

УДК 2004.016.01

Х.С. Самидов, профессор, д-р техн. наук

Х.Д. Мустафаев, докторант

АзАСУ, Баку, Азербайджан

E-mail: xalilsamidov@mail.ru

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА И МЕТОДЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИКИ МАШИН

Экспериментальным путем установлены влияние различных факторов на реальный характер протекания динамических процессов машин.

Ключевые слова: эксперимент, динамика, машина, надежность, долговечность.

При аналитическом исследовании динамики машин принимают определенные допущения. Поэтому здесь поставлена задача экспериментально исследовать реальные динамические процессы, протекающие при работе машины, проверить достоверность теоретических результатов.

Экспериментальное исследование также нужно для установления влияния различных факторов на реальный характер протекания динамических процессов машин.

Целью экспериментального исследования динамических процессов машин является: определение действительных статических и динамических нагрузок в рабочих органах машин; определение силовых и упругодемпфирующих параметров, необходимых для построения динамических и математических моделей машин; проверка адекватности динамического поведения машины и соответствующей ей математической модели; изучение характеристик колебательных явления при переходных и установившихся режимах работы; получение достоверной информации для разработки обоснованных рекомендаций повышения надежности, долговечности работы машин и усовершенствования конструкции.

Экспериментальная установка спроектирована, изготовлена под руководством д.т.н., профессора Х.С. Самидова и его докторанта Х.Д. Мустафаева.

Экспериментальные исследования проводились:

– в лаборатории кафедр «Металловедение и механика машин» и «Строительные материалы» Азербайджанского Архитектурно-строительного университета;

– на заводе «Азертруб» открытого акционерного общества;

– на Бакинском заводе «Производственные объединение Промавтомат».

Использованы стандартные измерительно-регистрирующие приборы: электронный датчик измерения упругого крутящего момента ТВ2, электронный датчик измерения усилий U2B, индуктивный датчик перемещения WA-500, автоматический центр управления измерительных приборов – Quantum^x, ноутбук.

Электронный датчик крутящего момента

Существуют индуктивные, емкостные, проволочные и другие виды датчиков измерения крутящего момента. Литература о таких приборах весьма обширна, например [1, 2].

Датчик ТВ2, как видно из рисунка 1, жестко соединяется с выходным валом мотор-редуктора и винтовым валом стола. Датчик ТВ2 в основном состоит из трех частей, то есть из двух фланцевых элементов 1, 3 и измерительного элемента 2 (рисунок 2).

Для измерения упругого крутящего момента рассматриваемой системы был использован датчик ТВ2 (см. рисунок 1, поз. 3).

Датчик крутящего момента ТВ2 применяется для измерения статического и динамического крутящего момента в диапазоне 500 НМ...10 КНМ.

Фланец 1 соединяет приводной механизм с измерительной частью прибора 2, а фланец 3 соединяет измерительную часть прибора с исполнительным механизмом. Соединение датчика с приводным и исполнительным органами осуществляются со специальными болтами 4 диаметра Ø 8 мм.

Собственная частота f_0 механической измерительной схемы зависит от момента инерции J_1 и J_2 присоединительных масс, а также от жесткости на кручение датчика ТВ2.

Собственная частота f_0 может быть определена из следующего уравнения:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{C_T \left(\frac{1}{J_1} + \frac{1}{J_2} \right)},$$

где f_0 – это частота собственных колебаний в Гц; J_1 и J_2 – момент инерции масс в Н·м²; C_T – жесткость на кручение в НМ/рад.

