

УДК 677.055

ЧАБАН В.В., ППА Б.Ф.

Київський національний університет технологій та дизайну

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ МЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ З ПРУЖНИМИ В'ЯЗЯМИ

Мета. Оцінка впливу параметрів механічної системи на динамічні навантаження, що виникають в пружних в'язях під час пуску.

Методика. Використані сучасні методи експериментальних досліджень динамічних навантажень, що виникають в пружних в'язях механічних систем під час несталого режиму руху (пуск, гальмування).

Результати. Запропоновано стенд, який являє собою еквівалентну фізичну модель досліджуваної машини, та виконано серію експериментальних досліджень впливу основних параметрів машини (пусковий момент електродвигуна, моменти зовнішніх сил технологічних навантажень, моменти інерції обертальних мас, жорсткість пружних в'язей привода) на величину динамічних навантажень, що виникають під час пуску. Виконані експериментальні дослідження показують доцільність та ефективність використання запропонованого стенду для аналізу динаміки механічних систем. Результати досліджень можуть бути використані при удосконаленні діючих та при розробці нових, більш перспективних, типів машин.

Наукова новизна. Розвиток експериментальних досліджень динаміки механічних систем з пружними в'язями. .

Практична значимість. Розробка стенду та інженерного методу експериментальних досліджень динамічних процесів, що виникають в механічних системах з пружними в'язями при пуску.

Ключові слова: динаміка механічної системи, динамічні навантаження, пружні в'язі механічної системи, стенд для експериментальних досліджень динаміки машин.

Вступ. На сучасному етапі розвитку машинобудування, коли увага все більше приділяється підвищенню довговічності роботи машин та їх швидкості, питання динаміки займають першочергове значення. Дослідження динаміки механічних систем [1-3], в тому числі і в'язальних машин [4-6], показують, що динамічні навантаження, які виникають в період перехідних режимів роботи, суттєво впливають на надійність та довговічність роботи машин. В окремих випадках динамічні навантаження в 3 і більше разів перевищують стаціонарні навантаження машин [4, 5]. Тому актуальним питанням розвитку машинобудування, в тому числі і легкого, є зниження динамічних навантажень, що виникають в машинах в період несталого руху (пуск, гальмування). При цьому особливу увагу заслуговує питання впливу параметрів механічної системи на величину динамічних навантажень. Задача зниження динамічних навантажень в машинах може бути успішно вирішена лише при виявленні впливу параметрів машин (пускового моменту електродвигуна, моментів інерції мас машини, жорсткостей пружних в'язей привода та ін.) на величину динамічних навантажень. Однак розв'язання цієї задачі в загальному виді є складним [7]. Доцільніше задачу впливу параметрів машини на її динаміку вирішувати з використанням обчислюваної техніки. Поставлена задача може бути також успішно вирішена експериментальним шляхом. Однак відсутність раціональних конструкцій стендів для проведення експериментальних досліджень стримує вирішення цієї задачі.

Постановка завдання. Враховуючи актуальність питання підвищення ефективності роботи машин шляхом зниження динамічних навантажень, завданням є розробка стенду, який являє собою еквівалентну фізичну модель досліджуваної машини, та виконання експериментальних досліджень впливу параметрів машини на величину динамічних навантажень, що виникають під час пуску.

Результати дослідження.

З метою проведення експериментальних досліджень динаміки механічних систем з пружними в'язями авторами пропонується спеціальний стенд (рис. 1), який являє собою еквівалентну фізичну модель досліджуваної машини. Стенд може бути виконаний у вигляді еквівалентної рядної або розгалуженої три – або більш масової системи в залежності від типу досліджуваної машини. Стенд призначений для експериментальних досліджень впливу параметрів машин на динамічні навантаження, що виникають під час пуску або гальмування.

Стенд містить монолітну плиту 1 з жорстко закріпленим на ній електродвигуном 2, технічна характеристика якого відповідає характеристиці електродвигуна привода досліджуваної машини. За допомогою муфти з обертальною масою 3 електродвигун 1 з'єднаний з валом 4, встановленим в чотирьох опорах 5. Між опорами 5 на валу жорстко закріплені обертальні маси 6, 7 та двоколодкові гальма 8, 9. Для реєстрації динамічних навантажень, що виникають в пружних в'язях обертальних мас стенду (відповідних ділянках валу) під час пуску, на валу 4 наклеєні тензодатчики 10, 11.

