

УДК 621.22-225

**Е.В. Шахматов**

Самарский государственный  
аэрокосмический университет  
имени академика С.П. Королёва  
(национальный исследовательский  
университет)(СГАУ)  
Московское шоссе, 34,  
г. Самара, Российская Федерация,  
443086  
Shakhm@ssau.ru

## КОМПЛЕКСНОЕ РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМ ДИНАМИКИ И ВИБРОАКУСТИКИ МАШИН

*Приведены разработанные при непосредственном участии автора методы и средства комплексного решения проблем динамики и виброакустики машин. Представлен материал по подавлению колебательных процессов в пневмогидравлических системах, вибраций и шума в системах аэрокосмических изделий и наземных технологических установок. Перечислены примеры решения задач по защите ряда изделий от пульсаций давления, вибраций и шума.*

**Ключевые слова:** Динамические процессы, пульсации давления рабочих сред, вибрации, шум, гасители пульсаций, демпферы, глушители шума, разработки, внедрение.

### 1 Введение

Работоспособность, ресурс и качество изделий машиностроения и аэрокосмической техники в значительной степени зависят от интенсивности гидродинамических и виброакустических процессов, к которым следует отнести пульсации рабочих сред, вибрацию механических элементов, излучаемый агрегатами системами шум.

Повышение удельной мощности и энергооборужённости изделий, снижение их габаритов и массы увеличивают интенсивность виброакустических процессов, в подавляющем большинстве случаев оказывающих негативное, дестабилизирующее воздействие на работоспособность, надёжность и ресурс:

- динамические нагрузки вызывают прочностные и усталостные поломки изделий;
- дестабилизируется работа устройств автоматики, повышается статическая погрешность систем регулирования, снижается их динамическое качество;
- ухудшаются условия контроля состояния машин, затрудняются измерения параметров рабочих процессов.

Повышенные шум и вибрация негативно воздействуют на оператора изделия, снижая его производительность и нанося вред здоровью. Особое значение исследованиям виброакустических процессов придаётся в аэрокосмической технике, наземном транспорте, на надводном и подводном флоте, для кото-

рых виброакустические характеристики являются важными техническими параметрами объектов.

Проблема снижения интенсивности виброакустических процессов в механических и гидрогазовых системах (ГГС) носит комплексный характер, её решение обеспечит работоспособность и не только улучшенные технические характеристики машин и оборудования, увеличит эффективность работы системы «человек-машина», но имеет и огромное социальное значение.

Виброакустика машин тесно связана с их динамикой. Исследованию динамических процессов в машинах посвящено множество научных трудов, среди которых следует отметить работы Ганиева Р.Ф., Гликмана Б.Ф., Колесникова К.С., Кузнецова Н.Д., Попова Д.Н., Соифера А.М., Фролова К.В., Шорина В.П.

Проблемы виброакустики рассматриваются в работах Иванова Н.И., Клюкина И.И., Кузнецова А.В., Луканина В.Н., Месхи Б.Ч., Мунина А.Г., Никифорова А.С., Осипова Г.Л., Тартаковского Б.Д., Тольского В.Е., Халецкого Ю.Д., Юдина Е.Я. и других.

В дальнейшем весь изложенный материал базируется на публикациях автора и других учёных [1-20].

## 2 Виброакустика машин

В нашем понимании виброакустика машин рассматривается как междисциплинарное направление в науке, изучающее:

- 1) генерацию и распространение упругих колебаний в машинах в виде взаимодействующей совокупности пульсаций рабочей среды, вибрации механических элементов, излучаемого шума;
- 2) воздействие виброакустических процессов на работоспособность машин.

В виброакустике машин основной задачей является разработка комплексного подхода к исследованию и коррекции виброакустических процессов в машинах и оборудовании как взаимодействующей совокупности пульсаций рабочей среды, вибрации механических элементов и излучаемого шума с учётом акустических и гидродинамических (в том числе вихревых) возмущений.

В рамках данного общего подхода решаются следующие задачи:

- обеспечение работоспособности машин в условиях виброакустических нагрузок;
- проектирование и разработка машин, обладающих низкой виброакустической нагруженностью, и малошумных машин;
- снижение затрат (временных и материальных) на виброакустическую доводку машин;
- проектирование средств коррекции виброакустических характеристик машин;
- разработка методов и средств диагностики машин по виброакустическим полям;
- создание виброакустических технологий промывки и испытания гидравлических систем;
- разработка акустических бесконтактных методов и средств измерения пульсаций давления и вибрации изделий машиностроения и аэрокосмической техники.