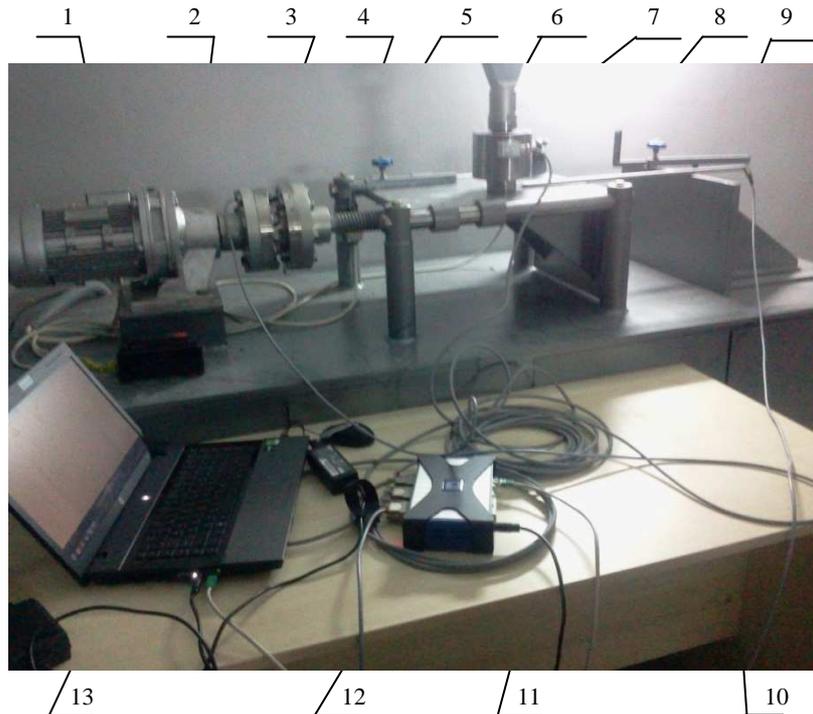


Рисунок 1 – Экспериментальная установка: 1 – мотор редуктор; 2, 4 – шпоночные муфты; 3 – датчик крутящего момента ТВ2; 5 – конечный переключатель; 6 – ходовой валик; 7 – датчик измерения усилий U2B; 8 – ограничитель перемещения стола; 9 – индуктивный датчик перемещения WA-500; 10 – стол-подставка для размещения приборов; 11 – соединительные кабели; 12 – Quantum^x; 13 – ноутбук

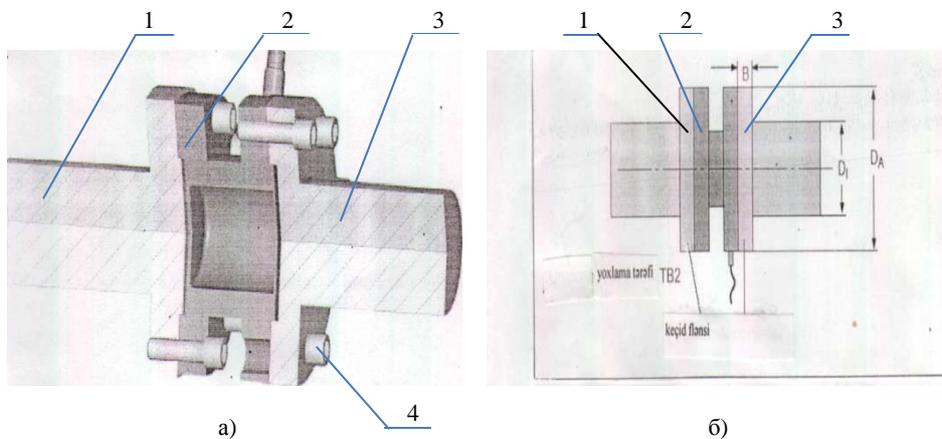


Рисунок 2 – Винтовое соединение измерительного тела датчика ТВ2

Технические данные датчика ТВ2 фирмы НВМ (таблица 1)

1) Каждое из указанных в таблице (изгибающий момент, осевое или поперечное усилие, превышение номинального крутящего момента) только тогда может достигать приведенного значения статической предельной нагрузки, пока соответственно, воздействует какой-то один из параметров. В противном случае предельные значения должны быть уменьшены. В случае воздействия, например, 30 % предельного изгибающего момента и предельного поперечного усилия, допускается лишь 40 % от значения предельного осевого усилия, причем номинальный крутящий момент не должен быть превышен. Допустимые изгибающие моменты, продольные и поперечные усилия могут отражаться на результатах измерения как прибл. 0,2 % от номинального значения крутящего момента.

Измеряемый датчиком крутящий момент при помощи Quantum^x и измерительного кабеля передаются в ноутбук и записываются фрагменты записанного крутящего момента сил, как показано на рисунке 10.

