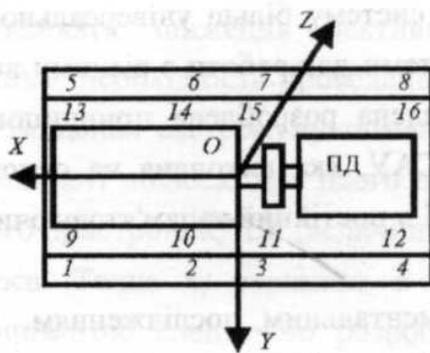


Рис.5.Схема розташування датчиків

Таблиця 3

Номер точки	РВВ в ОС віброізоляції, мкм				
	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5
	Гц				
	31,5	40	50	100	150
1	9	17	88	2	2
2	2	39	84	0,6	1
3	2	6	23	1	1
4	9	28	219	3	1
5	10	4	101	2	2
6	2	14	61	1	0,4
7	2	14	32	1	1
8	9	32	150	3	4

Таблиця 4

Номер точки	Рівні вібрації в двокаскадній системі віброізоляції, мкм										
	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	Номер точки	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5
	Гц						Гц				
31,5	40	50	100	150	31,5		40	50	100	150	
1	6	24	41	1	2	9	1	18	45	1	0,3
2	1	24	27	1	1	10	0,3	7	33	1	0,5
3	2	20	29	1	1	11	0,5	9	71	1	0,3
4	9	70	69	3	2	12	2	1,7	218	2	0,4
5	7	36	48	1	2	13	1	23	27	2	1
6	2	16	39	0,5	0,5	14	1	9	70	1	1
7	0,4	13	34	0,5	1	15	1	2	95	1	0,5
8	6	33	55	2	4	16	1	30	163	0,3	0,4

Результати теоретичних досліджень, одержані в дисертаційній роботі, дозволили розрахувати параметри віброзахисної системи експериментальної установки, спроектувати поліпшений КДВГ на основну гармоніку вібрації, здійснити синтез віброзахисної системи експериментальної установки з КДВГ. Частота обертання вала ПД регулюється зміною напруги. Результати вимірів вібропереміщень на частотах обертання вала ПД $f_1 = 2100$, $f_2 = 2400$ і $f_3 = 2850$ об/хв наведені в табл.5.

Таблиця 5

РВВ у віброзахисній системі з КДВГ							
Номер точки	f_1	f_2	f_3	Номер точки	f_1	f_2	f_3
	Гц				Гц		
	35	40	50		35	40	50
1	84	86	86	9	8,0	7,1	6,1
2	48	51	52	10	7,8	7,1	6,2
3	41	42	42	11	4,9	6,8	5,1
4	205	208	208	12	5,3	7,8	5,1
5	110	112	112	13	7,0	8,0	5,2
6	44	45	45	14	4,9	8,7	5,2
7	34	35	34	15	5,1	8,7	5,2
8	214	212	211	16	5,1	8,6	6,1

Аналіз результатів, наведених у табл.3–5, показав:

– використання КДВГ у системі віброзахисту експериментальної установки забезпечує приблизну рівність амплітуд на частоті настроювання у всіх точках, де встановлені віброгасники.

Порівняння розрахункових та

експериментальних результатів дозволяє зробити висновок про вірогідність теоретичних розробок. Виготовлення спроектованої САУ КДВГ та її випробування на експериментальних установках відзначають поліпшену ефективність віброгашення порівняно з базовим варіантом.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ І ВИСНОВКИ

Проведені в дисертаційній роботі дослідження з аналізу та синтезу віброзахисних систем машин і механізмів СЕУ з КДВГ відповідно до постановки задачі дозволили:

- проаналізувати динамічні явища, що відбуваються в коливальній системі, яка складається з віброуючого об'єкта і системи віброізоляції, при інерційному впливі керованих віброгасників на поверхні елементів, де вони закріплені;
- проаналізувати характеристики керованих динамічних віброгасників при зміні форми полюсів у їхньому виконавчому пристрої;
- розробити методику синтезу віброзахисних систем машин і механізмів СЕУ від низькочастотної вібрації;
- розробити керований динамічний віброгасник з поліпшеними масогабаритними і динамічними характеристиками;
- створити систему керування частотним настроюванням керованого динамічного віброгасника з використанням дискретних програмованих мікроконтролерів;
- удосконалити методику проектування виконавчого пристрою керованого динамічного віброгасника;

- розробити програмне забезпечення, за допомогою якого можливий вибір параметрів виконавчого пристрою керованого динамічного віброгасника;

- розробити програмне забезпечення, в основі якого лежить математична модель розрахунку коливань просторової динамічної структури з n -ступенями вільності. Це дозволяє здійснювати вибір параметрів системи віброзахисту машин і механізмів СЕУ від низькочастотної вібрації.