Одним из основных источников колебаний и шума в изделиях машиностроения и

аэрокосмической техники является возмущённая рабочая среда, процессы распространения возмущений в которой описываются уравнениями механики жидкости: Навье-Стокса, неразрывности, энергии. Рассмотрение указанных уравнений позволяет выделить три основных типа возмущений, распространяющихся в жидкости - акустическое, вихревое и энтропийное (тепловое). Возмущённое состояние рабочей среды для большого класса технических систем, в которых отсутствует интенсивные источники тепла, описывается взаимодействием акустической и вихревой мод возмущений.

Разработка методов и средств снижения интенсивности виброакустических процессов в машинах должна вестись с учётом особенностей возбуждения и взаимодействия этих мод. Интенсивность вихревых возмущений, связанных с турбулентным вихревым потоком, во многом зависит от его скорости, плотности рабочей среды и гидродинамического совершенства проточной части. Интенсивность волновых акустических процессов зависит от колебательной мощности источника, инерционных и упругих свойств среды и конструкции.

Высокое виброакустическое качество техники может быть обеспечено только за счёт совместного применения методов коррекции (рисунок 1):

- виброакустического состояния систем за счёт коррекции виброакустических характеристик источника, применения гасителей колебаний, средств виброизоляции, вибродемпфирования, звукопоглощения и звукоизоляции;
- гидродинамического (вихревого) состояния потоков рабочей среды за счёт улучшения гидродинамического качества каналов и гидрогазовых трактов машин, применения глушителей шума выхлопных струй.

