Національна Академія Наук України

Інститут проблем машинобудування

На правах рукопису

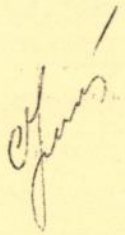
Уманський Сергій Леонідович

Електродинамічне збудження різнополярних ударів, що повторюються

05. 02. 09 - Динаміка, міцність машин, приладів та апаратури

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук



Харків - 1996

Дисертацією є рукопис

Робота виконана у відділі надійності і вібраційних випробувань у швидкісних машинах Інституту проблем машинобудування Національної АН України

Науковий керівник — член-кореспондент НАН України, доктор технічних наук, професор Божко Олександр Євгенович

Офіційні опоненти: — доктор технічних наук, провідний науковий співробітник Янютін Євген Григорович; кандидат технічних наук, доцент Пушня Валентин Олександрович

Провідна організація: — державне підприємство "Завод ФЭД" Міністерства машинобудування та конверсії України (м. Харків)

Захист відбудеться "12" вересня 1996 р. о 14 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 02.18.01 в Інституті проблем машинобудування НАН України в аудиторії № 1112 (XI поверх) за адресою: 310046, Харків, вул. Пожарського, 2/10.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Інституту проблем машинобудування НАН України за адресою: 310046, Харків, вул. Пожарського, 2/10.

Автореферат розісланий "19" липня 1996 р.

Вчений секретар спеціалізованої вченої ради, канд. технічних наук — Зайцев Б.П.

ЛННБ України ім.В.Стефаника
00752247 (R)

Б ім. В. Стефаника
АН України

Загальна характеристика роботи

Однією з актуальних задач, які стоять перед розробниками технічних засобів і конструкцій, що мають високоякісні характеристики, є підвищення їх надійності й довговічності. Вирішення вказаної задачі неможливо без проведення різноманітних випробувань на складні механічні впливи, найважливішими серед яких є випробування на ударні навантаження. Існуючі методи випробувань призначені для відтворення простих форм ударних навантажень, що є ідеалізованою моделлю ударних та віброударних процессів, які найчастіше супроводжуються різнополярними інтенсивними короткочасними впливами з великою частотою проходження. При цьому у виробі неминуче накоплення втомних пошкоджень.

Існуючі технічні рішення, дослідження та розроблені промислові зразки ударних установок для відтворення одноразових та багаторазових ударних навантажень підтвердили доцільність застосування для цієї мети електродинамічних віброзбуджувачів (ЕДВ), бо такі установки універсальні та мають широкий частотний діапазон порівнянно з механічними стендами. Однак покладені в їх основу спектральні методи формування ударних навантажень на практиці відрізняються відносною складністю, а амплітуда та міцність відтворення імпульсу обмежуються незначним діапазоном переміщення рухомої частини ЕДВ. Недостатньо ефективні методи гасіння ударної швидкості обмежують частоту проходження ударів.

Тому задача розробки моделей та методів відтворення механічних ударів, які еквівалентні реальним експлуатаційним та розробка простих систем з ЕДВ з розширеними функціональними можливостями є актуальною задачею.

Питанням розробки систем і пристроїв для дослідження ударної міцності та теорії віброударних систем присвячено багато робіт вітчизняних та іноземних вчених, зокрема П.М. Алабужева, О.Д. Алімова, В.І. Бабицького, П.М. Батуєва, О.Є. Божка, Я.А. Віби, В.В. Клюєва, А.Ю. Кобринського, А.А. Кобринського, В.М. Ковальського, Я.Г. Пановка, В.С. Пеллинця, В.П. Рагульскене, Н.П. Ряшенцева, В.І. Суріна, Я.С. Урецького, В.П. Шпачука, И.И. Крида, А. Ленка, С.М. Харріса та ін.

Однак проблеми, зв'язані з розробкою віброударних систем на основі ЕДВ зараз практично не досліджені.

Роботу виконано автором у 1993 - 1995 рр. у відповідності до наукового напряму відділу надійності та вібраційних випробувань швидкісних машин ІПМАШ НАН України та зв'язана з такими роботами по д/б темі " Розробка методів і систем резонансних вібровипробувань, вібраційного контролю технологічного стану елементів енергетичних машин та пристроїв" (Д.Р. N 010017872) і г.д. темою "Оцінка залишкової надійності привідних ланцюгів 2ПР-50,8-45360 редукторів ескалаторів типу ЕТ-5 (Д.Р. N 195Е015124).

Мета роботи - розробка способів формування й відтворення однополярних та різнополярних багаторазових ударних навантажень на ЕДВ при випробуваннях об'єктів машинобудування та приладобудування на механічні навантаження, які дозволяють здійснювати імітацію реальних віброударних процесів, проведення прискорених випробувань, покращити відтворення ударних навантажень.

Для досягнення цієї мети у дисертації були поставлені такі задачі:

- розробка ефективних способів збудження ударних навантажень, які дозволяють підвищити частоту їх проходження на ЕДВ;

- розробка системи керування відтворенням різнополярних багаторазових ударів по еталонних моделях;

- розробка системи керування відтворенням імпульсних навантажень, які дозволяють підвищити точність відтворення;

- розробка способів та системи електродинамічного збудження різнополярних ударів підвищеної міцності за допомогою упорів-обмежувачів.