Дослідження систем віброзахисту машин і механізмів СЕУ дозволяють зробити наступні висновки:

- віброгасники, розташовані на проміжній платформі двокаскадної системи віброізоляції машин і механізмів СЕУ, здатні в 10-20 разів знизити рівень вібрацій, що передаються на фундамент;

- віброгасники, які мають один ступінь вільності, можна так розташувати на проміжній платформі двокаскадної системи віброізоляції машин і механізмів СЕУ, що при істотному зниженні рівня вібрації, переданої фундаментам уздовж однієї осі обраної системи координат, рівні вібрацій уздовж двох інших осей координат не будуть збільшуватися;

- введення в ядро інтегральних рівнянь закону повного струму при складанні їх для розподілу потенціалу простого шару вторинних джерел на границі розподілу середовищ дозволяє поліпшити збіжність рішень у розрахунку силових властивостей виконавчого пристрою керованого динамічного віброгасника;

- трапецеїдальна форма полюсів у виконавчому пристрої керованого динамічного віброгасника надає можливість на 70 % розширити його частотний діапазон чи при тому ж діапазоні зменшити масу і габарити.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ РОБІТ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Основні положення дисертації викладені в наступних роботах:

1. *Гуров А.П., Шарейко Д.Ю.* До питання розрахунку прорізних мембран в керованому динамічному віброгаснику // Науковий вісник МДПУ. - Миколаїв: МДПУ, 1999.-Вип.1. - С.135-138.

2. *Гуров А.П., Шарейко Д.Ю.* К вопросу расчета параметров виброзащитных систем энергетического оборудования // Сб. науч. тр. УГМТУ - Николаев: УГМТУ, 1999. -№ 4(364).- С.62-71.

3. *Гуров А.П., Шарейко Д.Ю.* Некоторые особенности проектирования исполнительного устройства управляемого виброгасителя электромагнитного типа // Проблемы создания новых машин и технологий. - Научные труды КГПИ, Кременчуг: 2000.-Вып.1(8).- С.257-261.

4. *Гуров А.П., Чудайкин И.И., Шарейко Д.Ю.* До питання підвищення стійкості рішень інтегральних рівнянь при розрахунках параметрів керованих динамічних віброгасників // Електромашинобудування та

електрообладнання: Респ. Міжвід. науково-техн. зб.-К.: Техніка, 2000. Вип.54.-С.39-12.

5.Гуров А.П., Чудайкін Шарейко Д.Ю. До питання розрахунку електромагнітних зусиль у польових задачах // 36. наук. пр. УДМТУ. - Миколаїв: УДМТУ, 2000. - № 4 (370). - С.141-146.

6.Гуров А.П., Шарейко Д.Ю. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з курсу «Вібротехнічні керовані системи», - Миколаїв: УДМТУ, 2001. -4.1.-32 с.

7.Гуров А.П., Шарейко Д.Ю. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з курсу «Основи вібротехніки».- Миколаїв: УДМТУ, 2001.-56 с.

8.Деюіараційний патент на винахід. Україна 38761 А, Керований динамічний віброгасник/ А.П.Гуров, Д.Ю.Шарейко, О. О. Черно, Д.Л.Кореневський; Опубл. 15.05.2001; Бюл. № 4.

9. Деклараційний патент на винахід. Україна 38798 А, Вібродвигун/ А.П.Гуров, Д.Ю.Шарейко, О.О.Черно, Д.Л.Кореневський; Опубл.15.05.2001;Бюл. № 4.

10.Деклараційний патент на винахід. Україна 40972 А, Керований динамічний віброгасник/ А.П. Гуров, Д.Ю.Шарейко, О.О.Черно, Д.Л.Кореневський, Ю.О.Алфьоров; Опубл. 15.08.2001; Бюл. № 7.

11.Деюіараційний патент на винахід. Україна 43235 А, Складений віброі-золятор/ А.П.Гуров, Д.Ю.Шарейко, О.О.Черно, Д.Л.Кореневський; Опубл. 15.11.2001; Бюл. №10.

12.Запорожец Ю.М., Кроль В.И., Шарейко Д.Ю. Математическая модель обнаружения и идентификации подводных ферромагнитных объектов // Электрооборудование судов: Сб. науч. тр. - Николаев: НКИ, 1992. - С.84-89.

13.Управление частотной настройкой управляемого динамического виброгасителя А.П.Гуров, Д.Ю.Шарейко, А.А.Черно, Д.Л.Кореневский II Вісник СНУ. - Луганськ: СНУ, 2002. -№ 1(47). -С.28-34.

14. А.Шарейко Д.Ю., Кореневский Д.Л. Исследование виброзащитных структур электромеханических и электроэнергетических установок // Проблемы создания новых машин и технологий.- Научные труды КГПУ, Кременчуг: КГПУ, 2001 .-Вып. 1 (10).-С .229-233.