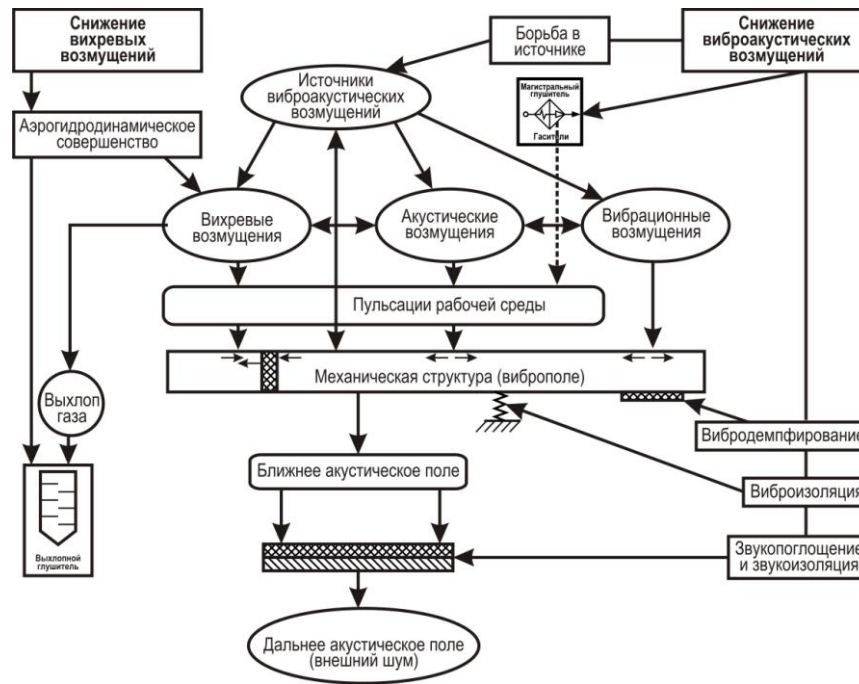


Рисунок 1. Комплексный подход к решению проблем виброакустики машин

### 3 Подавление вибраций конструкций и пульсаций рабочей среды

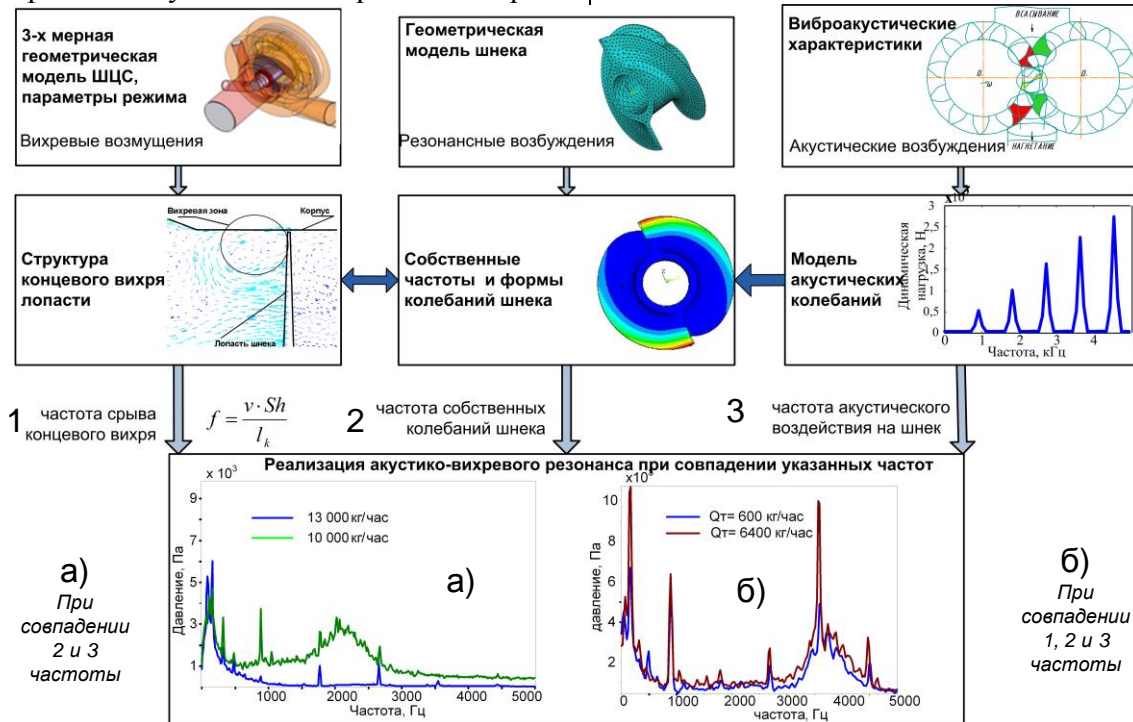
Наиболее эффективным методом снижения колебаний в машинах является метод подавления вибрации и пульсаций рабочей среды в источнике. Наибольший вклад в виброакустическую активность изделий машиностроения вносят двигатели, насосы, компрессоры, гидрогазовые дроссели, другие источники с интенсивными гидродинамическими и кавитационными процессами, включая свободные турбулентные струи. Распространение упругих колебаний от источника по рабочей среде реализуется в виде продольных акустических волн. Для их эффективного подавления применяются гасители колебаний и каналные глушители шума. Передача вибрационных возмущений по механической структуре машины осуществляется упругими продольными и поперечными волнами (изгибными, сдвиговыми и пр.).

Широкое применение в авиационных системах нашли комбинированные насосные агрегаты, содержащие подкачивающие шнекоцентробежные и основные шестерённые

ступени. Такие агрегаты представляют собой сложную динамическую систему, в которой помимо эффектов усиления колебаний вследствие виброакустического взаимодействия ступеней, реализуются и гидродинамические эффекты, присущие лопастным гидромашинам. Установлено, например, что интенсивным источником возбуждения колебаний является концевая вихрь, периодически срывающийся с острых кромок лопастей шнека. Вихревые возмущения, взаимодействуя с пульсационными воздействиями от шестерённой ступени, вызывают колебания лопасти шнека, значительно увеличивающиеся при резонансах. Увеличение вибрации лопасти приводит к интенсификации пульсаций давления, вызванных вихревыми возмущениями. Таким образом, реализуется акустико-вихревой резонанс лопасти насоса, приводящий к значительной динамической нагруженности конструкции (рисунок 2). Данный пример иллюстрирует эффекты взаимодействия виброакустических и гидродинамических возмущений, имеющих различную физическую природу, математическое описание и способы коррекции.

Адекватность модели взаимодействия вихревых возмущений в шнекоцентрированной ступени с колеблющимися лопастями шнека с учётом виброакустического влияния шестеренной ступени подтверждается срав-

нением спектров пульсаций давления на входе в насос, полученных экспериментально и в результате расчета.



### Пульсации в шнековом преднасосе

Рисунок 2. Моделирование акустико-вихревого резонанса

Эффективным средством снижения пульсаций давления, генерируемых насосными агрегатами и другими источниками виброакустической нагруженности пневмогидромеханических систем, является применение специальных устройств – гасителей колебаний жидкости. Положительное влияние гасителей не ограничивается только эффектами снижения колебаний рабочей жидкости, но и приводит к снижению уровня вибрации и шума, излучаемого гидромеханическими системами; повышению усталостной прочности; уменьшению переменных напряжений в трубопроводных системах, вызываемых пульсирующим потоком рабочей среды.