Методи дослідження. Для вирішення поставлених у дисертації задач використано методи теорії механічних коливань та удару, теорії автоматичного керування, теоретичної механіки, методи оптимізації, теорії статистики, методи інженерних досліджень. Розробка обчислювальних алгоритмів та їх програмна реалізація проводилися на ПЕОМ IBM PC/AT - 286 у середовищі операційної системи MS-DOS 5.0 з використанням мови програмування TURBO-BASIC.

Наукова новизна дисертації полягає в ось чому:

1. Запропоновано методи формування та відтворення ударних імпульсів з аперіодичним гасінням кінцевої швидкості удару з обмеженням післяударного руху.

2. Розроблена й досліджена електродинамічна система відтворення різнополярних імпульсних навантажень із заданими динамічними властивостями по моделі удару методом обернених задач динаміки.

3. Синтезовано алгоритм керування та структурні схеми системи електродинамічного відтворення удару з адаптивними властивостями для одномасової та двомасової моделі ЕДВ.

4. Розроблено систему відтворення різнополярних ударів, що повторіються за допомогою упорів - обмежувачів з вибором оптимальних параметрів упорів та геометричних розмірів системи за критерієм найбільшого ударного імпульсу.

Теоретична цінність роботи полягає в розробці моделей та способу динамічної оптимізації систем відтворення механічних навантажень відповідно до критерію найменшої помилки прискорення та параметричної оптимізації систем відповідно до критерію найбільшого ударного імпульсу.

Практична цінність роботи полягає у тому, що системи відтворення, побудовані на запропонованих принципах, дозволяють виключати іспитові випробування та одержувати ударні імпульси підвищеної міцності та шпаруватості, відрізняються простою технічною реалізацією.

Впровадження результатів роботи. Розроблена методика та система діагностики експериментальної перевірки спрацювання внутрішних поверхонь елементів привідних ланцюгів методом ударного навантаження, яка була впроваджена у Харківському метрополітені у 1995 р., що дозволяє продовжити строки експлуатації привідних ланцюгів (не менш 5 років).

Апробація роботи. Основні результати дисертації доповідалися на засіданні НТПС "Проблеми вібраційної техніки, технології та надійності" ІПМАШ НАН України (Харків, 1994 р.), XI міжнародному симпозіумі по динаміці віброударних систем (Москва, 1995 р.).

Публікації. По темі дисертації опубліковано 3 наукових праці, у тому числі 2 статті, 1 тези доповідей.

Особистий вклад здобувача полягає в ось чому:

Основні результати, викладені в дисертації, отримані автором особисто. Здобувачем розроблено метод гасіння кінцевої ударної

швидкості, система керування електродинамічним ударним стендом з мінімізацією помилки відтворення, алгоритми та програми дослідження динамічних властивостей системи, моделювання та оптимізація віброударного режиму збудження різнополярних імпульсів.

Внесок здобувача в роботах з співавторами:

- в роботі [1] автором розроблено спосіб формування віброударного режиму відтворення, отримані співвідношення для розрахунку оптимальних параметрів, синтезовано керуючі впливи.
- в роботі [3] запропоновано конструкцію електродинамічної віброударної установки з пружними обмежувачами.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота містить вступ, 5 розділів, висновок, бібліографію з 113 найменувань, 123 сторінки друкованого тексту, 55 рисунків, 8 таблиць, всього 190 сторінок.

Основний зміст дисертації.

Упершому розділі наведено огляд та критичний аналіз праць, присвячених проблемі випробувань виробів на ударні навантаження за допомогою ЕДВ. Результати, які одержано у цих працях, дозволяють вирішувати задачі організації та проведення випробувань виробів на удар, розробки методик, технічних засобів та систем і методів аналізу ударних випробувань.

Розглянуті існуючі нормативні документи, в котрих регламентовані основні вимоги до розробки стандартної методики випробувань на багаторазовий удар по величині найбільшого ударного прискорення, тривалості ударного імпульсу, загальній кількості ударів в кожному з напрямків впливу. Як основні рекомендується використовувати напівсинусоїдальну, трикутну та трапецоїдальну форми імпульсу, а частота проходження

вибирається такою, щоб у проміжку між ударами було забезпечено повне затухання коливань.

Розглянуті основні типи ударних установок, побудованих на основі ЕДВ, у котрих формування ударного імпульсу виконується на принципі спектрального розкладу сигналів: за способом передавальних функцій та за способом амплітуд елементарних сигналів. Основним недоліком цих конструкцій є підвищена складність корекцій нерівномірності АЧХ віброзбуджувача. Ударні установки, у котрих джерелом енергії є заряджена батарея конденсаторів, дозволяють отримувати ударний імпульс підвищеної міцності, а гасіння післяударних коливань здійснюється за допомогою зворотних зв'язків по швидкості, переміщенню або змішаним способом, що не дозволяє оптимальним способом здійснювати заспокоєння рухомої системи стенду. З викладеного визначено основні задачі, які приводяться до розробки моделей, способі та засобів, що дозволяють підвищити частоту проходження ударів підвищеної точності та міцності при відтворенні їх на ЕДВ.

