

## ИСПЫТАТЕЛЬНЫЕ КОМПЛЕКСЫ АВИАЦИОННОЙ И РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ

Шагинян А.С.

Гомельский политехнический институт им. П.О.Сухого (Гомель)

В современной технике эксплуатация подавляющего большинства изделий и систем связана с интенсивными механическими воздействиями.

Защита от вибраций и обеспечение вибростойкости, вибропрочности и виброустойчивости различных изделий является одной из актуальных проблем современной техники, в том числе летательных аппаратов. Поэтому в представленном докладе будут рассматриваться только эти проблемы.

Усложнение систем управления, приборов и средств измерений, повышение скоростей и мощностных параметров летательных аппаратов с одновременным ужесточением требований к их надежности, долговечности и функциональному качеству в последние десятилетия привело к необходимости существенного расширения объемов исследований и испытаний при создании летательных аппаратов и, в первую очередь, росту объема вибрационных испытаний. Это, в свою очередь, послужило толчком к развитию испытательных комплексов и насыщению их современным виброиспытательным оборудованием: электромеханическими, электрогидравлическими и электродинамическими вибростендами.

Рассмотрим разновидности (методы) испытаний и технические требования, установленные для соответствующих методов виброиспытаний. Прежде всего остановимся на определении основных механических факторов вибрационного воздействия, которые составляют основу ряда стандартов:

- устойчивость - свойство аппаратуры выполнять свои функции и сохранять свои параметры в пределах установленных норм во время воздействия на нее определенного фактора (вибрация, радиация, влажность и др.);

- стойкость - свойство аппаратуры выполнять свои функции и сохранять свои параметры в пределах установленных норм во время и после воздействия на нее определенного фактора в течение всего срока службы в заданных условиях эксплуатации;

- прочность - свойство аппаратуры выполнять свои функции и сохранять свои параметры в пределах установленных норм после воздействия на нее определенного фактора (в данном случае механических вибраций).

Воздействующие факторы, которые могут быть реализованы на вибростендах, определяются различными видами испытаний:

1. Бортовая аппаратура авиационной техники.

1.1. Испытания на прочность при воздействиях синусоидальной вибрации одной частоты.

1.2. Испытания по обнаружению резонансов конструкции аппаратуры.

1.3. Испытания на устойчивость при воздействии синусоидальных вибраций.

1.4. Испытания на прочность при транспортировании в упакованном виде.

1.5. Испытания на прочность при транспортировании в составе объекта.

1.6. Испытания на прочность при воздействии синусоидальной вибрации.

2. Бортовая аппаратура ракетной техники.

Бортовая аппаратура ракетной техники подвергается тем же видам испытаний, что и авиационная техника с дополнением испытаний на устойчивость и прочность при воздействии случайной широкополосной вибрации.

Бортовая аппаратура космической техники испытывается теми же методами, что и бортовая аппаратура авиационной и ракетной техники.

При испытаниях перечисленных летательных аппаратов на прочность, стойкость и устойчивость вибростенды, их системы управления и измерения должны обеспечивать режимы испытаний с довольно высокой точностью. Погрешности не должны превышать по:

- амплитуде перемещений  $\pm 15\%$ ;

- частоте вибраций  $\pm 2$  Гц;

- числу циклов  $\pm 5\%$ ;

- времени испытаний  $\pm 10\%$ ;

- амплитуде виброускорения и пиковому ударному ускорению  $\pm 20\%$ ;

- уровню спектральной плотности виброускорений случайной вибрации  $\pm 3$  дБ;

- суммарному среднеквадратичному ускорению случайной вибрации не более 2 дБ (21%).

Применяемая в испытательных комплексах стендовая техника должна обеспечивать реализацию значений воздействующих факторов (синусоидальных и случайных вибраций, механических ударов, акустического шума и др.).

Синусоидальные вибрации должны реализовываться при стендовых испытаниях аппаратуры вертолетов и дозвуковых самолетов с турбовинтовыми двигателями (ТВД). Параметры вибраций устанавливаются следующие:

- амплитуда виброперемещения [м] -  $(2,5 - 5,0) \cdot 10^{-3}$ ;
- амплитуда ускорения [ $\text{м/с}^2$ ] - 29,4 - 294;
- диапазон частот [Гц] - 5 - 200.