Разработана система критериев оценки эффективности действия гасителей:

- критерии, оценивающие эффективность снижения пульсационных процессов - коэффициент вносимого затухания ( $K_{вн}$ ), коэф-

фициент бегущей волны ( $K_B$ ) (предложены В.П. Шориным);

- критерий, оценивающий изменение быстродействия системы после введения в нее гасителя колебаний -  $K_r$  (предложен Е.В. Шахматовым);

- критерий, оценивающий эффективность снижения вибрационных нагрузок – коэффициент изменения вибрации ( $K_{ив}$ ) (предложен А.Б. Прокофьевым).

На базе анализа и обобщения внедрённых в промышленность гасителей колебаний разработаны обобщённая расчётная модель и классификация гасителей (рисунок 3), включающая схемы, начиная от простейших гасителей (блок А) и заканчивая многоконтурными гасителями (блок Д).

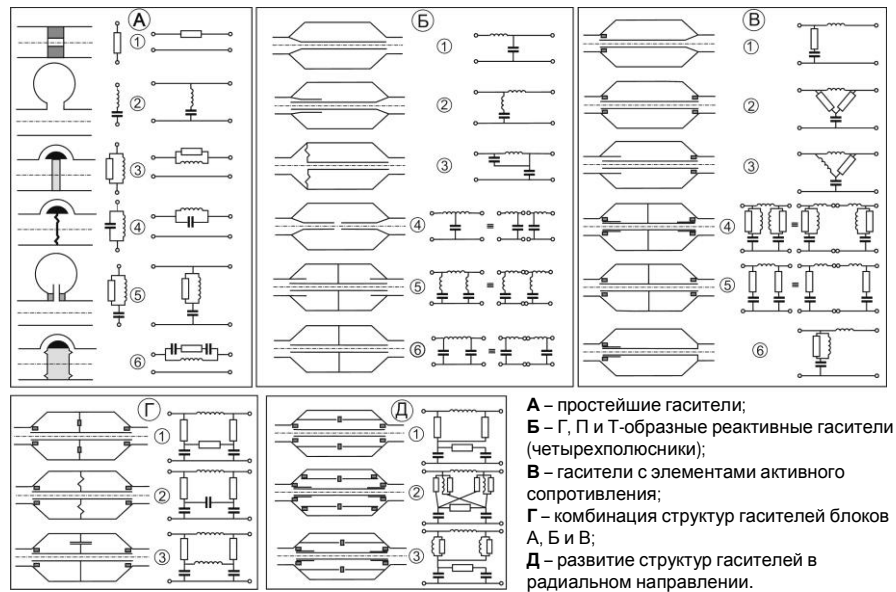


Рисунок 3. Классификация гасителей колебаний жидкости

#### 4 Обеспечение устойчивости систем

Устойчивость пневмогидромеханических систем обеспечивается двумя способами: увеличением демпфирования подвижных элементов и воздействием на присоединённую гидравлическую цепь. В ракетной технике агрегатом, склонным к неустойчивой работе, является регулятор давления в ёмкости. В ходе испытаний регулятора отмечаются автоколебательные режимы работы с высоким (порядка 100 дБА) тональным шумом, напоминающим «гул». Разборка регулятора показала надирь на направляющих запорно-регулирующего элемента и поверхности тарели и седла клапана, связанные с указанным выше режимом работы.

Причинами автоколебаний в клапанах являются нелинейная статическая характеристика силы трения и нелинейность статической силовой характеристики, т.е. зависимости подъёмной аэродинамической силы газового потока от высоты перемещения тарели.

Существенное влияние на устойчивость или возникновение автоколебаний оказывает система, в которую устанавливается регулятор (клапан). Устранить автоколебания можно с помощью корректирующих устройств или конструктивных изменений в регуляторе (рисунок 4).

