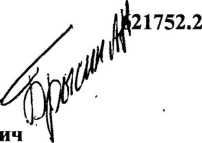
**Брысин Андрей Николаевич. Повышение эффективности виброзащитных устройств за счет введения инерционно преобразовательных блоков : диссертация ... кандидата технических наук : 01.02.06 / Брысин Андрей Николаевич; [Место защиты: Ин-т машиноведения им. А.А. Благонравова РАН]. - Москва, 2008. - 180 с. : ил. РГБ ОД, 61:08-5/487**

**РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК ИНСТИТУТ МАШИНОВЕДЕНИЯ ИМ. А. А. БЛАГОНРАВОВА**

**На правах рукописи УДК 621.01,**



**Брысин Андрей Николаев**

**04.2.00 8 12768 "**

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВИБРОЗАЩИТНЫХ УСТРОЙСТВ ЗА СЧЁТ ВВЕДЕНИЯ ИНЕРЦИОННО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ БЛОКОВ.**

**Специальность: 01.02.06 Динамика , прочность машин, приборов**

**и аппаратуры**

Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук

Научный руководитель :

доктор технических наук, профессор Синёв А. В.

**Москва - 2008 г**

**стр**

Введение 6

Глава 1. Обзор существующих вариантов ВЗУ и методов их

исследования 13

1. [Обзор задач виброзащиты 13](#bookmark2)
2. Проблемы современного машиностроения 13
3. Обзор методов виброзащиты 16
4. Выбор задачи виброзащиты 20
5. [Постановка задачи исследований \*22](#bookmark3)
6. Динамические гасители колебаний и их применение 23
7. Обзор вариантов моделей гидропреобразовательных виброзащитных устройств 29
8. [Выводы по первой главе 37](#bookmark33)

Глава 2. Разработка математических описаний объектов

[входящих в вибропроводы для систем виброзащиты 38](#bookmark8)

1. Исследование влияния связности между узлами крепления

для статически определимой системы 38

1. Исследование пространственной системы с избыточными

связями 44

1. Разработка математических описаний точек

крепления объектов, входящих в систему виброизоляции 50

1. Моделирование точки крепления на фундаменте... .. 51
2. Моделирование планера в точке крепления виброзащитного устройства 55
3. Моделирование силовой установки в точке

крепления к подкосу 59

1. Методика автоматического моделирования силовой установки в

точке крепления по экспериментальным кривым 63

[2.5 Выводы по второй главе 73](#bookmark6)

Глава 3. Исследования Математических описаний ВЗУ

учитывающих динамические параметры 74

1. Исследование математического описания ВЗУ в виде последовательной цепи «пружина — масса — пружина», устанавливаемой параллельно упругому элементу, с учетом динамических параметров 74
2. Разработка математического описания механического аналога виброзащитного устройства с одним встроенным низкочастотным фильтром в виде динамического гасителя закрепленного через упругие связи 80
3. Принцип работы виброзащитного устройства с гидравлическим преобразователем 88
4. Анализ свойств математических описаний виброзащитных устройств на основе гидравлических преобразователей 97
5. [Исследование модели динамического гасителя с гидравлическим преобразователем 104](#bookmark47)
6. Выводы по третьей главе 111

Глава 4. Исследование вариантов многочастотного гашения

и возможностей раширения области виброзащиты 113

1. Моделирование передаточных характеристик многочастотных виброзащитных систем с

гидропреобразователями на две частоты 113

1. Математическое описание ВЗУ с несколькими

фильтрами в виде последовательно соединенных элементов.... 113

1. Математическое описание ВЗУ с несколькими фильтрами

в виде параллельно соединенных элементов 118

4.2 Моделирование схем с несколькими фильтрами,

настраиваемыми на одну частотную область 121

1. Сравнение характеристик виброзащитных устройств с

одним, двумя, тремя и четырьмя фильтрами настроенными на одну частотную область 121

1. Моделирование многочастотного гашения с комбинацией

фильтров на различных частотах 124

1. Исследование модели виброзащитной системы на основе

гидроупругих преобразователей с элементами регулирования от низкочастотных колебаний силовой установки 129

1. [Выводы по четвертой главе 137](#bookmark52)

Глава 5 . Экспериментальные исследования модели динамического

гасителя с гидравлическим преобразователем движения 138

1. Характеристики комплекса применяемого при проведении испытаний модели динамического гасителя 138
2. Состав технических средств автоматизированного виброиспытательного комплекса 138
3. Характеристики элементов входящих в виброиспытательный комплекс 140
4. Возможности создания динамических гасителей с преобразователями движения 143
5. План проведения экспериментальных исследований 146
6. Изучение влияние упругих составляющих в общий вклад при демпфировании и разработка методики устранения влияния упругих составляющих при исследовании инерционных характеристик каналов на различных частотах 150
7. 1. Исследование статических характеристик упругих