У другому розділі розглянуті основні характеристики ударних навантажень і проведено їх класифікацію та систематізацію. Як визначальні ознаки прийнято: характер зовнішних впливів (силовий, кінематичний), напрям дії удару (однополярний, різнополярний), частота повторювання (одноразовий, багаторазовий), форма ударних навантажень (проста, складна), тип удару в залежності від властивостей співударних тіл (пружний, пружнопластичний, пластичний), форми ударного імпульсу (імпульсний, безімпульсний). Наведено приклади ударних впливів в природі та техниці (табл. 1). Виявлено, що у зв'язку зі складністю відтворення ударів по критерію подібності напружень, виникаючих в зоні контакту співударних тіл, відтворення удару можливо здійснювати у відповідності до критеріїв подібності перевантажень.

КЛАСИФІКАЦІЯ УДАРНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Табл. 1

характер зовнішнього впливу	напрям дії	частота повторення	Від властивостей тіл, що співударяються	ФОРМА УДАРНОГО НАВАНТАЖЕННЯ		ПРИКЛАДИ УДАРНИХ ВПЛИВІВ В ПРИРОДІ ТА ТЕХНІЦІ
				проста (модельна)	складна (реальна)	
СИЛОВИЙ	однополярний	одноразовий	Пружний	Синусоїдальна, пилоподібна, трапецеїдальна, експоненціальна, лінійноекспоненціальна та ін.	проста з накладенням вібрації	Соударяння тіл с різними властивостями
		багаторазовий			віброударний процес	Удари при штамповці, пресуванні, здавлюванні
	різнополярний	одноразовий	Пружно-пластичний		проста з накладенням вібрації	-
		багаторазовий	Пластичний		віброударний процес	Удари у струшувальних вібромашинах, кинематичних парах механізмів
КІНЕМАТИЧНИЙ	однополярний	одноразовий	імпульс ударної дії		швидкісний	Удари при падінні та перевертанні
		багаторазовий	імпульсний			Удари при перевезенні колесним транспортом
	різнополярний	одноразовий чи багаторазовий	безімпульсний		вибуховий	Підводний вибух, сейсмичний вплив, вібраційний вплив
					затухаючий перехідний процес	Наслідок взаємодії (реакції) або ударний спектр від імпульсного навантаження

$$\frac{\alpha}{\alpha_{max}} = const \qquad (1)$$

де: α_{max} - максимальна величина місцевої деформації α. З узагальненого рівняння пружнопластичного удару

$$\frac{d\,v}{d\,t} = \frac{d^2\alpha}{d\,t^2} = -\frac{1}{\mathrm{M}}\mathrm{P}(\alpha) \qquad (2)$$

де: v - швидкість руху центрів інерції, $\mathrm{M} = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2}$ – наведена маса співударних тіл, а залежність сили удару $\mathrm{P}(\alpha)$ на підставі гіпотези про залежність місцевого вминання від контактного зусилля має вигляд $\alpha = b_1 \mathrm{P}^n$, отримані вирази значення ударної сили та виникаючих при ударі прискорень для тіл, які мають лінійну та нелінійну характеристики пластичних деформацій.

Для лінійної деформації (n=1)

$$\mathrm{P}(t) = v_0\sqrt{\frac{\mathrm{M}}{b}}\sin\frac{1}{\sqrt{\mathrm{M}\,b}}t\,,$$

$$\frac{d^2x_1}{d\,t^2} = -\frac{1}{m_1}\mathrm{P} = -\frac{v_0}{m_1}\sqrt{\frac{\mathrm{M}}{b}}\sin\frac{1}{\sqrt{\mathrm{M}b}}t\,, \qquad (3)$$

$$\frac{d^2x_2}{d\,t^2} = -\frac{1}{m_2}\mathrm{P} = -\frac{v_0}{m_2}\sqrt{\frac{\mathrm{M}}{b}}\sin\frac{1}{\sqrt{\mathrm{M}b}}t\,.$$

Для нелінійної деформації (n=1/3)

$$\mathrm{P}(t) = \sqrt[4]{\frac{4\mathrm{M}v_0^2}{2b}}ch\left[\frac{v_0\left(\frac{\pi}{2}\mathrm{M}b - t\right)\sqrt{2}}{\sqrt{\mathrm{M}\,v_0^2 b^3}}\right], \qquad (4)$$

де: v_0 - швидкість при співударянні.

Наведено аналіз моделі пружнопластичного удару стержневих елементів конструкцій, які враховують хвильові явища зони контакту співударних поверхонь. Прискорення вільного кінця

контакту співударних поверхонь. Прискорення вільного кінця стежня в межах його переднього фронту являє собою сукупність синусоїди та пилоподібного напруження з періодом $T = \frac{2l}{c}$

де: l - довжина стержня , с - швидкість разповсюдження хвилі.

Розглянуті дискретні моделі удару абсолютно твердого тіла по обмежувачу з пружнов'язкими та в'язкопружніми властивостями.

Сила стиску останього визначається так:

$$P(t) = \frac{m\, v_0 w}{\sqrt{1-\alpha^2}} e^{-\alpha w t} \sin\left(\sqrt{1-\alpha^2}\, wt\right), \tag{5}$$

де: $w = \sqrt{\frac{c}{m}}; \alpha = \frac{b}{2\sqrt{cm}}$; c, b -коефіцієнти жорсткости та в'язкого тертя.