Приведенные требования к испытаниям аппаратуры авиационной техники мало чем отличаются от требований к испытаниям аппаратуры ракетно-космической техники. Однако стенды для испытаний аппаратуры ракетно-космической техники должны быть оснащены дополнительно системами управления и измерения для реализации случайных вибраций.

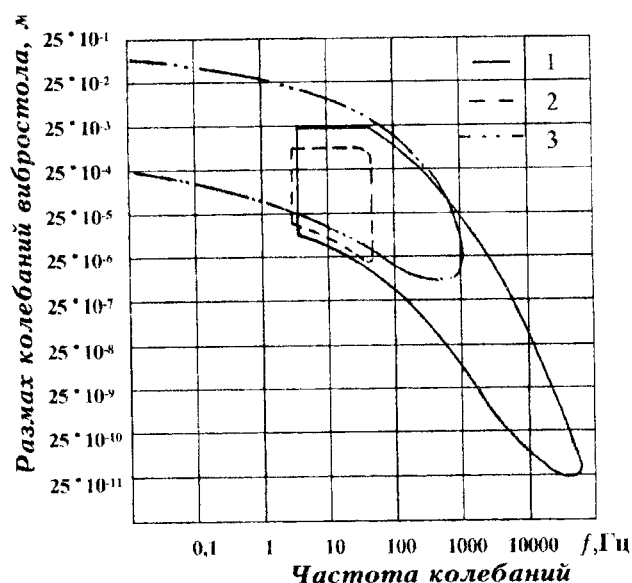


Рис. 1. Области оптимальных рабочих режимов вибростендов: 1 - электродинамических; 2 - электрохимических; 3 - электрогидравлических.

испытательные машины с электрогидравлическим следящим сервоприводом [1, 2, 3, 4]. Продукентами указанных машин являются известные в мире фирмы МТС (США), Инстрон (Англия), К.Шенк (Германия), ПО «Точмашприбор» (Россия), Шимадзу (Япония).

По своему устройству универсальные испытательные машины с электрогидравлическим приводом являются системами с управляющими обратными связями по нагрузке, деформации или перемещению активного захвата.

На Рис. 2 приведена схема машины с электрогидравлическим приводом.

Универсальные машины с электрогидравлическим приводом позволяют проводить усталостные испытания не только образцов материалов с реализацией эластичного (с обратной связью по нагрузке) или жесткого (с обратной связью по деформации) нагружения, но и различных элементов конструкций. При замене активного захвата на вибростол эти машины могут использоваться в качестве вибростендов для испытаний приборов и устройств бортовых систем на вибропрочность и виброустойчивость.

Указанные машины благодаря их высокой приборной оснащенности и обеспечению полной автоматизации процессов нагружения и измерения нагрузок и деформаций позволяют реализовать не только практически любые типовые программы усталостных испытаний (Рис.3), но и усталостные испытания на случайную нагрузку (Рис.4).

Весьма важным классом виброиспытательного оборудования испытательных комплексов являются электрогидравлические вибростенды [5, 6]. На Рис. 5 и 6 приведены блок-схемы электрогидравлических вибростендов. К основным преимуществам стендов данного типа относятся (Рис. 1):

- возможность получения практически любых амплитуд перемещений в широком диа-

Изложенные выше требования к испытаниям авиационной и ракетно-космической техники свидетельствуют о том, что наиболее эффективным стендовым оборудованием в испытательных комплексах являются электрогидравлические и электродинамические системы, из которых можно сформировать практически любые нагружающие устройства в условиях исследовательских центров и испытательных комплексов. Об этом свидетельствует Рис. 1, на котором приведены области оптимальных рабочих режимов вибростендов.

Современные испытательные комплексы можно условно разделить на три функциональные системы для:

- испытаний и исследований материалов;
- испытаний и исследований элементов конструкций;
- испытаний и исследований натуральных конструкций.