Конструкція стенду дозволяє змінювати величину пускового моменту електродвигуна 2 (за допомогою дискової фрикційної муфти з регульованим моментом) та моментів сил опору T_1 та T_2 обертання мас 6, 7 (за допомогою регульованих двоколодкових гальм 8, 9). Також стенд дозволяє змінювати величину моментів інерції обертальних мас 3, 6, 7 (обертальні маси виконані у вигляді ступиць з радіально закріпленими на них стержнями з різьбами, на яких нагвинчені циліндричні масивні вантажі). Жорсткість пружних в'язей C_{12} , C_{23} (ділянки валу 4, що з'єднують обертальні маси 3, 6 та 6, 7 відповідно) регулюється шляхом зміни довжини ділянок вала l_1 , l_2 . З цією метою передбачена можливість переміщення опор 5 а також обертальних мас 6, 7 з двоколодковими гальмами 8, 9 відповідно.

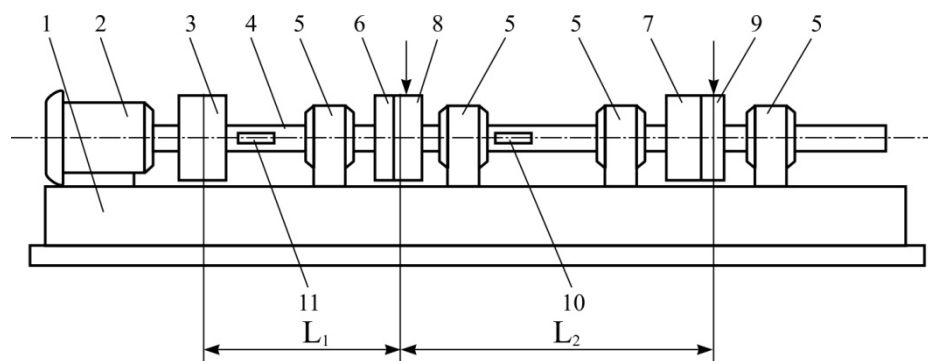


Рис. 1. Схема стенду для експериментальних досліджень

Вимірювання досліджуваних параметрів проводилось за допомогою перетворюючої та реєструючої апаратури (рис. 2).

В якості перетворювачів деформації в електричний сигнал, використовувались дротяні тензодатчики 2 з базою 20 мм КФ 5 П1-20-200А, підключені до мостової вимірювальної схеми 3, що забезпечує максимальну чутливість та лінійність вихідних параметрів. Сигнал з датчиків 2 поступає на вимірювальну плату WAD-AIK-BUS 4 через екранований дрід, що значно знижує рівень перешкод, де сигнал підсилюється, перетворюється в цифрову форму та через USB інтерфейс надходить на обчислювальну мережу (персональний комп'ютер) 5, де відбувається збір показань датчиків та остаточна обробка отриманих значень. Вимірювальна плату WAD-AIK-BUS 4 підключена до джерела живлення 1.

У зв'язку з тим, що перехідні опори в струмоз'ємниках з ковзним контактом у ряді випадків вносять істотну погрішність до результатів вимірювань, при проведенні експериментальних досліджень був обраний безконтактний метод зв'язку тензодатчиків з вимірювальною апаратурою.

Для оцінки працездатності та ефективності роботи станду його параметри були обрані у відповідності з параметрами круглов'язальної машини Ваніт, приведеними до валу електродвигуна [4]: пусковий момент електродвигуна $T_1 = 52,7$ Нм; моменти сил опору, прикладені до маси 6 (імітація механізму в'язання) $T_2 = 14$ Нм та до маси 7 (імітація механізму товароприйому) $T_3 = 10$ Нм; моменти інерції обертальних мас: першої маси (маса 3, рис. 1) $J_1 = 0,085$ кг·м², другої маси (маса 6) $J_2 = 0,01$ кг·м² та третьої маси (маса 7) $J_3 = 0,01$ кг·м²; жорсткість пружних в'язей $C_{12} = C_{23} = 1600$ Нм/рад.