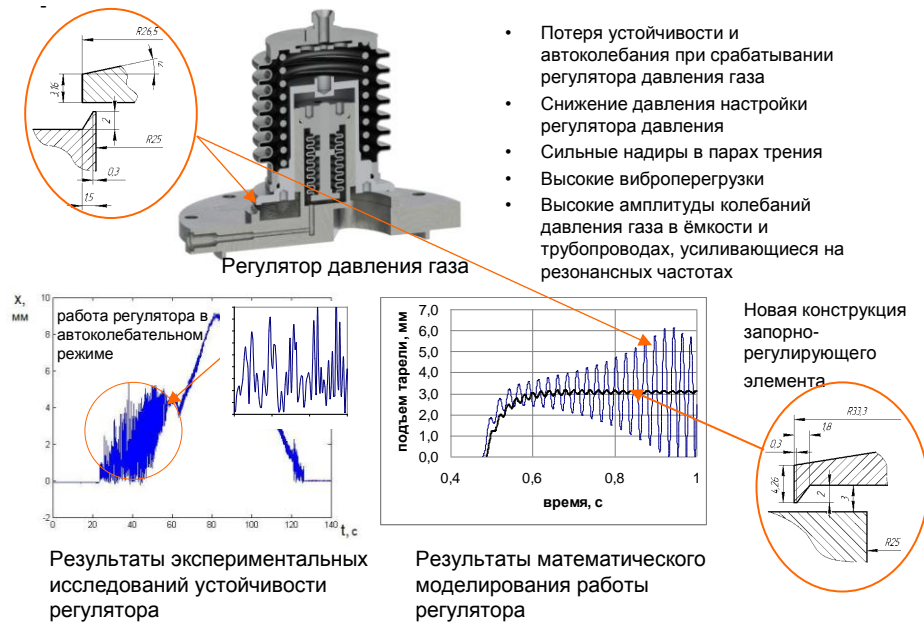


Рисунок 4. Устранение автоколебаний регулятора давления при доводке на испытательном стенде

Работа пневматического производственного оборудования сопровождается шумом, генерируемым выхлопом сжатого воздуха. Реализацию мероприятий по снижению шума зачастую начинают с установки глушителей, которые снижают мощность системы, но в ряде случаев нарушают её нормальное функционирование. Необходим рациональный подбор параметров глушителей таким образом, чтобы не снизить работоспособность системы.

С использованием разработанных математических моделей и методов экспериментального исследования динамических и акустических процессов в пневматическом про-

изводственном оборудовании спроектированы изготовлены и внедрены пневматические глушители ИАМ (рисунок 5).

В результате проведения сравнительных испытаний пневмоглушителей различного производства установлено, что лучшими акустическими характеристиками обладают Herion и разработанные глушители ИАМ при соизмеримом гидравлическом сопротивлении. Однако глушители ИАМ обладают значительно большим доремонтным ресурсом и тем самым улучшают эксплуатационные характеристики производственного оборудования.



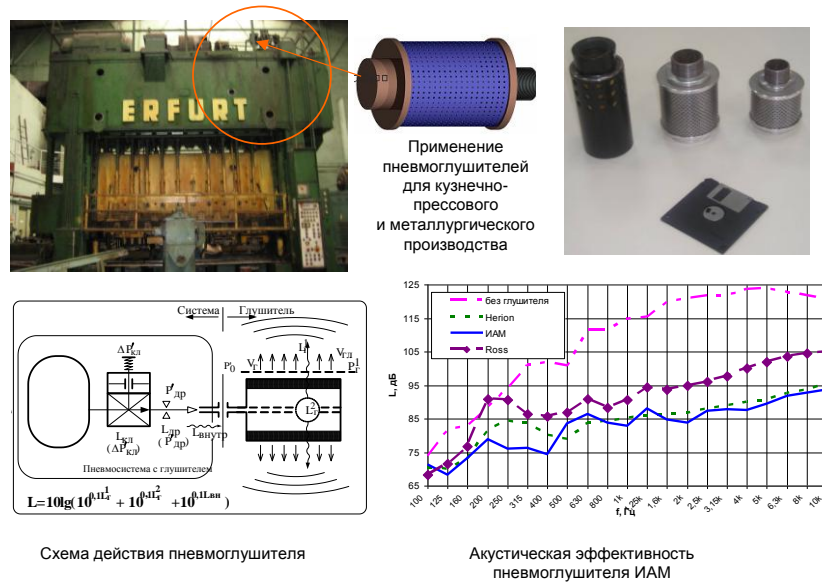


Рисунок 5. Снижение шума технологического оборудования

### Заключение

На основе созданной теоретической и экспериментальной базы были разработаны и внедрены:

- защищённые патентами высокоэффективные гасители колебаний в гидравлической системе самолёта АН-124;
- корректирующие устройства в топливной системе двигателей Д-18Т и НК-25, обеспечивающие повышение их надёжности и ресурса;
- мероприятия, обеспечивающие устойчивость регуляторов пневмогидросистем изделий ракетно-космической техники, а также работоспособность испытательных стендов, на предприятиях ОАО «Моторостроитель», ОАО «СНТК им. Н.Д. Кузнецова», ОАО «СКБМ», ГНП РКЦ «ЦСКБ-Прогресс»;
- на предприятиях ОАО «АвтоВАЗ», ОАО «Серпуховский автомобильный завод», ОАО «СЗТС» глушители шума выхлопа производственного оборудования, которые превосходят зарубежные аналоги по эффективности и экономическим характеристикам;
- методы и средства снижения динамических нагрузок маслосистем стационарных энергоустановок ТЭЦ.