Таблица 1 – Механические параметры датчика крутящего момента ТВ2 фирмы НВМ

Тип	ТВ2							
Класс точности	0,03							
Номинальный крутящий момент Мном	Н·м	500						
	КНм		1	2	3	5	10	
Ударопрочность, тест в соответствии с DINTEC; TELL 2-27; IEC 68-2-27-1987								
Число	п	1000						
Продолжительность	МС	3						
Ускорение (половина синуса)	М/с ²	650						
Предельные нагрузки								
Предельный крутящий момент, относительно Мном	%	200				160		
Разрушающий крутящий момент, относительно Мном	%	> 400				> 320		
Предельное осевое усилие	КН	16	19	39	42	80	120	
Предельное поперечное усилие	КН	4	5	9	10	12	18	
Предельный изгибающий момент	НМ	200	220	560	600	800	1200	
Диапазон колебаний согласно DIN 50100 (двойная амплитуда)	НМ	1000	2000	4000	4200	8000	16000	

Таблица 2

Номинальный крутящий момент Мном	Н·М.	500					
	КН·М.		1	2	3	5	10
Крутильная жесткость	КНМ/рад	540	900	2300	2600	4600	7900
Угол скручивания при Мном	0	0,055	0,066	0,049	0,066	0,06	0,07
Жесткость в осевом направлении, около	КН/мм	900	970	1000	1100	950	1500
Жесткость в радиальном направлении, около	КНМ/мм	700	840	1400	1500	1400	2500
Жесткость при изгибающем моменте вокруг радиальной оси	НМ/рад	9500	9800	21700	22400	31400	71000
Максимальное отклонение при предельном осевом усилии	мм	< 0,03		< 0,05		< 0,1	
Дополнительное максимальное радиальное биение при предельном поперечном усилии	мм	< 0,01					
Доп. плоскопараллельное отклонение при предельном изгибающем моменте	мм	≠0,04		< 0,06		< 0,1	
Момент инерции масс (без учета болтов фланца) ротора (вокруг продольной оси)	кг·м ²	0,0059		0,0192		0,037 0,097	
Момент инерции масс в процентах (сторона измерения)	%	57		55		54	
Вес, около (без кабеля)	кг	2,4		4,9		8,3 14,6	
Вес у опции с IP67, около (с кабелем)	кг	2,6		5,1		8,5 14,8	
Относительный размах (от 0,1 Мном до Мном) при неизменном монтажном положении	%	< 0,02 (типично		< 0,01)			
При различных монтажных положениях	%	< 0,03 (типично		< 0,02)			
Относительная вариация показаний (от 0,1 Мном до Мном)	%	< 0,06 (типично		< 0,03)			

Индуктивный датчик измерения линейного перемещения рабочих органов технологических машин

Существует много приборов измерения линейных и угловых перемещений рабочих органов технологических машин, в том числе металлорежущих станков. Имеются часовые, центробежные, фрикционные, электрические и фотоэлектрические импульсные измерительные приборы и т.п. [1, 2].

Для измерения колебаний и величины линейного перемещения стола электромеханического привода был использован индуктивный датчик перемещения фирмы НВМ (рисунок 1).

Датчик перемещения серии WA фирмы НВМ разработан для задач, требующих высокую степень жесткости и точности, например, для использования в научных исследованиях и промышленного применения. Принцип измерения основывается на активной четверть мостовой схеме, которая дополняется до полномостовой схемы. Датчик перемещения может работать в полномостовой или полумостовом режиме. Эти датчики спроектированы с встроенными сенсорными целями для работы по шести проводной схеме включения. Датчик WA работает с постоянным напряжением 15...30 Вольт. Встроенная электросхема разработана на микросхемах сверхнизкого потребления питания (SELV).

На рисунках 3 – 6 даны принципиальные электрические схемы измерения, назначения жилых кабелей и подсоединения их типа полумоста, полного моста индуктивных датчиков перемещения моделей WA2...WA500.

Датчик	Цвет жилы	Измерительный	модуль
WA	Кабель	Sub-D разъем 15 пинов	MS-разъем 7 пинов
Измерительный сигнал (+)	ws белый	8	A
Измерительный сигнал (-)	rt красный	15	D
Напряжение питания моста (+)	bl синий	6	C
Напряжение питания моста (-)	sw черный	5	B
Сенсорная цепь (+)	gn зеленый	13	F
Сенсорная цепь (-)	gr серый	12	G
Экран		Корпус	Корпус