Величина ударного імпульсу з урахуванням (5)

$$S = \int_0^{\tau_y} P(t)dt = m\, v_0\left(e^{\frac{\alpha\pi}{\sqrt{1-\alpha^2}}}+1\right), \tag{6}$$

де: $\tau_y = \frac{\pi}{w\sqrt{1-\alpha^2}}$ - тривалість удару. Графік функції $\frac{S}{m\, v_0} = F(a)$ наведено на рис.1. Найбільше значення ударного імпульсу досягається при коефіцієнті в'язкості $b \to 0$, що відповідає моделі удару по повністю пружний обмежувач.

У третьому розділі розроблено математичні моделі та принципи побудови систем електродинамічного програмного відтворення одноразових та багаторазових ударних навантажень. Отримані моделі формування удару з гасінням кінцевої ударної швидкості за найменший час з урахуванням обмежень на післяударне прискорення: $|\ddot{x}(t)| \le \delta A$

$$x(t) = x_{\tau_1} + \dot{x}_{\tau_1}(t-\tau_1) - \frac{\delta A}{2}(t-\tau_1)^2; \quad \tau_1 \le t \le \tau_3 \tag{7}$$

$$x(t) = \frac{\dot{x}\,\tau_2}{2} - \left[\dot{x}_{\tau_3}(t-\tau_3) - \frac{\delta A}{2}(t-\tau_3)^2\right]; \quad \tau_3 \le t \le \tau_4.$$

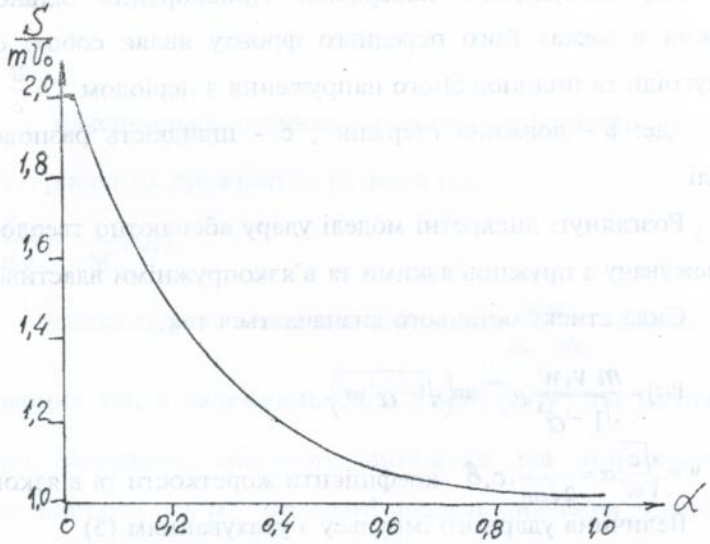

S/mV₀
2,0
1,8
1,6
1,4
1,2
1,0
0
0,2
0,4
0,6
0,8
1,0
α

Рис. 1

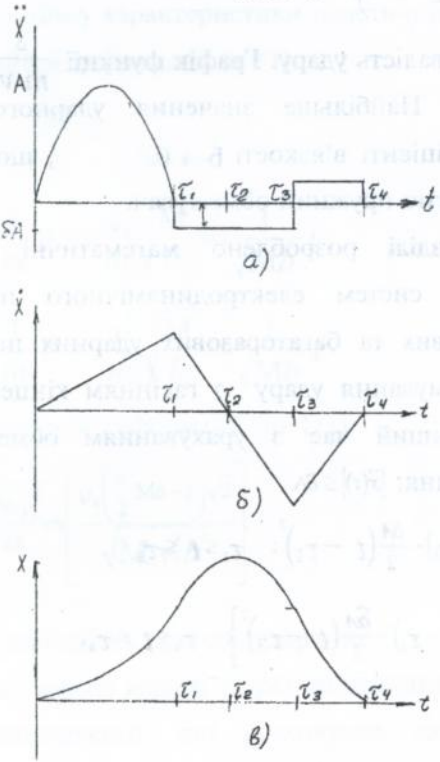

ẍ
A
-2A
τ₁
τ₂
τ₃
τ₄
t
а)
ẋ
τ₁
τ₂
τ₃
τ₄
t
б)
x
τ₁
τ₂
τ₃
τ₄
t
в)

Рис. 2

де: $\dot{x}_{\tau_1}$, x_{τ_1} - відповідно кінцева швидкість та переміщення ударного імпульсу, А - найбільше прискорення ударного імпульсу. Графіки прискорення, швидкості та переміщення наведено на рис.2. Отримані розрахункові значення часу на кожному з інтервалів руху та повний час ударного циклу.

$$\tau_4 = \tau_1 + \frac{1}{\delta A}\left[x_{\tau_1} + 2\sqrt{\delta\, A\, x_{\tau_1} + 0{,}5\dot{x}_{\tau_1}^2}\right]. \qquad (8)$$

Методом обернених задач динаміки синтезовано алгоритм керування та структурну схему системи відтворення удару по моделі ЕДВ і моделі удару у вигляді диференціального рівняння за допомогою зворотних зв язків по фазових координатах системи

$$u(x,\dot{x},\ddot{x},t) = \frac{1}{b_0}\left[\beta g(t) + \sum_{n=0}^{2}(a_n - \alpha_n)x^{(n)}\right]. \qquad (9)$$