Для испытаний материалов наибольшее применение в испытательных комплексах получили универсальные

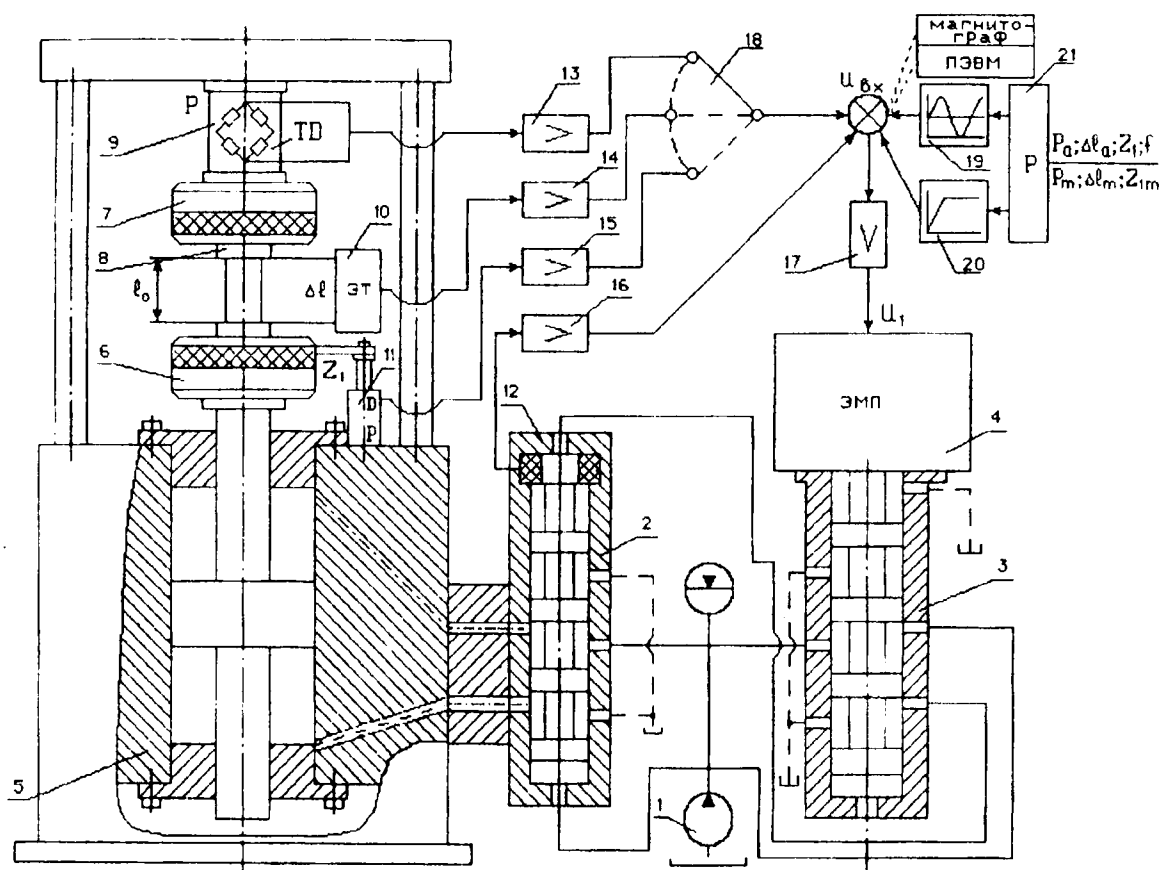


Рис. 2. Универсальная испытательная машина с электрогидравлическим сервоприводом: 1 – насос; 2 – распределительный золотник; 3 – управляющий золотник; 4 – электромеханический преобразователь; 5 – гидроцилиндр; 6 – активный захват; 7 – пассивный захват; 8 – образец; 9 – тензодинамометр; 10 – экстензометр; 11 – датчик перемещения; 12 – датчик перемещения распределительного золотника; 13–17 – электронные усилители; 18 – переключатель режимов работы; 19 – функциональный генератор; 20 – блок статики; 21 – программатор.

пазоне частот (0–500 Гц);

- возможность получения больших тяговых усилий (до 1000 кН);
- стоимость электрогидравлических вибростендов в сравнении с электродинамическими стендами – существенно ниже;
- весьма слабый магнитный поток, действующий на испытуемый объект;
- удельный вес (вес стенда на единицу тягового усилия) и размеры электрогидравлических стендов имеют существенно меньшие значения по сравнению с электродинамическими стендами;
- возможность получения высокого быстродействия и управляемости на уровне электронных систем.