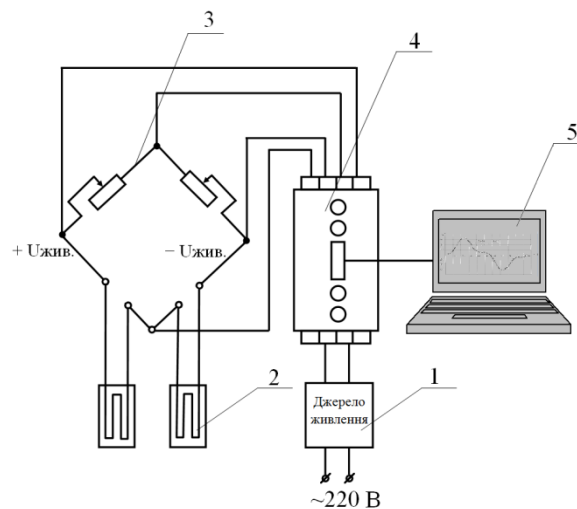


Рис. 2. Схема вимірювальної та реєструючої апаратури експериментальної установки

Методика проведення досліджень була вибрана наступною: при дослідженні впливу одного із параметрів на динамічні навантаження його величина змінювалась в установлених межах. Інші параметри не мінялись.

При цьому параметри варіювались наступним чином:

$$T_2 = T_3 = (10...40) \text{ Нм}, \quad \Delta T_2 = \Delta T_3 = 10 \text{ Нм};$$

$$J_1 = (0,085 \dots 0,385) \text{ кг} \cdot \text{м}^2, \quad \Delta J_1 = 0,1 \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$$

$$J_2 = J_3 = (0,005 \dots 0,09) \text{ кг} \cdot \text{м}^2, \quad \Delta J_2 = \Delta J_3 = 0,02 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

$$C_{12} = C_{23} = (1000 \dots 4600) \text{ Нм/рад}; \quad \Delta C_{12} = \Delta C_{23} = 600 \text{ Нм/рад}.$$

При проведенні досліджень був використаний сучасний метод експериментальних досліджень динамічних навантажень, що виникають в механічних системах в період несталого режиму руху. Умови експерименту: згідно з рекомендаціями [8] заплановано виконати по 20 дослідів; у всіх дослідях режим роботи стану залишався однаковим; прийнята вірогідність результатів експерименту $\alpha = 0,95$.

Приклад результатів досліджень та графіку зміни амплітуди динамічних навантажень, що виникають в пружній в'язі C_{23} стану при $J_3 = 0,09 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$, приведені в табл. 1 та на рис. 3.

Таблиця 1. Результати експериментальних досліджень динамічних навантажень T_{23} , що виникають в пружній в'язі C_{23} при $J_3 = 0,09 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$

Максимальний момент T_{23i} , Нм	Кількість повторень результатів n_i	$n_i T_{23i}$	Похибка окремих вимірів ΔT_{23i}	$n_i (\Delta T_{23i})^2$
48,2	1	48,2	7,33	53,73
49,4	1	49,4	6,13	37,58
50,1	2	100,2	5,43	58,97
52,3	2	104,6	3,23	20,86
54,7	2	109,4	0,83	1,38
55,5	2	111,0	-0,03	0,002
56,2	2	112,4	-0,67	0,90
57,3	2	114,6	-1,77	6,26
58,1	2	116,2	-2,57	13,21
59,8	1	59,8	-4,27	18,23
61,3	2	122,6	-5,77	66,58
62,2	1	62,2	-6,67	44,49
	$n = 20$	$\Sigma 1110,6$		$\Sigma 322,192$

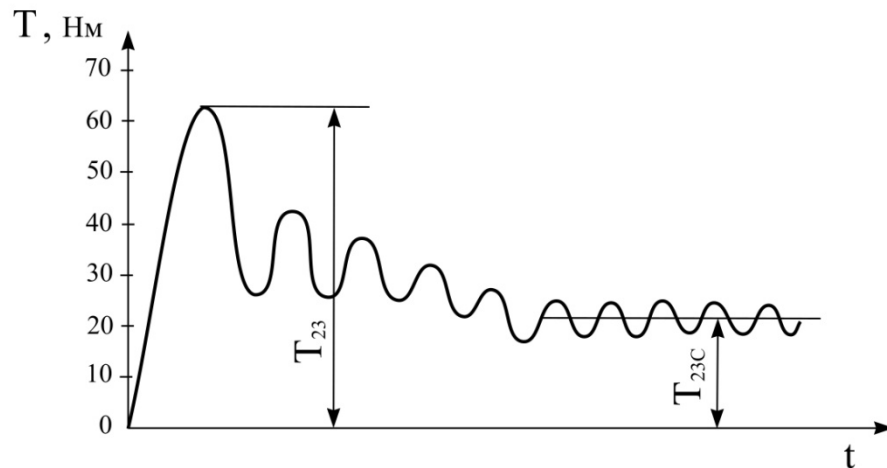


Рис. 3. Графік зміни амплітуди динамічних навантажень (дослід № 20), що виникають в пружній в'язі C_{23} стенду при $J_3 = 0,09 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$: T_{23} - максимальний момент; T_{23c} - статичний момент