де: $u(x,\dot{x},\ddot{x},t)$ напруга на рухомій катушці ЕДВ, a_n, α_n коефіцієнти диференціальних рівнянь моделі ЕДВ та моделі удару, β - амплітуда сигналу задання g(t) у вигляді ступінчатої функції часу. Розроблена система відтворення різнополярних ударів, що повторюються з оптимальним гасінням у відповідності до рис.2. Блок - схема системи наведена на рис. 3, де: УМ - підсилювач міцності, ВП - віброперетворювач, ИН1-ИН2 - інтегратори, УС - підсилювач - суматор, R1-R5 - резистори, що забезпечують формування коефіцієнтів підсилення сигналів зворотних зв'язків по фазових координатах, R6, R7 - резистори, які забезпечують рівень ступінчатого сигналу задання позитивної-негативної полярності. Система забезпечує відтворення кожного ударного імпульсу з періодом (8). Дослідження структурної схеми замкнутої системи на параметричну чутливість, де за комплексні параметри

прийняті коефіцієнти диференціального рівняння моделі ЕДВ, a_0, a_1, a_2 виконувалось за допомогою функцій чутливості $U_j = L^{-1}\left[\frac{\partial w}{\partial aj} G\right]$

$$U_{a_0} = \frac{A}{\pi^3}\tau_1^3\left(1-\cos\frac{\pi}{\tau_1}t-\frac{\pi}{2\tau_1}t-\frac{\pi}{2\tau_1}\sin\frac{\pi}{\tau_1}t\right),$$

$$U_{a_1} = \frac{A}{2\pi^2}\tau_1^3\left(\sin\frac{\pi}{\tau_1}t-\frac{\pi}{2\tau_1}t\cos\frac{\pi}{\tau_1}t\right), \qquad (10)$$

$$U_{a_2} = \frac{\tau_1}{2\pi A}t\sin\frac{\pi}{\tau_1}t.$$

Графіки функцій чутливості , пов язані з виходом системи відтворення напівсинусоїдальної форми, наведено на рис. 4.

У четвертому розділі вирішується задача підвищення точності ударного імпульсу. Синтез замкнутої системи відтворення для одномасової моделі ЕДВ з визначенням оптимального закону керування здійснюється за критерієм

$$G = \left(\ddot{x}^* - \ddot{x}\right)^2 = \min, \qquad (11)$$

де: $\ddot{x}$, $\ddot{x}^*$ - вимірюване (дійсне) та задане (еталонне) прискорення ударного імпульсу. Синтез оптимального керування виконано по принципу керування силою та напругою у відповідності до градиєнтного методу руху в напряму екстремуму (мінімуму). Для керування за принципом напруги

$$\frac{du}{dt} = \lambda\frac{\partial G}{\partial u}. \qquad (12)$$

З (11), (12) закон формування керуючої напруги на рухомій котушці ЕДВ

$$\frac{du}{dt} = K\left(\ddot{x}^* - \ddot{x}\right), \qquad (13)$$

де: K - коефіцієнт підсилення в контурі старшої похідної. Структурна схема оптимальної системи відтворення з законом