15.Шарейко Д.Ю. Расчет тангенциальных усилий, создаваемых электромагнитным полем в управляемом динамическом виброгасителе // 36. наук. пр. УДМТУ. - Миколаїв: УДМТУ, 1999, - № 3. - С. 125 132.

16.Шарейко Д.Ю. Синтез віброзахисних структур // Фундаментальна і професійна підготовка вчителів з фізики: Матеріали VI Всеукр. Конф. - Миколаїв: МДПУ, 2001. - С.205-212.

Особистий внесок здобувача в роботах, опублікованих у співавторстві. У роботах, що опубліковані в співавторстві дисертанту належать такі результати:

- у статті [1] наведені розробка алгоритмів прикладних програм для розрахунку прорізних мембран у керованому динамічному віброгаснику, проведення чисельного експерименту і висновки;

- у роботах [2,3] приведена розробка математичних моделей для розрахунку параметрів віброзахисних систем енергетичного устаткування, параметрів керованих динамічних систем енергетичного устаткування, параметрів керованих динамічних віброгасників, розробка алгоритмів додаткових програм, результати проведення чисельного експерименту і висновки;

- у роботах [4,5] - розробка методики поліпшення стійкості рішень інтегральних рівнянь для розрахунку силових взаємодій у виконавчому пристрої керованого динамічного віброгасника, розробка пакета прикладних програм, проведення чисельного експерименту і висновки;

- у [6] розроблені лабораторні роботи № 2-4,

- у [7] - лабораторні роботи № 3-6.

- у роботі [12] - розробка методики розширення сітки електромагнітних вимірів для пошуку феромагнітних аномалій, розробка пакета прикладних програм, проведення чисельного експерименту і висновки;

- у статті [13] - розробка математичної моделі для розрахунку сили струму в обмотці виконавчого пристрою керованого динамічного віброгасника й алгоритмів програм для мікроконтролера;

- у етапі [14] наведені постановка задачі досліджень, розробка експериментальної установки для дослідження динамічних явищ, що відбуваються в коливальній системі, що складається з віброуючого об'єкта і системи віброізоляції, при інерційному впливі керованих віброгасників на поверхні елементів, де вони закріплені, обробка результатів і висновки.

При підготовці заяв на винахід:

- у [8,9,11] здобувач здійснював розробку математичної моделі для розрахунку розмірів полюсів у виконавчому пристрої керованого динамічного віброгасника, розраховував параметри винаходів, підготовляв і проводив експеримент, підготовляв ескізні креслення;

- у [10,11] розробляв математичні моделі для розрахунків коливань у складних динамічних структурах, розраховував параметри винаходів, підготовляв ескізні креслення.

АНОТАЦІЇ

Шарейко Д.Ю. Синтез віброзахисних систем суднових енергетичних установок з керованими динамічними віброгасниками.
- Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.08.05 - Суднові енергетичні установки. - Український державний морський технічний університет, Миколаїв 2002.

У дисертації запропоновано нові методи розрахунку параметрів віброзахисних систем допоміжного енергетичного устаткування СЕУ з керованими динамічними віброгасниками.

Ця методика ґрунтується на теорії пружних деформацій, частотних методах, методах матричного числення, а також методах інтегральних рівнянь.

Одержані результати теоретичних і практичних досліджень аргументовано доводять адекватність розроблених математичних моделей, а також значну перевагу запропонованих методів над традиційними.

Розроблена методика проектування полюсів у виконавчому пристрої КДВГ дозволяє виготовити віброгасник з розширеним діапазоном регулювання, що підтверджено експериментом. Використання програмованих мікроконтролерів у САУ частотним настроюванням КДВГ дозволяє поліпшити динамічні і масогабаритні характеристики САУ КДВГ.

Ключові слова: динамічна структура, система віброзахисту устаткування, просторова математична модель, матриця коефіцієнтів жорсткостей, розташування віброгасників, кількість віброгасників, трапецеїдальна форма полюсів, коефіцієнт електромагнітної жорсткості, керований динамічний віброгасник, виконавчий пристрій.

Шарейко Д.Ю. Синтез виброзащитных систем судовых энергетических установок с управляемыми динамическими виброгасителями. - Рукопись.

Диссертация на получение научной степени кандидата технических наук по специальности 05.08.05 - Судовые энергетические установки. - Украинский государственный морской технический университет, Николаев 2002.

В диссертации рассмотрена проблема синтеза виброзащитных систем судовых энергетических установок с использованием в виброзащитной структуре управляемых динамических виброгасителей.