Приведенные преимущества электрогидравлических вибростендов обеспечили весьма широкий диапазон их эффективного применения:

1. Ракеты, спутники, космические корабли и станции. Вибрационные испытания полных сборов и отдельных узлов.
2. Авиация и авиационная промышленность. Вибрационные испытания самолетных конструкций, систем двигателей и деталей.
3. Автомобильная промышленность и железнодорожный транспорт. Исследование движения деталей, имитация дорожно-транспортных условий, испытания систем подвеса и др.
4. Строительная техника. Источники резонанса больших объектов плотин, строительных конструкций, мостов. Реализация сейсмических воздействий.
5. Сельскохозяйственная техника. Дорожные исследования, имитация рабочих нагрузок.

Программа	Примечание	Программа	Примечание
	Меньше-больше		Программа Ф. Гасснера, К Хорстмана
	Больше-меньше		Программа Е. Гасснера, Г. Якоби
	Меньше-больше-меньше		Программа Е. Гасснера, В. Вигнера
	Больше-меньше-больше		Программа А. Мак-Коллоха, М. Милкона
	Типовая 8 и ступенчатая программа Гасснера		Программа Е. Гасснера, Г. Якоби
	Программное изменение амплитуды и средней составляющей цикла нагрузки (матричной)		Программа Р. Кетолы

Рис. 3. Типовые программы усталостных испытаний.

	Тип испытания	Временная форма процесса
Испытания на эксплуатационные нагрузки	Реализация действительной нагруженности	
	Преобразованная форма эксплуатационной нагруженности	
Рандомизированные программные испытания	Рандомизированный блок программных испытаний	
	Марковский блок программных испытаний	
	Рандомизированное чередование цикличности нагрузки	
	Рандомизированное чередование средней нагрузки цикла	
	Рандомизированное чередование экстремумов	
Рандом-процесс испытания	Стационарный случайный процесс	
	Квази-стационарный случайный процесс	

Рис. 4. Усталостные испытания на случайную нагрузку.

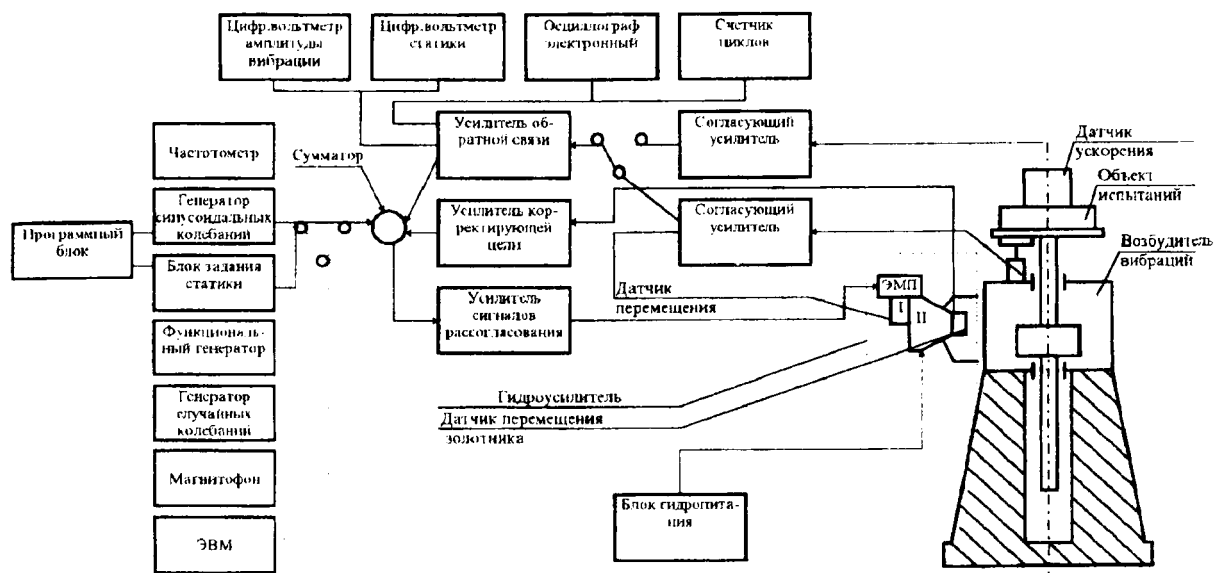


Рис. 5. Блок-схема одноканального электрогидравлического вибростенда.