Успешно решены вопросы снижения вибрации и шума в подвесках жидкостных ракетных двигателей производства ФГУП

«КБ Химв Автоматики», ГKB «Южное» им. М.К. Янгеля (Украина).

### Список использованных источников

1. Быстров, Н.Д. Акустические методы и средства измерения пульсаций давления [Текст]/Н.Д. Быстров, А.Г. Гимадиев, Е.В. Шахматов, В.П. Шорин. Самара.: изд-во СГАУ, 2007. 132 с.
2. Ганиев, Р.Ф. Волновые машины и технологии [Текст] / Р.Ф.Ганиев. – М.: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика». 192 с.
3. Гаспаров, М.С. Гидродинамика и виброакустика комбинированных насосных агрегатов [Текст] / М.С. Гаспаров, А.Н. Крючков, Е.В. Шахматов, В.П. Шорин. – Самара.: изд-во СГАУ, 2006. – 86 с.
4. Гаспаров, М.С. Применение вейвлет-анализа при исследовании кавитации насосных агрегатов [Текст] / М.С. Гаспаров, А.Н. Крючков, Е.В. Шахматов, Л.В. Родионов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2006. Т. 8. № 4. С. 1131-1135.
5. Гимадиев, А.Г. Снижение виброакустических нагрузок в гидромеханических системах [Текст] / А.Г. Гимадиев, А.Н. Крючков, В.В. Леншин, А.Б. Прокофьев, Е.В. Шахматов, Г.В. Шестаков, Ю.В.П. Шорин; Под. ред. Е.В. Шахматова, В.П. Шорина. – Самара.: изд-во СГАУ, 1998. – 270 с.
6. Головин, А.Н. Гасители колебаний для гидравлических систем [Текст] / А.Н. Головин, В.П. Шорин. - Самара: Изд-во СНЦ РАН, 2005. - 168 с.
7. Иголкин, А.А. Исследование влияния подачи воздуха во всасывающую магистраль центробежного насоса на его виброакустические характеристики [Текст] / А.А. Иголкин, А.Н. Крючков, А.Б. Прокофьев, Е.В. Шахматов // Вестник Самарского государст-