Рисунок 3 – Назначение контактов

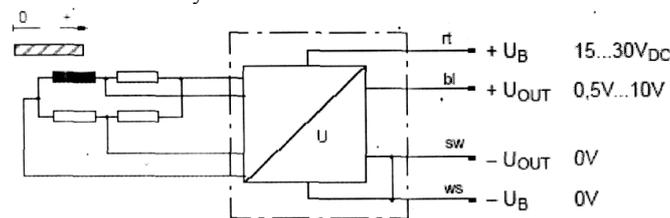


Рисунок 4 – Назначение контактов WA-electronic

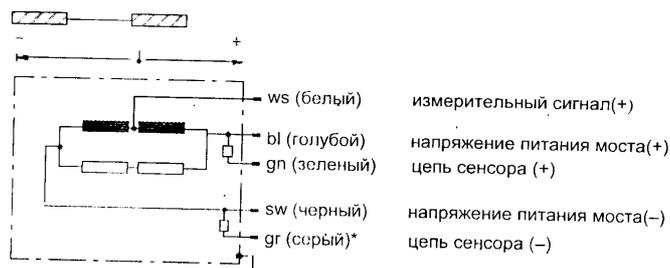


Рисунок 5 – Электрическая принципиальная схема, полный мост 80 мВ/В

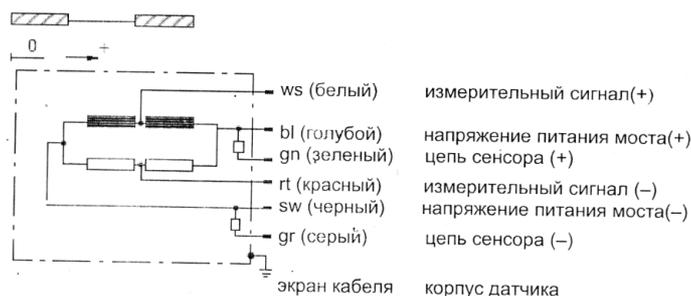


Рисунок 6 – Принцип измерения, назначение жил кабеля

Общий вид механической части датчика перемещения WA показаны на рисунках 7 и 8.

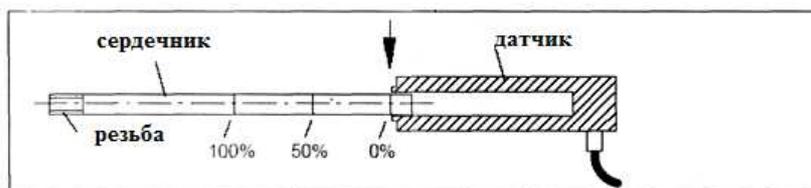


Рисунок 7 – Сердечник с маркировкой (балансировка нуля).

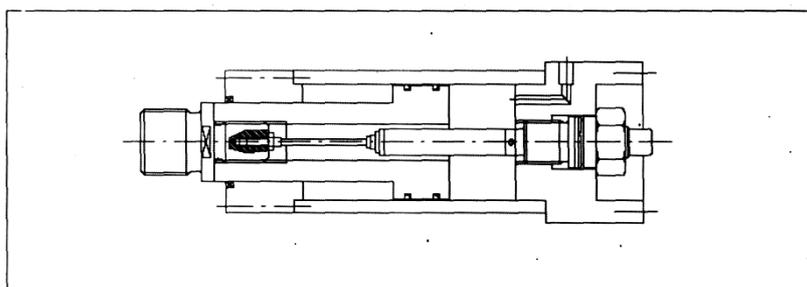


Рисунок 8 – Общий вид датчика серии WA

Как видно из рисунка 8, для присоединения к измеряемому объекту сердечник имеет резьбу. До начала измерения необходима балансировка нуля. Для этого вставляется сердечник в корпус датчика до первого маркированного кольца. Вступающая часть сердечника соответствует размеру C (рисунок 9). У WA2 вставляется сердечник в корпус до появления «0» на дисплее. У WA-электроник вставляется сердечник, пока выходные напряжения не составят 0,5 В.

На рисунках 9 и 10 показаны чертежи сердечника и шипа датчика перемещения, а в таблице 3 даны габаритные размеры этих приборов.