Обробка результатів експерименту виконувалась у відповідності з методикою [8]. Так для дослідів № 20:

- середнє значення максимального моменту:

$$\bar{T}_{23} = \frac{\sum n_i T_{23i}}{n} = \frac{1110,6}{20} = 55,53 \text{ Нм}; \quad (1)$$

- середня квадратична похибка результатів замірів:

$$\Delta S_1 = \sqrt{\frac{\sum n_i (\Delta T_{23i})^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{322,192}{20(20-1)}} = 0,92 \text{ Нм}; \quad (2)$$

- границі довірчого інтервалу:

$$\Delta T_{23} = \sqrt{(t_\alpha \Delta S_1)^2 + \left(\frac{K_\alpha}{3} \gamma\right)^2} = \sqrt{(2,09 \cdot 0,92)^2 + \left(\frac{1,96}{3} \cdot 1,23\right)^2} = 2,08 \text{ Нм}, \quad (3)$$

де t_α - коефіцієнт Стюдента; при $\alpha=0,95$ $t_\alpha=2,09$; $K_\alpha \equiv t_\alpha(n \rightarrow \infty)=1,96$; γ - похибка вимірювальної та реєструючої апаратури ($\beta = 2\%$),

$$\gamma = \frac{\beta \bar{T}_{23}}{100\%} = \frac{2 \cdot 55,53}{100} = 1,11 \text{ Нм}; \quad (4)$$

- відносна похибка серії вимірів:

$$\varepsilon = \frac{\Delta T_{23}}{\bar{T}_{23}} \cdot 100\% = \frac{2,08}{55,53} \cdot 100\% = 3,74\%. \quad (5)$$

- остаточний результат досліджень:

$$T_{23} = \bar{T}_{23} \pm \Delta T_{23} = (55,53 \pm 2,08) \text{ Нм}.$$

Одержані результати досліджень впливу параметрів стенду (імітація круглов'язальної машини Ваніт) на величину максимальних пускових динамічних навантажень T_{12} , T_{23} , що виникають в пружних в'язях C_{12} , C_{23} стенду відповідно, представлені у вигляді графіків (рис. 4...6).

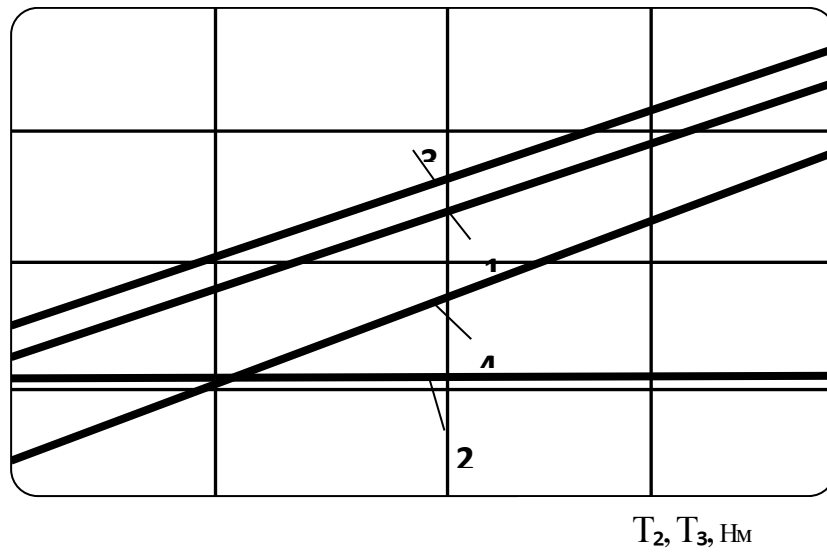
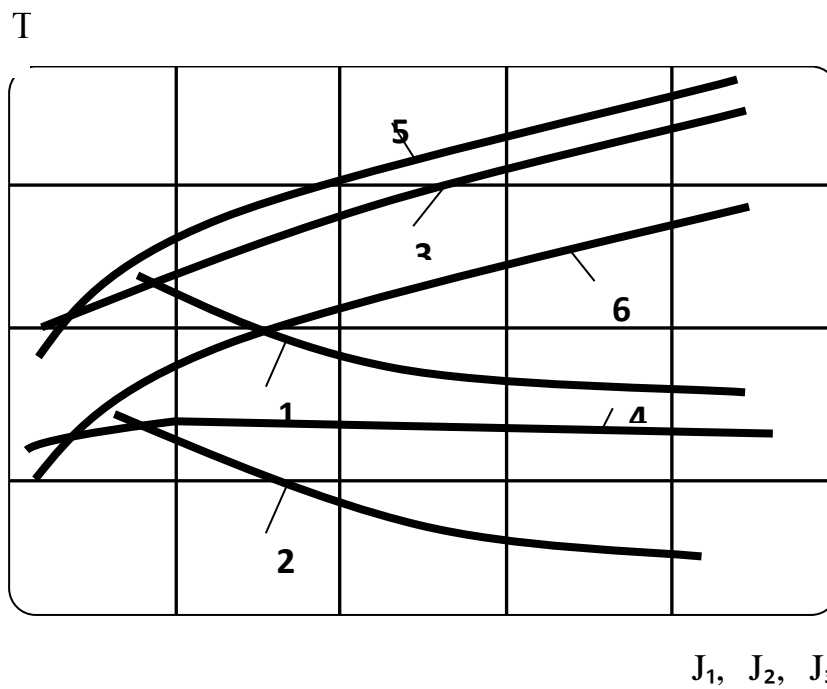