Предложены новые методы расчета параметров виброзащитных систем вспомогательного энергетического оборудования СЭУ с управляемыми динамическими виброгасителями. Эти методы основаны на теории упругих деформаций, частотных методах, методах матричного исчисления, а также методах интегральных уравнений. В общем случае порядок системы дифференциальных уравнений – $6n \times 6n$, где n - количество объектов в динамической структуре.

Предложены новые методики формирования матриц коэффициентов в дифференциальных уравнениях, описывающих колебания динамической структуры с n -степенями свободы. Предложенная методология позволила свести задачу составления дифференциальных уравнений для виброзащитной структуры с виброгасителями к проблеме формирования матриц коэффициентов жесткостей и вязких сопротивлений и решить задачу выбора количества виброгасителей и мест их креплений в системе виброзащиты машин и механизмов. Разработанная методика облегчит использование вычислительной техники для анализа и синтеза виброзащитных систем машин и механизмов.

Впервые проведено детальное исследование влияния количества виброгасителей и мест их креплений в структуре виброзащиты машин и механизмов на эффективность виброзащитной системы.

Предложено для формирования векторов сил и моментов при расчете колебаний машин и механизмов в системе виброзащиты использовать эмпирический подход. Обработка результатов измерений проводится с учетом разделений колебаний по предлагаемой методике.

Разработан оригинальный способ улучшения сходимости интегральных уравнений, составленных для распределения потенциала простого слоя, вводом в ядро этих уравнений закона полного тока, что позволит точнее анализировать силовые взаимодействия в исполнительном устройстве управляемого динамического виброгасителя.

Впервые проведено детальное исследование электромагнитных процессов в исполнительном устройстве управляемого динамического виброгасителя, что позволило уточнить методику его проектирования, а также разработать оригинальный виброгаситель с улучшенными характеристиками. Это подтверждено декларационными патентами на изобретения. Предложено в системе управления УДВГ применять дискретные программируемые микроконтроллеры, что позволит реализовать идеальный интегратор, возможность группового управления, а также улучшить температурную стабильность САУ, надежность и долговечность. Применение программируемых микроконтроллеров позволит изменять алгоритм управления САУ в зависимости от количества и мощности исполнительных устройств.

Представлены результаты исследований динамических явлений, которые происходят в колебательной системе, состоящей из вибрирующего объекта и системы виброизоляции, при инерционном воздействии управляемых виброгасителей на поверхности элементов, где они закреплены. Показано, что виброгасители с одной степенью свободы можно так расположить на объекте защиты, что при подавлении вибрации в одном направлении уровни вибраций вдоль других направлений не ухудшатся.

Полученные результаты теоретических исследований подтверждены при помощи натурального эксперимента и на специально разработанной экспериментальной установке. Это аргументировано доказывает адекватность разработанных математических моделей, а также значительное преимущество предложенных методов над традиционными.

Разработанная методика проектирования полюсов в исполнительном устройстве УДВГ позволила создать оригинальный виброгаситель с расширенным диапазоном регулирования, что подтверждено экспериментом. Использование программируемых микроконтроллеров в САУ частотной настройкой УДВГ позволяет улучшить динамические и массогабаритные характеристики САУ УДВГ.

Ключевые слова: *динамическая структура, система виброзащиты установок, пространственная математическая модель, матрица коэффициентов жесткостей, расположение виброгасителей, количество*

виброгасителей, трапецеидальная форма полюсов, коэффициент электромагнитной жесткости, управляемый динамический виброгаситель, исполнительное устройство.

Shareyko D. Y. Synthes of vibroprotective systems of ship power installations with controlled dynamic vibroextinguishers. -Manuscript.

The dissertation for candidate's degree on a speciality 05.08.05 - Ship power installations. -Ukrainian state sea technical university, Nikolaev 2002.

In the dissertation new methods of calculation of vibroprotective systems parameters ship power installations auxiliary power equipment with controlled dynamic vibroextinguishers are offered.

These methods are based on the theory of elastic deformations, on frequency methods, methods of matrix calculation, and also methods of the integrated equations.

The received results of theoretical and practical researches proved adequacy of the developed mathematical models, and also significant advantage of offered methods over traditional.

The developed technique of designing of poles in executive device of controlled dynamic vibroextinguishers allowed to create a vibroextinguisher with the expanded range of regulation that was confirmed with experiment. Use of programmed microcontrollers in automatic control system frequency adjustment of controlled dynamic vibroextinguishers allows to improve dynamic, mass and measure characteristics of automatic control system with controlled dynamic vibroextinguishers.

Key words: dynamic structure, system of installations vibroprotection, spatial mathematical model, a matrix of hardness factors, an arrangement of vibroextinguishers, quantity(amount) of vibroextinguishers, the trapezoidal form of poles, factor of the electromagnetic rigidity, controlled dynamic vibroextinguisher, the executive device.