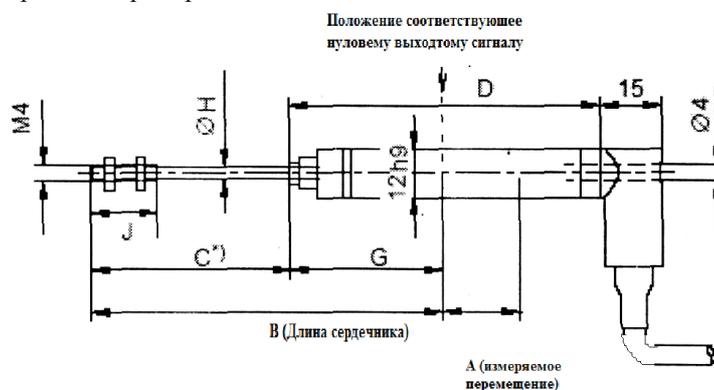


Рисунок 9 – Сердечник

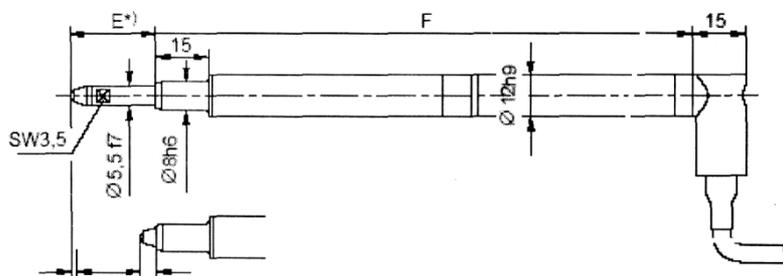


Рисунок 10 – Щуп перемещения

Датчики линейного перемещения серии WA и WA-электроник способны записывать динамические процессы – пределы частоты, ускорения, колебания и т.п.

Частотный диапазон измерительной цепочки определяется электрическим методом, исходя из верхнего диапазона частоты среза измерительного модуля. В версии датчика с щупом следует учитывать то, что измерительный штифт щупа перемещения вследствие сил инерции не отрывается от измеряемого объекта.

Таблиця 3

Диапазон	Сердечник							Щуп перемещения		
	A	B	C	D	G	H	J	A	E	F
0...2 мм	2	75,5	40	69	35,5	1,2	15	2	14	130
0...10 мм	10	66	40	69	26±0,5	3,7	16	10	14	130
0...20 мм	20	87	55	84	32±0,5	3,7	16	20	25	170
0...50 мм	50	117	85	114	32±0,5	3,7	16	50	54	230
0...100 мм	100	180	134	181,5	45±0,5	3,7	16	10	104	372,6
0...200 мм	200	280	234	281,6	46±10	3,7	16			
0...300 мм	300	380	334	381,6	46±10	3,7	16			
0...500 мм	500	580	534	581,6	46±10	3,7	16			

В первом приближении, для начальной оценки многие процессы рассматриваются в форме синусоиды. Для максимально допустимого ускорения a_{\max} при заданной амплитуде смещения s , частоты среза f_{\max} находится из соотношения

$$f_{\max} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\left(\frac{a_{\max}}{s}\right)}.$$

Ниже даются основные технические данные датчиков линейного перемещения серии WA фирмы НВМ (таблица 4).

Фрагменты осциллограмм, записанные во время эксперимента исследования показаны на рисунке 11.