Рис. 4. Вплив моментів сил опору (1, 2 - T_2 ; 3, 4 - T_3) на динамічні навантаження пружних в'язей стенду T_{12}, T_{23}



5. Вплив моментів інерції обертальних мас стенду (1, 2 - J_1 ; 3, 4 - J_2 ; 5, 6 - J_3) на динамічні навантаження T_{12}, T_{23}

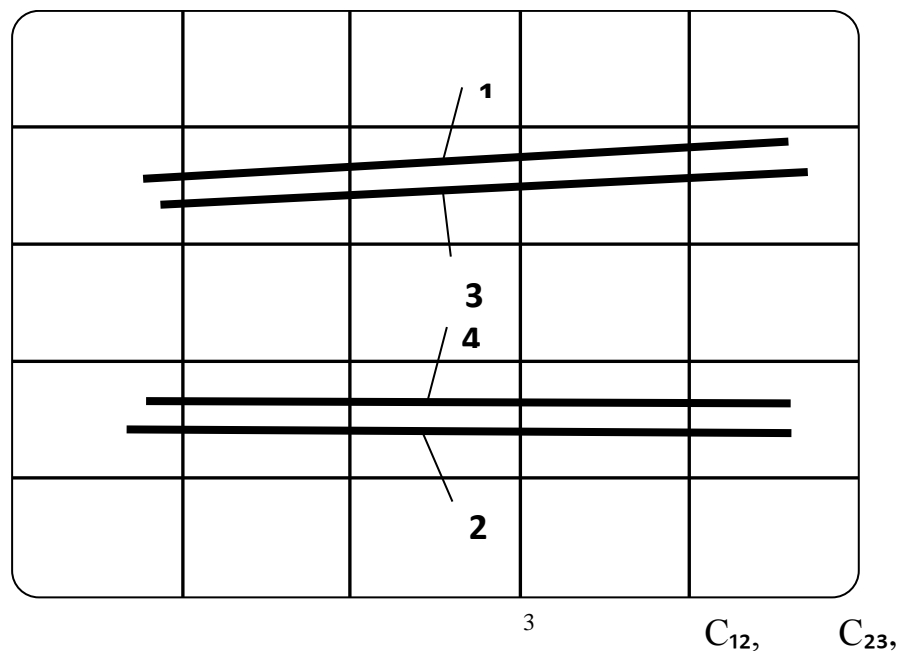


Рис. 6. Вплив жорсткостей пружних в'язей стенду (1, 2 - C_{12} ; 3, 4 - C_{23}) на динамічні навантаження T_{12} , T_{23}

Висновки. Аналіз одержаних результатів показує, що збільшення моментів зовнішніх сил опору T_2 , T_3 (рис. 4) призводить до збільшення динамічних навантажень.

Збільшення моментів інерції ведених мас машини J_2, J_3 призводить до збільшення динамічних навантажень в період пуску. Однак збільшення моменту інерції ведучої маси J_1 знижує динамічні навантаження (рис. 5).

Зміна жорсткості пружних в'язей (в межах заданого діапазону) привода машини практично не впливає на величину динамічних навантажень (рис. 6).