- венного аэрокосмического университета им. академика С.П. Королёва. 2002. № 1. С. 78-83.
8. Иголкин, А.А. О применении различных типов микрофонов при измерениях в импедансной трубе [Текст]: / А. А. Иголкин, А. И. Сафин, Е. В. Шахматов. - Вектор науки ТГУ, 2011.
9. Иголкин, А.А. Снижение колебаний и шума в пневмогидромеханических системах [Текст]/ А.А. Иголкин, А.Н. Крючков, Г.М. Макарьянц, А.Б. Прокофьев, С.П. Прохоров, Е.В.Шахматов, В.П. Шорин; Под ред. Е.В. Шахматова, В.П. Шорина.- Самара.: СГАУ, 2005.-314 с.
10. Иголкин, А.А. Снижение колебаний рабочей среды и шума пневматического производственного оборудования и инструмента [Текст]: дисс.канд.техн. наук: 2005.- Самара., 2005.- 203 с.
11. Иголкин, А.А. Снижение шума узлов редуцирования / А.А. Иголкин, И.Г. Рыбалкин, А.Н. Крючков, А.И. Кох. Санкт-Петербург, 2011.
12. Крючков, А.Н. Снижение колебаний и шума в гидромеханических и газовых системах [Текст]/ дисс. ... докт. техн. наук: 2006/ Крючков Александр Николаевич. – Самара., 2006 – 297 с.
13. Макарьянц, Г.М. Моделирование виброакустических характеристик трубопровода с использованием метода конечных элементов [Текст] / Г.М. Макарьянц, А.Б. Прокофьев, Е.В. Шахматов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2002. Т. 4. № 2. С. 327-333.
14. Миронова, Т.Б. Разработка конечноэлементной модели виброакустических процессов в трубопроводе с пульсирующим потоком рабочей жидкости [Текст] / Т.Б. Миронова, А.Б. Прокофьев, Е.В. Шахматов // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С.П. Королёва. 2008. № 3. С. 157-162.
15. Прокофьев, А.Б. Моделирование виброакустических процессов в трубопроводных системах [Текст] / А.Б. Прокофьев, Е.В. Шахматов. – Самара.: изд-во СГАУ, 2008. – 168 с.
16. Шахматов, Е.В. Методы и средства коррекции параметров динамических процессов в гидромеханических и топливных системах двигателей летательных аппаратов. Т.1, 2. Дисс. ... докт. техн. наук. - Самара: СГАУ, 1993.
17. Шахматов, Е.В. Экспериментальное исследование влияния параметров разгрузочных канавок на пульсационное состояние шестеренного насоса [Текст]/ Г.О. Белов, А.Н. Крючков, Л.В. Родионов, Е.В. Шахматов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук, 12 (2010), 4, С. 157-160.
18. Шорин, В.П. Особенности систем топливопитания и регулирования авиационных газотурбинных двигателей на криогенном топливе [Текст] / В.П.Шорин, С.М.Игначков, Е.В. Шахматов, А.Е. Жуковский, В.А. Козлов, А.Ф. Малеев, А.А. Горячкин, В.Н. Коняшкин. – Самара: Изд-во СГАУ, 1998 -148 с.
19. Шорин, В.П. Проектирование гасителей колебаний для гидравлических систем управления [Текст]/ В.П. Шорин, А.Г. Гимадиев, Е.В. Шахматов // Известия Академии наук СССР. Энергетика и транспорт. 1987. С. 127.
20. Шорин, В.П. Устранение колебаний в авиационных трубопроводах [Текст] / В.П. Шорин. - М.: Машиностроение, 1980. -156с.



## COMPREHENSIVE SOLUTION OF MACHINE DYNAMICS AND VIBROACOUSTICS PROBLEMS

**Evgeniy V. Shakhmatov**

Samara State Aerospace University  
(SSAU)  
Moskovskoe shosse, 34, Samara,  
443086, Russian Federation  
Shakhm@ssau.ru

*The following items are presented in the work:*

*Developed with the author's direct participation methods and techniques of comprehensive solution of machine dynamics and vibroacoustics problems.*

*Extensive information on vibration suppression processes in pneumatic-hydraulic systems, suppression of vibrations and noise in systems of aerospace products and ground process units.*

*Samples of successfully solved tasks on protection of the products against pressure oscillation, vibrations and noise.*

**Key words:** *Dynamic processes, process pressure oscillations, vibrations, noise, comprehensive solution of problems, pressure snubbers, dampers, noise suppression devices, designs, implementation*