элементов 150

1. Экспериментальные исследования статических характеристик

элементов динамического гасителя и моделей 151

5. 5. Исследование изменения демпфирования от увеличения

длины канала на различных частотах 151

1. Исследования каналов гидравлического преобразователя 151
2. Исследования динамического гасителя 157
3. Экспериментальное подтверждение эффекта увеличения инерционности в динамическом гасителе 157
4. Исследование передаточных характеристик динамического

гашения 163

1. Экспериментальное исследование возможности снижения

массы гасителя с гидравлическим преобразователем 165

5.8 Выводы по пятой главе 166

Общие выводы по диссертации 167

Заключение 169

Литература 171

Приложения

1. Брысин А. Н., Синёв А. В. Динамический гаситель. Патент на изобретение Российской Федерации №2256110 F16F 6/00, 15/00
2. Брысин А.Н. , Синёв А. В. Динамический гаситель колебаний.

Патент на изобретение Российской Федерации №2236617 F16F 7/10

1. Брысин А. Н., Синёв А. В Динамический гаситель. Патент на изобретение Российской Федерации №2261383 F16F 15/00
2. Брысин А.Н. , Синёв А. В. Виброизолирующая опора.

Патент на изобретение Российской Федерации №2263834 F16F 5/00

1. Синев А. В., Лебеденко И. Б., Кочетов О. С., Пашков А. И.,

Израилович М. Я., Брысин А. П., Мугин О. О., Алексеев П. С.,

Ерофеев В . И., Гордеев Б. А., Костырев С. А., Махортых С. А.,

Крук Ю. Е., Власов С. Н. Виброизолятор Патент на изобретение Российской Федерации №2263834 F16F 5/00, 9/00, 13/00

Защита от вибрации остается актуальной проблемой современного машиностроения. Постоянное повышение скоростей движения и мощности силовых установок транспортных машин приводит к возрастанию уровня колебаний, расширению вибрационного спектра действующего на конструкции.

С постоянным усложнением систем контроля и управления задача снижения динамических нагрузок на блоках управления становится не менее актуальной, чем задача прочности. Во многом от количества сбоев в них зависит надежность работы оборудования в целом. Большинство сбоев аппаратуры вызвано внешними воздействиями на элементы коммутации и электронные блоки. Следовательно, системы контроля и управления в настоящее время нуждаются в более эффективных устройствах защиты от внешних воздействий.

Кроме этого актуальна проблема эффективной защиты от вредного воздействия вибраций на человека. Задачи воздействия вибраций на человека оператора и пассажиров транспортного средства освещены в работах академика К. В. Фролова и других известных советских ученых [7, 37, 43, 75].

Проблемы защиты от внешних воздействий оператора и блоков управления тесно взаимосвязаны. Одним из путей их решения является создание новых виброзащитных устройств. Поэтому многие фирмы в России и за рубежом успешно работают над созданием новых систем виброзащиты.

Задача создания системы виброзащиты сложна и противоречива. Здесь сталкиваются проблемы амплитудного гашения внешних воздействий на защищаемый объект и стабильность взаимного положения отдельных агрегатов. Так, например, существует требование улучшения виброизоляции без снижения статической жесткости опор. Одним из эффективных способов решения этой задачи является предотвращение распространения воздействий от силовой установки по элементам конструкции. Это достигается

размещением на путях распространения колебаний устройств, препятствующих распространению колебаний по конструкции (фильтров — пробок). Задача состоит в создание более эффективных и компактных виброзащитных устройств, так как наиболее распространенные в настоящее время системы далеки от совершенства.

Современные тенденции развития систем виброзащиты направлены на внедрение и замену механических систем виброизоляции на двухкамерные и многокамерные гидравлические виброзащитные устройства (ВЗУ) с преобразовательными блоками. Такие системы широко применяются в промышленно развитых странах для защиты от внешнего воздействия вибрации чувствительного к вибрационным нагрузкам оборудования, экипажей мобильных машин и человека оператора в стационарных машинах.