З метою зниження динамічних навантажень в механічних системах поряд зі зменшенням технологічних навантажень доцільно зменшувати моменти ведених мас та збільшувати момент інерції ведучої маси.

Виконані експериментальні дослідження показують доцільність та ефективність використання запропонованого стенду для аналізу динаміки механічних систем.

Результати досліджень можуть бути використані при удосконаленні діючих та при розробці нових, більш перспективних, типів машин.

Список використаної літератури

1. Голубенцев А.Н. Динамика переходных процессов в машинах со многими массами. – М.: Машгиз, 1959. – 306 с.
2. Кожевников С.Н. Динамика машин с упругими звеньями. – К.: Изд-во АН УССР, 1961. – 190 с.
3. Кожевников С.Н. Динамика нестационарных процессов в машинах. – К.: Наукова думка, 1986. – 288 с.

4. Піпа Б.Ф., Хомяк О.М., Павленко Г.І. Динаміка круглов'язальних машин. – К: КНУТД, 2005. – 294 с.
5. Хомяк О.М. Динаміка плосков'язальних машин та автоматів. – К: КНУТД, 2008. – 250 с.
6. Чабан В.В., Бакан Л.А., Піпа Б.Ф. Динаміка основов'язальних машин. – К.: КНУТД, 2012 - 287 с.
7. Голубенцев А.Н. Интегральные методы в динамике. – К.: Техніка, 1967. – 352 с.
8. Касандрова О.Н., Лебедев В.В. Обработка результатов наблюдений. – М.: Наука, 1970. – 104 с.

Рекомендовано до публікації д.т.н., проф. Зенкіним А.С.
Стаття надійшла до редакції 21.01.2014

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИКИ МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ С УПРУГИМИ СВЯЗЯМИ

ЧАБАН В.В., ПИПА Б.Ф.

Киевский национальный университет технологий и дизайна

Цель. Оценка влияния параметров механической системы на динамические нагрузки, возникающие в упругих связях при пуске.

Методика. Используются современные методы экспериментальных исследований динамических нагрузок, возникающих в упругих связях механических систем при неустановившемся режиме движения (пуск, торможение).

Результаты. Предложен стенд, представляющий собой эквивалентную физическую модель исследуемой машины, и выполнена серия экспериментальных исследований влияния основных параметров машины (пусковой момент электродвигателя, моменты внешних сил технологических нагрузок, моменты инерции вращающихся масс, жесткость упругих связей привода) на величину динамических нагрузок, возникающих при пуске. Выполненные экспериментальные исследования показывают целесообразность и эффективность использования предложенного стенда для анализа динамики механических систем. Результаты исследований могут быть использованы при усовершенствовании действующих и при разработке новых, более перспективных, типов машин.

Научная новизна. Развитие экспериментальных исследований динамики механических систем с упругими связями. .

Практическая значимость. Разработка стенда и инженерного метода экспериментальных исследований динамических процессов, возникающих в механических системах с упругими связями при пуске.

Ключевые слова: динамика механической системы, динамические нагрузки, упругие связи механической системы, стенд для экспериментальных исследований динамики машин.

EXPERIMENTAL RESEARCHES OF DYNAMICS MECHANICAL SYSTEMS WITH RESILIENT CONNECTIONS

CHABAN V.V., PIPA B.F.

Kyiv National University of Technologies and Design

Aim. Estimation of influence of parameters of the mechanical system on the dynamic loading, arising up in resilient connections at starting.

Methodology. The modern methods of experimental researches of the dynamic loading, arising up in resilient connections of the mechanical systems at the unset mode of motion (starting, braking) are used.

Results. A stand, being an equivalent physical model of the investigated machine, is offered, and the series of experimental researches of influence of basic parameters of machine (starting moment of electric motor, moments of external forces of the technological loading, moments of inertia of the revolved masses, inflexibility of resilient connections of drive) are executed on the size of the dynamic loading, arising up at starting. The executed experimental researches show expediency and efficiency of the use of the offered stand for the analysis of dynamics of the mechanical systems. The results of researches can be drawn on at the improvement of operating and at development of new, more perspective, types of machines.

Scientific novelty. Development of experimental researches of dynamics of the mechanical systems with resilient connections. .

Practical meaningfulness. Development of stand and engineering method of experimental researches of dynamic processes, arising up in the mechanical systems with resilient connections at starting.

Keywords: dynamics of the mechanical system, dynamic loading, resilient connections of the mechanical system, stand for experimental researches of dynamics of machines.