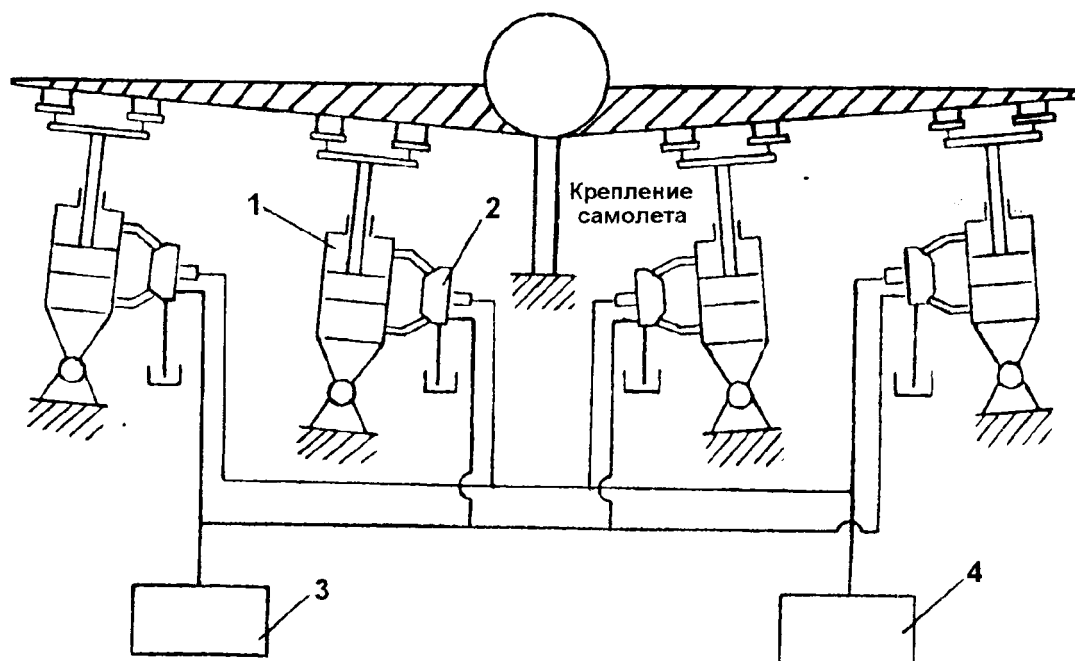


Рис. 6. Схема приложения нагрузок при испытаниях самолета на многоканальном электрогидравлическом вибростенде: 1 – возбудитель вибраций; 2 – гидроусилитель; 3 – блок гидропитания; 4 – блок управления измерения.

6. Исследования при кораблестроении. Вибрационные испытания корабельных конструкций, исследование динамических характеристик отдельных секций и в целом корабля и др.

7. Геофизика. Возбуждение колебаний в почве и в воде. Разведка недр.

8. Медико-биологические исследования воздействий вибрации на растения и живые организмы.

9. Определение наиболее эффективных режимов использования вибраций в технологическом оборудовании (вибростыковая сварка, виброразрезание, вибропрессование и штамповка и др.).

10. Оценка динамических характеристик объектов.

11. Усталостные испытания элементов конструкций широкого класса изделий в диапазоне низких (0,05–50) и средних (1–500 Гц) частот.

В испытательных комплексах авиационной и ракетно-космической техники наиболее широкое применение получили электродинамические вибраторы, которые в практике испытаний обеспечивают такие механические воздействия как акустический шум и вибрация.

Акустический шум является высокочастотным механическим воздействием звуковых волн в диапазоне частот 125–10000 Гц с максимальным уровнем звукового давления 200 дБ и более и порождается чаще высокоскоростными ракетами, конкретно шумом струи ракетного двигателя.

Для определения механического воздействия на изделия изменения частоты шума проводят специальные испытания тоном варьируемой частоты 125–10000 Гц. При этом механизм разрушительного воздействия звукового давления аналогичен воздействию вибраций. В результате действия энергии колебания звуковой частоты в электронных бортовых системах ракетных установок, сверхзвуковых самолетов и др. ракетной и авиационной техники возникает так называемый микрофонный эффект и появляются резонансные колебания, приводящие к потере вибропрочности и виброустойчивости радиоэлектронных устройств.

Приведенный перечень механических воздействий в реальных условиях в различных технических средствах может проявляться во всевозможных сочетаниях. При этом характер, величина, направление и распределение усилий, напряжений и других факторов изменяются во времени в виде детерминированных и случайных процессов.

Испытания на прочность и устойчивость при воздействиях синусоидальной и широкополосной случайной вибрации в частотном диапазоне свыше 200 Гц в основном осуществляются на электродинамических вибростендах.