Работы по изучению путей распространения вибраций [72, 74, 75] позволяют рекомендовать размещение устройств виброзащиты в местах крепления, либо на элементах крепления источников вибраций. Как показали работы ведущего специалиста ООО «Туполев» к.т.н. В. С. Бакланова системы с гасителями на механических элементах, установленными на путях распространения позволяют снизить структурный шум. Однако, недостатками применяемых в работах [8, 55, 62, 73] устройств для защиты от колебаний на низких частотах явились их большие габариты. Уменьшение габаритов систем виброзащиты для тех же условий работы требует создания более компактных виброзащитных устройств. Это возможно при использовании новых конструктивных и технических решений. Одним из решений является применение гасителей с устройствами преобразования движения.

Исследования группы советских ученых [52-55 76] показали, что возможно создание систем с преобразователями движения на механических элементах. Опираясь на теоретические работы в 70 -х 80 х годах были созданы различные варианты конструкций «винт - гайка» и другие конструкции различных ВЗУ. Теоретические работы в области систем с преобразователями движения и созданные конструкции доказали возможность осуществления на практике принципа относительного увеличения инерционности систем с механическими элементами. Это позволило снизить массы устройств виброзащиты, сохранив их эффективность в низкочастотном диапазоне.

До начала восьмидесятых годов наше отставание в научно-технических исследованиях от зарубежных разработок в области ВЗУ для низких частот было незначительным. Однако, отсутствие экспериментальных исследований в дальнейшем привело к отставанию отечественных разработок. В середине 80 -х перспективным направлением за рубежем стало создание гидравлических преобразователей движения (ГПД). С середины 90, когда уже реальные конструкции зарубежных производителей показали эффективность гидропреобразовательных устройств в системах виброзащиты, встала задача сократить отставание в области виброзащиты с использованием гидравлических преобразователей.

Зарубежный опыт в области создания ВЗУ, изложенный в работах [1, 85- 95] показал возможность создания более компактных устройств, чем конструкции с преобразователями типа «винт - гайка». В зарубежной литературе ВЗУ с преобразователями движения на гидравлических элементах называют “hydraulic engine mount” В российской технической литературе установился термин «гидроопоры». Ведущими разработчиками гидроопор за рубежом являются фирмы LORD, Boge, Metzeller, Freungenberg .

Анализ публикаций показывает на отсутствие единой математической модели гидроопоры. Кроме того, изучение зарубежных работ показало, что пассивные виброзащитные конструкции не полностью используют потенциал, заложенный в принципе гидравлического преобразования.

Значительные, по сравнению с механическими преобразователями, возможности перевода потенциальной энергии в кинетическую, широкое варьирование демпфирования и других параметров позволяют обеспечивать снижение воздействий не менее чем в 4 - 6 раз на полосе шириной 10 Гц без активных систем управления. Это соответствует изменениям частот воздействий при эксплуатации на рабочем режиме. При последовательной настройке нескольких элементов в один частотный диапазон с компенсирующими элементами возможно создание эффективного гашения на этой же полосе частот в 10 -15 раз. Кроме того, возможно создание более эффективного режима. Существуют методики создания гашения шириной 80 - 120 Гц в диапазоне от 40 до 160 Гц со снижением передачи воздействий более чем в 5 раз на краях полосы без введения активных элементов управления в схему. Зарубежные конструкции обеспечиваю снижение передачи воздействия не более чем в 2- 2,5 раза. Ширина полосы гашения в зарубежных конструкциях достигается применением систем активного управления.

В нашей стране был накоплен опыт по исследованию динамических характеристик в местах креплений силовой установки к планеру. Корректировка имеющихся математических описаний гидравлических преобразователей и создание математических описаний, учитывающих динамические характеристики, входящих в них объектов, является актуальной задачей, без решения которой невозможно создание современных систем виброзащиты. Работы [9-15, 76] подтверждают необходимость учета динамических параметров при создании систем виброзащиты.

Таким образом, опираясь на российские работы по исследованию динамических характеристик в местах креплений объектов между собой и используя зарубежный опыт создания гидравлических преобразователей движения возможно создание систем виброзащиты.

Задача диссертационной работы заключается в объединении российских и зарубежных разработок с целью создания систем виброзащиты, с учетом динамических характеристик входящих в них объектов.

Цель диссертационной работы достигается созданием простых и при этом эффективных математических описаний динамических параметров различных объектов.