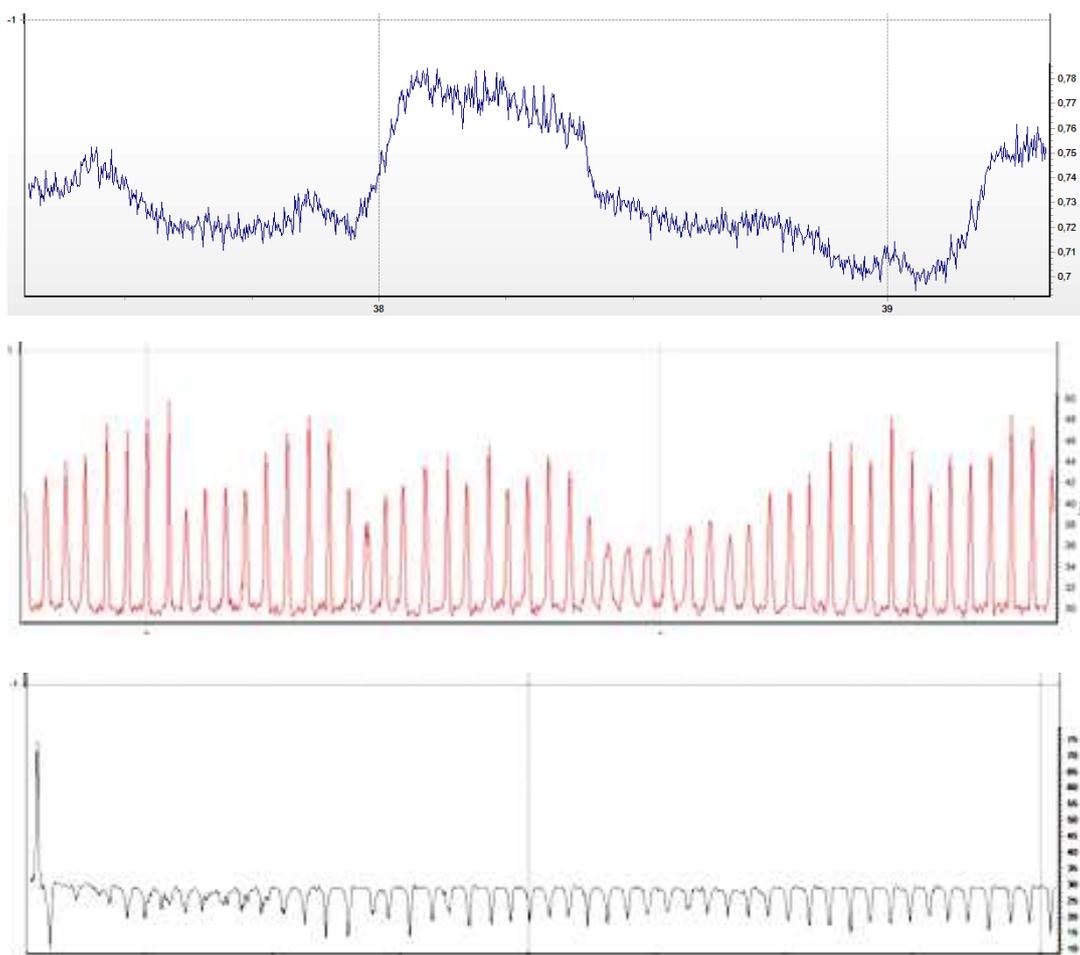


Рисунок 11 – Фрагменты экспериментального исследования колебаний стола электромеханического привода:

- 1) диаграмма, характеризующая колебания линейного перемещения стола
- 2) диаграмма, характеризующая изменение упругого крутящего момента
- 3) диаграмма, характеризующая изменение упругой силы

Из-за объема статьи здесь не приводятся подробный анализ результатов экспериментальных исследований, лишь приводятся некоторые фрагменты из них.

Таблица 4

Тип		WA2	WA10	WA20	WA50	WA100	WA200	WA300	WA500
Номинальное перемещение	мм	0.....2	0.....10	0.....20	0.....50	0.....100	0.....200	0.....300	0.....500
Номинальный температурный диапазон	С°	-20.....+80							
Рабочий температурный диапазон	С°	-30.....+80							
Количество ударов		1000							
Ударное ускорение	М/с ²	650							
Частотный диапазон вибрации	Гц	5...65							
Ускорение вибрации	М/с ²	150							
Предельное число циклов нагружения		10 ⁶							
Максимально допустимое ускорение головки щупа	М/с ²	170	140	95	45				
Максимально допустимое ускорение сердечника	М/с ²	2500							

Библиографический список использованной литературы

1. Приборы и системы для измерения вибрации, шума и удара: Справочник в 2-х кн. / Под ред. В.В. Клюева. — М.: Машиностроение, 1978. — Кн. 1. — 447 с., Кн. 2. — 439 с.
2. Электрические измерения неэлектрических величин / Под ред. П.В. Новицкого. — Л.: Энергия, 1975. — 576 с.

Поступила в редакцию 18.03.2013 г.

Самідов Х.С., Мустафаєв Х.Д. Експериментальна установка й методи експериментального дослідження динаміки машин

Експериментальним шляхом встановлено вплив різних факторів на реальний характер протікання динамічних процесів машин

Ключові слова: експеримент, динаміка, машина, надійність, довговічність.

Samidov Kh.S., Mustafayev Kh.D. Experimental determination and methods of pilot study of machines dynamics

The influence of different factors on the real nature of the dynamic processes of the machines is determined.

Keywords: experiment, dynamics, machine, reliability, durability.