### References

1. Bystrov, N.D. Akusticheskie metody i sredstva izmerenija pul'sacij davlenija [Tekst]/N.D. Bystrov, A.G. Gimadiev, E.V. Shahmatov, V.P. Shorin. Samara.: izd-vo SGAU, 2007. 132 s.
2. Ganiev, R.F. Volnovye maShiny i tehnologii [Tekst] / R.F.Ganiev. – M.: NIC «Reguljarnaja i haoti-cheskaja dinamika». 192 s.
3. Gasparov, M.S. Gidrodinamika i vibroakustika kombinirovannyh nasosnyh agregatov [Tekst] / M.S. Gasparov, A.N. Krjuchkov, E.V. Shahmatov, V.P. Shorin. – Samara.: izd-vo SGAU, 2006. – 86 s.
4. Gasparov, M.S. Primenenie vejjvlet-analiza pri issledovanii kavitacii nasosnyh agregatov [Tekst] / M.S. Gasparov, A.N. Krjuchkov, E.V. Shahmatov, L.V. Rodionov.: Izvestija Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk. 2006. T. 8. № 4. S. 1131-1135.
5. Gimadiev, A.G. Snizhenie vibroakusticheskih nagruzok v gidromehamicheskikh sistemah [Tekst] / A.G. Gimadiev, A.N. Krjuchkov, V.V. LenShin, A.B. Prokof'ev, E.V. Shahmatov, G.V. SHestakov, V.P. Shorin; Pod. red. E.V. Shahmatova, V.P. Shorina. – Samara.: izd-vo SGAU, 1998. – 270 s.
6. Igolkin, A.A. Issledovanie vlijanija podachi voz-duha vo vsasyvajuShhuju magistral' centrobezhnogo nasosa na ego vibroakusticheskie harakteristiki [Tekst] / A.A. Igolkin, A.N. Krjuchkov, A.B. Prokof'ev, E.V. Shahmatov.: Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo ajerokosmicheskogo universiteta im. akademika S.P. Koroljova. 2002. № 1. S. 78-83.
7. Igolkin, A.A. O primenenii razlichnyh tipov mikrofonov pri izmerenijah v impedansnoj trube [Tekst]:/ A. A. Igolkin, A. I. Safin, E. V. Shahmatov. - Vektor nauki TGU, 2011.
8. Igolkin, A.A. Snizhenie kolebanij i Shuma v pnevmogidromehamicheskikh sistemah [Tekst]/ A.A. Igolkin, A.N. Krjuchkov, G.M. Makar'janc, A.B. Prokof'ev, S.P. Prohorov, E.V.Shahmatov, V.P. Shorin; Pod red. E.V. Shahmatova, V.P. Shorina.- Samara.: SGAU, 2005.-314 s.
9. Igolkin, A.A. Snizhenie kolebanij rabochej sredy i Shuma pnevmaticheskogo proizvodstvennogo oborudovaniya i instrumenta [Tekst]: diss.kand.tehn.. nauk: 2005.- Samara., 2005.- 203 s.
10. Igolkin, A.A. Snizhenie Shuma uzlov reducirova-nija / A.A. Igolkin, I.G. Rybalkin, A.N. Krjuchkov, A.I. Koh. Sankt-Peterburg, 2011.
11. Krjuchkov, A.N. Snizhenie kolebanij i Shuma v gid-romehamicheskikh i gazovyh sistemah [Tekst]/ diss. dokt. tehn. nauk: 2006/ Krjuchkov Aleksandr Nikolaevich. – Samara., 2006 – 297 s.
12. Makar'janc, G.M. Modelirovanie vibroakusticheskih harakteristik truboprovoda s ispol'zovaniem metoda konechnykh jelementov [Tekst] / G.M. Makar'janc, A.B. Prokof'ev, E.V. Shahmatov.: Izvestija Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk. 2002. T. 4. № 2. S. 327-333.
13. Mironova, T.B. Razrabotka konechnojelementnoj modeli vibroakusticheskih processov v truboprovode s pul'sirujuShhim potokom rabochej zhidkosti [Tekst] / T.B. Mironova, A.B. Prokof'ev, E.V. Shahmatov.: Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo ajerokosmicheskogo universiteta im. akademika S.P. Koroljova. 2008. № 3. S. 157-162.
14. Prokof'ev, A.B. Modelirovanie vibroakusticheskih processov v truboprovodnyh sistemah [Tekst] / A.B. Prokof'ev, E.V. Shahmatov. – Samara.: izd-vo SGAU, 2008. – 168 s.

15. Shahmatov, E.V. Metody i sredstva korekcii pa-rametrov dinamicheskikh processov v gidromehaniche-skih i toplivnyh sistemah dvigatelej letatel'nyh apparatov. T.1, 2. Diss. na soisk... d.t.n. - Samara: SGAU, 1993.
16. Shahmatov, E.V. JEksperimental'noe issledovanie vlijaniya parametrov razgruzochnyh kanavok na pul'sacionnoe sostojanie Shesterennogo nasosa [Tekst]/ G.O. Belov, A.N. Krjuchkov, L.V. Rodionov, E.V. Shahmatov. -Izvestija Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj aka-demii nauk, 12 (2010), 4, S. 157-160.
17. Shorin, V.P. Osobennosti sistem toplivopitanija i regulirovanija aviacionnyh gazoturbinyh dvigatelej na kriogennom toplive [Tekst] / V.P.Shorin, S.M.Ignachkov, E.V. Shahmatov, A.E. ZHukovskij, V.A. Kozlov, A.F. Maleev, A.A. Gorjachkin, V.N. KonjaShkin. – Samara: Izd-vo SGAU, 1998 -148 s.
18. Shorin, V.P. Proektirovanie gasitelej kolebanij dlja gidravlicheskih sistem upravlenija [Tekst]/ V.P. Shorin, A.G. Gimadiev, E.V. Shahmatov: Izvestija Aka-demii nauk SSSR. JEnergetika i transport. 1987. S. 127.
19. Shorin, V.P. Ustranenie kolebanij v aviacionnyh truboprovodah [Tekst] / V.P. Shorin. - M.: MaShinostroenie, 1980. -156s.