На основе анализа зарубежных вариантов математических моделей выбирается базовая модель ГПД. Затем, опираясь на работы доктора технических наук А. В. Синева и др. [1, 38, 45, 46, 80] , базовая модель

уточняется и дополняется. Используя экспериментальные динамические характеристики объектов виброзащитной системы (ВЗС), в разработаны варианты математических описаний гидравлических преобразователей движения. Исследуются ВЗС для гашения внешнего воздействия на одной или нескольких частот. При замене объектов описываемых как абсолютно твердые тела (ATT) и масс на созданные математические описания динамических характеристик объектов осуществляется проверка адекватности математических описаний. В качестве базовых схем для проверки использованы классические механические системы.. В качестве экспериментального подтверждения возможностей осуществления преобразования движения в гидравлическом преобразователе представлены результаты создания динамического гасителя на гидропреобразователыюм элементе с частотой настройки на 60 Гц.

Научная новизна работы состоит в следующем:

Предложены решения для схем ВЗУ с учетом динамических параметров в точках крепления подкоса (устройства крепления) силовой установки и разработан алгоритм, позволяющий автоматически рассчитывать параметры по экспериментальным АЧХ крепления.

Математически описаны гидравлические преобразователи схем ВЗУ, учитывающие динамические характеристики в точках крепления.

На основе исследований разработаны и запатентованы схемные решения динамических гасителей со встроенными инерционно-преобразовательными блоками.

Экспериментально подтвержден эффект гашения колебаний в низкочастотной области при применении гидравлического преобразователя по относительному движению.

Положения выносимые на защиту:

1. Обоснована незначительность взаимного влияния реакций в точках крепления силовой установки к планеру и подтверждена адекватность рассмотрения пространственных возмущений в одномерном решении.
2. Обобщенные описания динамических характеристик силовой установки, рамы стенда и планера самолета через характеристики в точке крепления ВЗУ.
3. Методика расчета параметров моделей силовой установки в точке крепления по экспериментально определимым частотам и демпфированию математического описания реакции.

4 Аналитическое описание ВЗУ с гидравлическим преобразователем

движения с последовательным и параллельным расположением диссипативного и инерционного каналов, учитывающие динамические характеристики системы «силовая установка - подкос - основание (планер самолета, рама стенда)».

Практическая ценность работы.

Разработанные математические описания и алгоритм расчета позволяют учитывать динамические характеристики в точке крепления на этапе проектирования, проводить моделирование динамического поведения конструкций в процессе летных и стендовых испытаний, упрощают интерпретацию полученных экспериментальных данных. Практическая ценность диссертационной работы обусловлена её прикладной направленностью. Разработаны и предложены различные конструкции динамических гасителей, встраиваемые в подкосы и применяемые для гашения колебаний панелей. Разработаны схемы виброизолирующих опор с гидравлическими преобразователями по относительному движению. Предложено математическое описание регулируемого подкоса с учётом динамических характеристик в местах крепления.

Апробация.

Материалы диссертации были представлены и обсуждались на 5 - ой Международной конференции «Проблемы колебаний» (ICOVP-2001) 8 - 10 октября 2001, (Москва, ИМАШ); XIII конференции молодых учёных, аспирантов и студентов «Современные проблемы машиноведения» 4-5 декабря 2001 года, (Москва); Московской конференции молодых учёных

«Научно технические проблемы развития Московского мегаполиса» 19-21 ноября 2002 года, (Москва); XXVIII Международном научно-техническое совещание по проблемам прочности двигателей 26 - 28 ноября 2002 года, (Москва); XIV симпозиуме Динамика виброударных (сильно нелинейных) систем. (Москва - Звенигород 2003), семинаре «Упаковка из пластика и комбинированных материалов» 3- 4 июня 2003 (Москва); Юбилейной XV интернет-конференции молодых ученых, аспирантов и студентов 3-5 декабря 2003 года, (Москва)., и др конференциях в период с 2004 по 2007

Заключение

В ходе выполнения работы были рассмотрены варианты постановки гидропреобразовательного блока в виброзащитную опору с настройкой на один и несколько диапазонов. В моделях учтено влияние динамических свойств в местах крепления. Экспериментально исследованы физические модели с опоры и динамического гасителя.

Вопросы учета динамических свойств объекта при решении задачи виброзащиты изложены в работах [11, 26, 27 ,28, 69 ]

Моделирование механических и гидромеханических виброзащитных систем настраиваемых на один частотный диапазон рассмотрено в работах [28 ,68, 81 ] По результатам моделирования в соавторстве разработан патент [82]

На основе результатов моделирования многочастотных виброзащитных систем был разработан патент на виброизолирующую опору [ 34] результаты опубликованы в работах [11, 66 ]

По материалам создания системы регулирования с гидро преобразователем получен акт внедрения результаты представлены в работах [ 30, 61, 67 ];

По результатам теоретических исследований динамического гасителя создана физическая модель на которую получен патент [ 33 ] результаты изложены в работах [ 25, 27, 69]. Опираясь на результаты экспериментальных исследований разработаны конструкции динамических гасителей на которые получены патенты [ 31, 32 ]

На наиболее эффективным путем решения проблем снижения воздействия вибраций является создание систем виброзащиты с применением эффектов увеличения инерционности по относительному движению на гидравлических преобразователях.