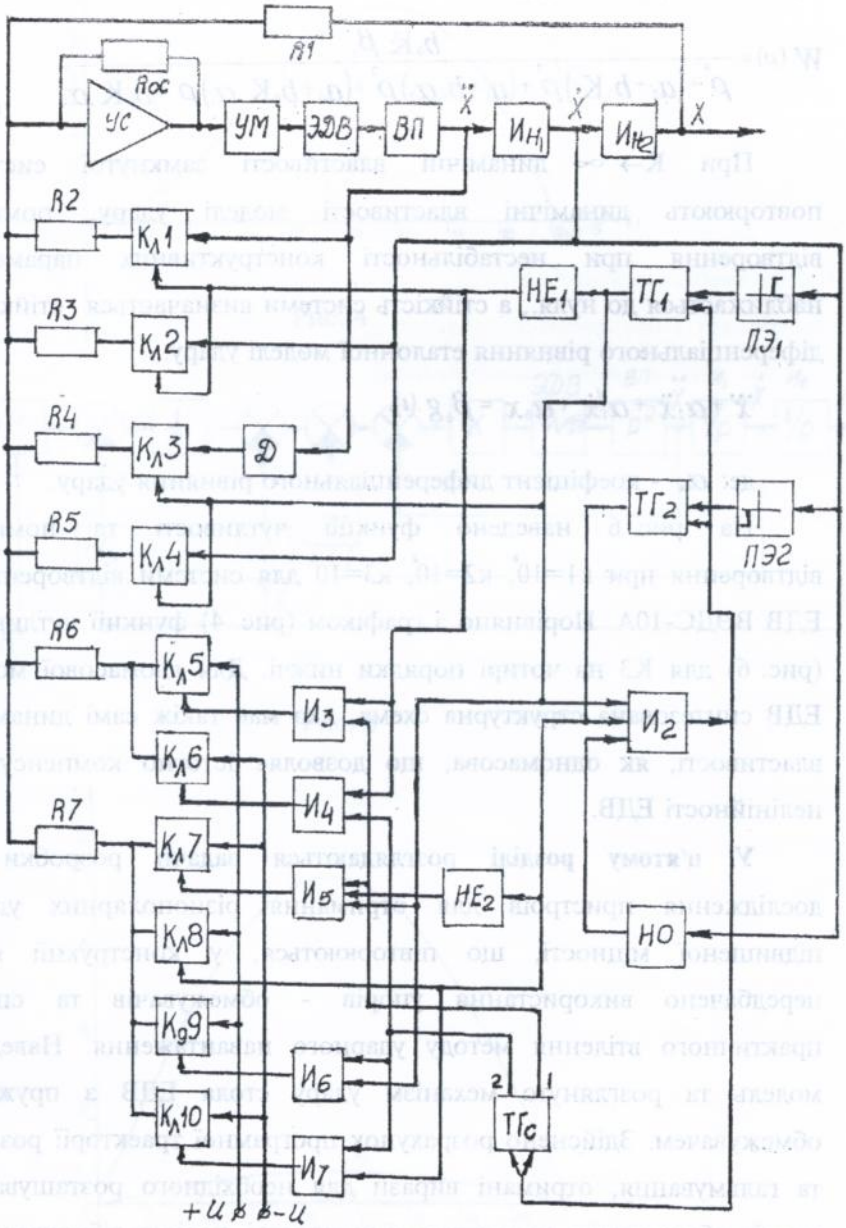

R1
Rос
УС
УМ
ЭДВ
ВП
Ẍ
Ин1
Ẋ
Ин2
X
R2
Кл1
R3
Кл2
R4
Кл3
Д
R5
Кл4
R6
Кл5
Кл6
R7
Кл7
Кл8
Кл9
Кл10
НЕ1
ТГ1
Г
ПЭ1
ТГ2
ПЭ2
И3
И4
И5
И6
И7
И2
НЕ2
НО
2
1
ТГс
+U
0
-U

Рис. 3

керування (13) наведена на рис. 5. Передавальна функція по переміщенню стола ЕДВ

$$W(\rho)=\frac{b_0 K\,\beta_0}{\rho^4+(a_2+b_0 K)\rho^3+(a_1+b_0\alpha_2)\rho^2+(a_0+b_0 K\,\alpha_1)\rho+b_0 K\,\alpha_0}. \qquad (14)$$

При $K\to\infty$ динамічні властивості замкнутої системи повторюють динамічні властивості моделі удару, помилка відтворення при нестабільності конструктивних параметрів наближається до нуля., а стійкість системи визначається стійкістю диференціального рівняння еталонної моделі удару.

$$\dddot{x}+\alpha_2\ddot{x}+\alpha_1\dot{x}+\alpha_0 x=\beta_0 g(t), \qquad (15)$$

де: α_n - коефіцієнт диференціального рівняння удару.

На рис. 6 наведено функції чутливості та помилки відтворення при к1=10^6, к2=10^7, к3=10^8 для системи відтворення з ЕДВ ВЭДС-10А. Порівняно з графіком (рис. 4) функції чутливості (рис. 6) для К3 на чотирі порядки нижчі. Для двомасової моделі ЕДВ синтезована структурна схема, яка має такіж самі динамічні властивості, як одномасова, що дозволяє істотно компенсувати нелінійності ЕДВ.

У п'ятому розділі розглядаються задачи розробки та дослідження пристроїв для отримання різнополярних ударів підвищеної міцності, що півторюються, у конструкції яких передбачено використання упорів - обмежувачів та спосіб практичного втілення методу ударного навантаження. Наведена модель та розглянуто механізм удару стола ЕДВ з пружним обмежувачем. Здійснено розрахунок програмної траєкторії розгону та гальмування, отримані вирази для необхідного розташування упорів-обмежувачів, передударної швидкості, періоду віброударного руху та найбільш можливої аплітуди ударного прискорення