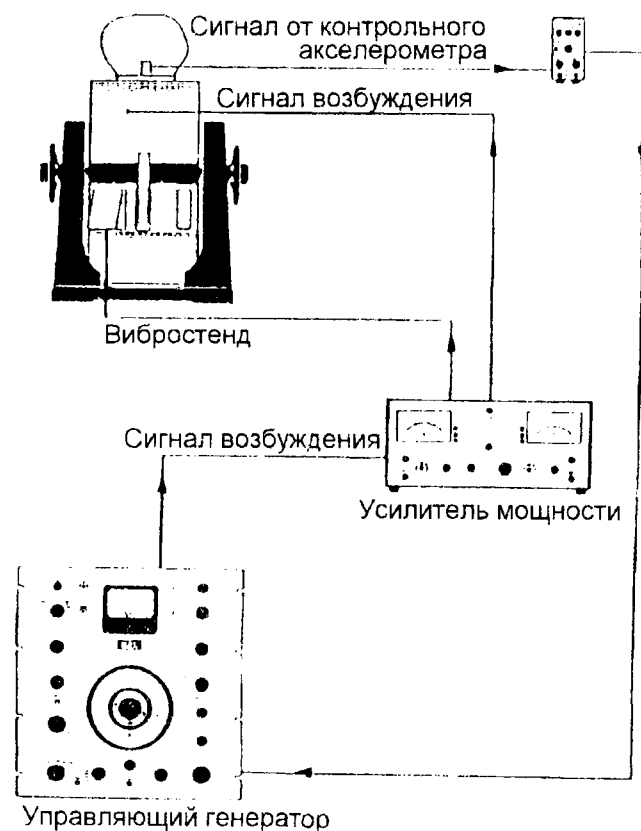


Рис. 7. Блок-схема электродинамического вибростенда.

машин (ПО «Точмашприбор») и НПО «Сейсотехника» (г.Гомель).

Многие разработки автору удалось реализовать благодаря огромному опыту и усилиям великолепных заказчиков и таких организаций, как ЦАГИ, ВИАМ, ЦНИИМАШ, КБ «Южное», ЦКБЭМ, СибНИА и других.

Сегодня уместно об этом вспомнить с большой благодарностью.

На Рис. 7 приведена блок-схема электродинамического вибростенда. К преимуществам стендов данного типа относятся:

- возможность виброиспытаний в широком диапазоне частот (5 ÷ 20000 Гц);
- весьма низкий коэффициент нелинейных искажений формы синусоидального сигнала;
- высокое быстродействие и управляемость.

Электродинамические вибростенды исходя из их функциональных и параметрических возможностей применяются также в исследованиях по обнаружению резонансов в объектах.

Охватить в одном докладе весь арсенал оборудования испытательных комплексов авиационной и ракетно-космической техники практически не представляется возможным.

Автор умышленно для краткости опустил изложение конструкций оборудования для испытания на ударные нагрузки, воздействие линейных ускорений и других видов испытаний, и в своем докладе ограничился лишь рассмотрением тех испытательных машин и стендов, разработкой которых занимался непосредственно сам в течение 28 лет в Армавирском СКБ испытательных

## ЛИТЕРАТУРА

1. H.R.Jaeckel Simulation, Duplication and Synthesis of Fatigue Load Histories Society of Automotive Engineers, INC. New York, 1970 vol 79 by.
2. S.R.Swanson Evaluating Component Fatigue Performance under Programmed Random, and Programmed Constant Amplitude Loading. SAF Paper № 690050. SAE Annual Meeting, Detroit, Mich., Jan.69.
3. Р.Д.Швалл, Система «Гидропульс» с гидравлическим сервоприводом, предназначенная для испытания материалов и деталей. Сборник научных исследований фирмы Карл Шенк, ФРГ., Дормштадт, 1975.
4. Шагинян А.С. Динамика универсальных испытательных машин с электрогидравлическим приводом. Международный симпозиум «Трибофатика-93». Гомель, 1993.
5. Шагинян А.С., Асан-Джалалов А.Г., Певнев А.А. Электрогидравлические стенды для испытаний на вибропрочность. Проблемы прочности, № 8, Киев, 1971.
6. Случайные колебания. Под ред. С.Кренделла, Мир, Москва, 1967.