Исследования проведенные в работе показали, что перспективным является создание на базе разработанных моделей систем много частотного гашения их экспериментальное исследование для подтверждения теоретически

*і*

определимых резонансов от постанови каскадов гидравлических преобразователей при настройке на разные частоты и отсутствия резонансов при настройке их на одну частоту.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.

1. Аббакумов Е. И. , Гордеев Б. А. , Ерофеев В. И. , Синёв А. В. , Ложкин Ф. В. Исследования гидравлических виброопор с различными рабочими жидкостями. // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2002 , №2 с 33 -36
2. Агафонов В.К., Бакланов B.C., Вуль В.М., Попков В.И. Исследование динамических характеристик двигателя, стенда и объекта в местах опорных связей. В сб. Вибрационная прочность и надежность двигателей и систем летательных аппаратов, КуАИ, 1980, с. 62-68.
3. Агафонов В. К., Бакланов В. С., Вуль В. М., Попков В. И., Попов А. В. Исследование динамических и виброакустических характеристик самолета и двигателя методом тарированного тестирования. Доклады УШ научно- техн. конф. по аэроакустике, ЦАГИ, М., 1990, с. 141-144.
4. Агафонов В.К., Бакланов B.C., Вуль В.М., Попков В.И., Попов А.В. Исследование виброакустических и динамических характеристик самолета и двигателя в местах опорных связей. - В сб. Борьба с шумами и вибрацией. Л, 1991, с. 121-131.
5. Алабужев П. М. , Мищенко В. Я., Яцун С. Ф. Оценка предельных возможностей противоударной аммортизации // Динамика управляемых механических систем. Иркутск: ИЛИ, 1982. с. 82-91
6. Андронов А. А. , Витт А. А., Хайкин С. Э. Теория колебаний , изд 2-е , Физмат из, 1959
7. Артоболевский И. И., Бобровницкий Ю. И., Генкин М. Д. Введение в акустическую динамику машин. М., Наука. Главная редакция физико- математической литературы, 1979, 296 с
8. Бабицкий В. И. Теория виброударных систем. -М.,: Наука , 1965,. 560 с.
9. Бакланов B.C. Динамическая модель ГТД по результатам исследования динамических податливостей корпусов двигателей. Межд. Научная конф. “Двигатели XXI века”, ЦИАМ, М: 2000, Тезисы докладов, ч. 1, с. 256 - 257
10. Бакланов B.C. Виброизоляция ГТД с учетом реальных динамических характеристик двигателя и основания. Сб. Новые методы и средства звуко- и виброизоляции в промышленности и на транспорте. JL, 1989, с.50-56
11. Бакланов В. С. , Брысин А. Н., Синёв А. В. Создание двухсторонней защиты в системе «силовая установка - система виброизоляции - корпус» XXVIII Международное научно-техническое совещание по проблемам прочности двигателей 26 - 28 ноября 2002 года, Москва , 2002, Тезисы докладов, с. 9- 10.
12. Бакланов В. С., Вуль В. М. Влияние связанных колебаний сложных динамических систем на оценку эффективности виброизоляции. Доклады X акустической конференции, М., 1983, с. 65-68.
13. Бакланов В. С., Вуль В. М.. Вибродиагностика агрегатов силовой установки с помощью системы контроля вибрации двигателя .Сб. Вибрационная прочность КуАИ, 88, с. 11 - 16.
14. Бакланов В. С., Горобцов А.С., Карцов С. К., Синёв А. В., Фролов В. В. Анализ реактивных свойств динамических жесткостей и передаточных функций гидроопор. Проблемы машиностроения и надежности машин. №3, 1999, с. 31-37
15. Бакланов B.C., Горобцов А.С., Карцов С.К., Синёв А.В., Фролов В.В. Анализ реактивных свойств динамических жесткостей и передаточных функций гидроопор при введении промежуточных масс. Проблемы машиностроения и надежности машин. №1, 2000, с. 10-15
16. Бакланов B.C., Гальперин С.Б., Пемов А.В. Динамическое воздействие силовой установки на планер самолета (оценка и мера снижения). 5-й Межд. научно-техн. симпозиум “Авиационные технологии XXI века”. 1999. Труды ЦАГИ, т.1, с.860-864.