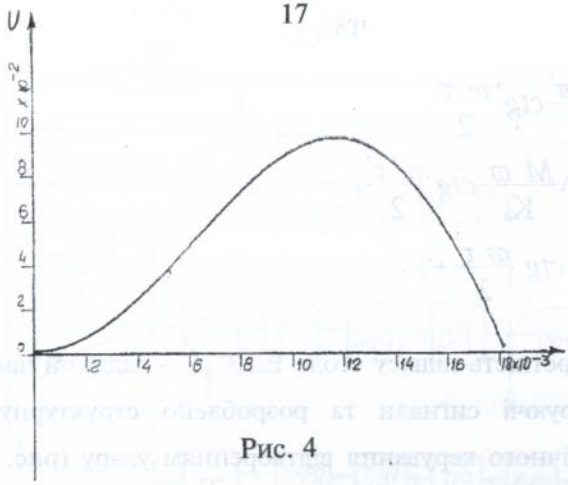


Рис. 4

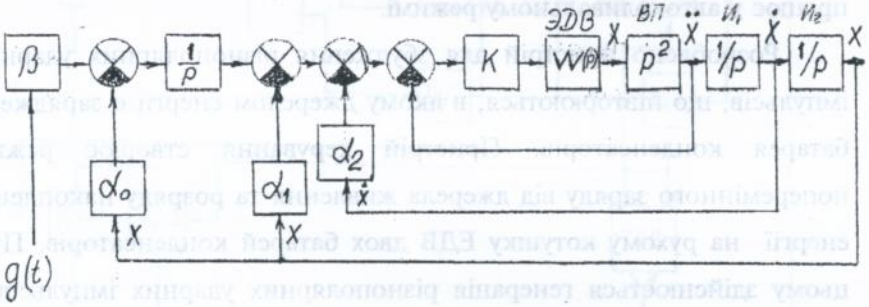


Рис. 5

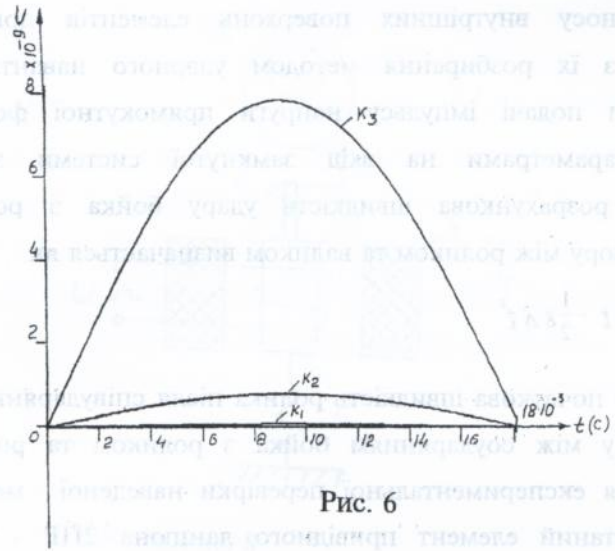


Рис. 6

$$x_1 = 2\delta A \frac{M^2 \varpi^2}{K_1^2} ctg^2 \frac{\varpi \tau^y}{2},$$

$$x_{\theta_1} = x_{\theta_2} = 2\delta A \frac{M \varpi}{K_1} ctg \frac{\varpi \tau^y}{2},$$

$$\theta_{\text{ч}} = \frac{4M \varpi}{K_1} ctg \frac{\varpi \tau^y}{2} + \tau^y. \qquad (16)$$

де: K - жорсткість підвісу стола ЕДВ, τ^y - заданий час удару. Синтезовані керуючі сигнали та розроблено структурну схему програмно - логічного керування відтворенням удару (рис. 7), яка працює у автоколивальному режимі.

Розроблено пристрій для збудження різнополярних ударних імпульсів, що півторюються, в якому джерелом енергії є заряджена батарея конденсаторів. Пристрій керування створює режим попеpемінного заряду від джерела живлення та розряду накопленої енергії на рухому котушку ЕДВ двох батарей конденсаторів. При цьому здійснюється генерація різнополярних ударних імпульсів з підвищеною міцністю та частотою проходження.

Розроблена методика та пристрій для експериментальної перевірки зносу внутрішних поверхонь елементів привідних ланцюгів без їх розбирання методом ударного навантаження (рис.8). При подачі імпульсу напруги прямокутної форми з заданими параметрами на вхід замкнутої системи з ЕДВ досягається розрахункова швидкість удару бойка з роликом. Величина зазору між роликом та валиком визначається як

$$x_p = \dot{x}_0 \Delta t - \frac{1}{2} g \Delta t^2 \qquad (17)$$

де: $\dot{x}_0$ - початкова швидкість ролика після співударяння, Δt - інтервал часу між соударянням бойка з роликом та ролика з валиком. Для експериментальної перевірки наведеної методики був використаний елемент привідного ланцюна 2ПР - 50,8 -

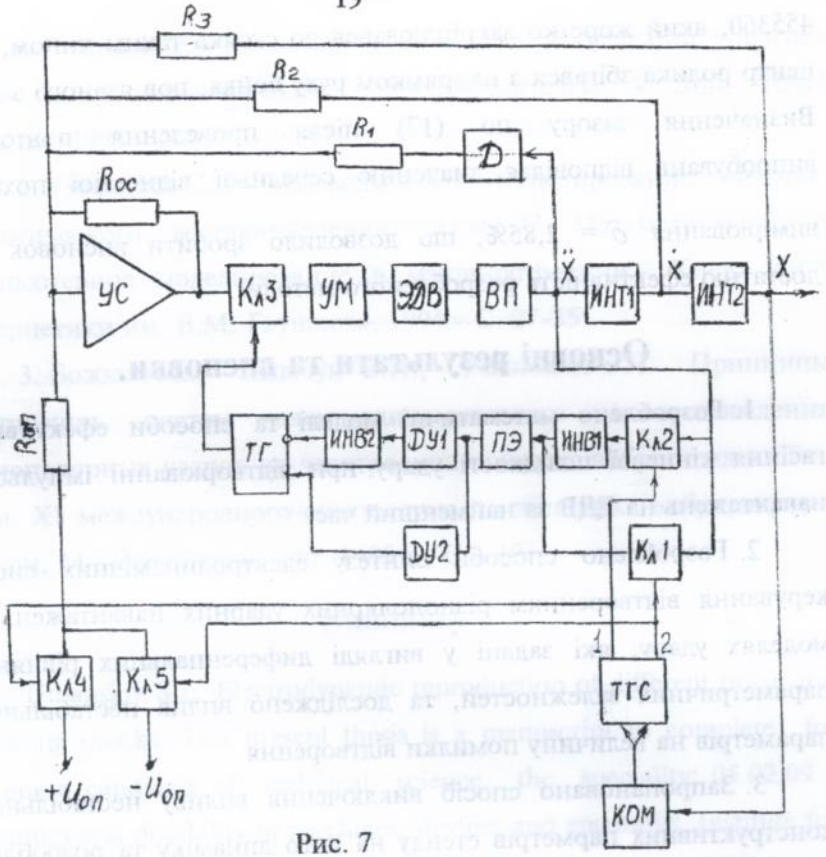

R3
R2
R1
D
Roc
УС
Кл3
УМ
ЭДВ
ВП
Ẍ
ИНТ1
Ẋ
ИНТ2
X
Rкат
ТГ
ИНВ2
ДУ1
ПЭ
ИНВ1
Кл2
ДУ2
Кл1
1
2
Кл4
Кл5
ТГС
+Uоп
-Uоп
КОМ

Рис. 7

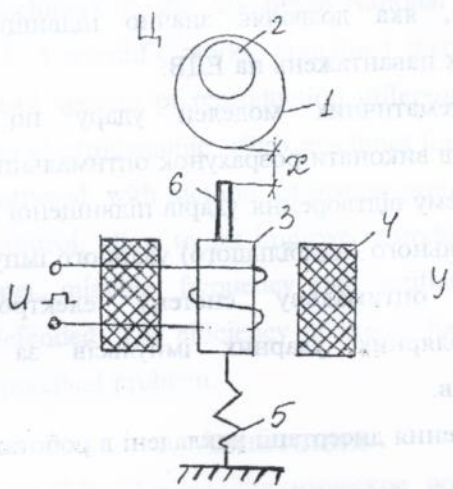

Ц
2
1
x
6
3
4
И
У
5

Рис. 8

455360, який жорстко закріплювався до стояка таким чином, щоб центр ролика збігався з напрямком руху бойка, пов язаного з ЕДВ. Визначення зазору по (17) після проведення повторних випробувань відповідає значенню середньої відносної похибки вимірювання $\delta = 2{,}85\%$, що дозволило зробити висновок про достатню ефективність розробленого методу.

Основні результати та висновки.

1. Розроблено математичні моделі та способи ефективного гасіння кінцевої швидкості удару при відтворюванні імпульсних навантажень на ЕДВ за найменший час.

2. Розроблено способи синтезу електродинамічних систем керування відтворенням різнополярних ударних навантажень по моделях удару, які задані у вигляді диференцальних рівнянь і параметричних залежностей, та досліджено вплив нестабільності параметрів на величину помилки відтворення.

3. Запропановано спосіб виключення впливу нестабільності конструктивних парметрів стенду на його динаміку та розроблено систему керування, яка дозволяє значно підвищити точність відтворення ударних навантажень на ЕДВ.

4. Аналіз математичних моделей удару по пружньому обмежувачу дозволив виконати розрахунок оптимальних параметрів та синтезувати систему відтворення ударів підвищеної міцності для отримання максимального (найбільшого) ударного імпульсу.

5. Розроблено оптимальну систему електродинамічного збудження різнополярних ударних імпульсів за допомогою пружних обмежувачів.

Основні положення дисертації викладені в роботах:

1. Божко А.Е., Уманский С.Л. О воспроизведении упругого удара электродинамическим вибровозбудителем. - Доп. НАН України.-1995.- N 8.-.С. 44-47

2. Уманский С.Л. Математическое моделирование электродинамического воспроизведения удара // Математическое и компьютерное моделирование в машиностроении.- Киев: Ин-т кибернетики им. В.М. Глушкова, 1994.- С. 27-35.

3. Божко А.Е., Шпачук В.П., Уманский С.Л. Принципы построения систем электродинамического воспроизведения разнополярных ударов на электродинамических вибростендах: Тез. докл. XI международного симпозиума по динамике виброударных систем, М.- Звенигород, окт. 1995 г., С.9-10.

Summary

Umanskiy S.L. Electrodynamic reproduction of different polar and repeating shocks. This present thesis is a manuscript to complete for earning a candidate of technical science, the speciality: 05.02.09 - dynamics and durability of machines, devices and apparatus. Institute for Problem in Machinery of the Ukrainian National Academy of Science, Kharkov, 1995. 3 scientific works, contained theoretical researches on elaborate control systems of reproduction different polar and repeating shocks on the electrodynamic vibro machines for test of manufactured articles are synthesed with method of inverse problems of dynamic with acceleration control, allow to get improve reproduction repeting shocks with limited per, missible frequency and artifical increase of power shock s are defended. The efficiency of theory has been confirmed by solution of a practical problem.

Аннотация

Уманский С.Л. Электродинамическое возбуждение разнополярных повторяющихся ударов. Диссертация является рукописью

на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности: 05.02.09 - динамика и прочность машин, приборов и аппаратуры. Институт проблем машиностроения НАН Украины, Харьков, 1996. Защищаются 3 научные работы, которые содержат теоретические исследования по разработке систем управления воспроизведением разнополярных повторяющихся ударных импульсов на электродинамических вибростендах для испытания изделий, синтезированных по методу обратных задач динамики в сочетании с принципами управления по ускорению. Это позволяет получать улучшенную воспроизводимость многократных ударных импульсов с предельно допустимой частотой следования и с искусственно увеличенной мощностью удара. Эффективность теоретических положений подтверждается решением практической задачи.

Ключові слова: електродинамічний віброзбуджувач, система керування, віброударний режим.

Відповідальний за випуск к.т.н. Личкатий Є.О.
Підписано до друку 9.07.96 г.
Формат 60x90 1/16. Папір Cym Copy 80 г/м. Ум. друк. арк. 1,0
Обл.- вид. арк. 0,96. Тираж 100 пр. Зам. № 505
Фірма "Курсор Лтд", 310057, м. Харків, пр. Театральний, 11/13,
Тел. (0572) 47-71-74

AB 35.270