

ЛАЗЕРНО-КОМПЬЮТЕРНАЯ СИСТЕМА ПОЛУЧЕНИЯ И АНАЛИЗА СПЕКЛ-ИНТЕРФЕРОГРАММ ВИБРИРУЮЩИХ ОБЪЕКТОВ

©1999 Д.С. Еленевский, Ю.Н. Шапошников

Самарский научно-инженерный центр автоматизированных прочностных испытаний и диагностики машин

Описана конструкция электронного корреляционного спекл-интерферометра, в котором высококонтрастная интерференционная картина вибрирующего на резонансной частоте объекта образуется непосредственно в памяти компьютера.

В процессе доводки высоконагруженных энергетических машин по прочности и надежности особое место занимает определение собственных частот и форм колебаний элементов конструкций. Исследования полей вибросмещений, деформаций и напряжений, развития усталости тесно связаны со знанием форм колебаний, поскольку они проводятся при колебаниях на резонансных частотах [1].

Одним из основных экспериментальных методов определения собственных частот и форм колебаний натуральных объектов является голографическая интерферометрия [2]. Однако, голографический процесс требует высококонтрастных регистрирующих материалов, таких как фотоэмульсии или фототермопластики, достаточно продолжителен во времени (фотообработка эмульсии) и трудоемок в настройке. Методы электронной спекл-интерферометрии (ESPI), развитые в последнее время, позволяют наблюдать интерференционную картину колеблющегося объекта непосредственно на экране телемонитора, минуя какой-либо промежуточный носитель [3]. Но качество (отношение сигнал/шум, контраст) электронных спекл-интерферограмм значительно уступает картинам, регистрируемым голографическими методами. Извлечь количественную информацию о распределении амплитуд колебаний из таких спекл-интерферограмм весьма сложно.

С целью использования преимуществ электронной спекл-интерферометрии и достижения качества интерференционных кар-

тин не уступающего голографическому, разработана лазерно-компьютерная система исследования вибрирующих на резонансных частотах объектов. Основу системы составляет электронный корреляционный спекл-интерферометр, интерференционная картина в котором образуется непосредственно в памяти компьютера, связанного с телевизионной камерой, установленной в выходном плече интерферометра.

На рис.1 показана оптическая схема электронного корреляционного спекл-интерферометра с компьютерной регистрацией интерферограмм, предназначенного для исследования собственных частот и форм колебаний деталей и узлов изделий.

Излучение гелий-неонового лазера непрерывного действия делится на два пучка: опорный и объектный. Объектный пучок расширяется и освещает исследуемый объект. Рассеянное объектом излучение телевизионной камерой высокого разрешения вводится в персональный компьютер. На экране видеомонитора наблюдается сфокусированное изображение исследуемого объекта. Объектив телевизионной камеры диафрагмируется до величины, позволяющей на экране четко различать отдельные спеклы. Диафрагмирование до величины $F = 18...22$ относительного отверстия объектива позволяет получить во входной плоскости видикона приемлемые размеры спеклов (~15 мкм), которые разрешались телевизионной камерой «BOSCH ТУК 9А». Система ввода обеспечивает линейный ввод 512x512 точек изображения с раз-

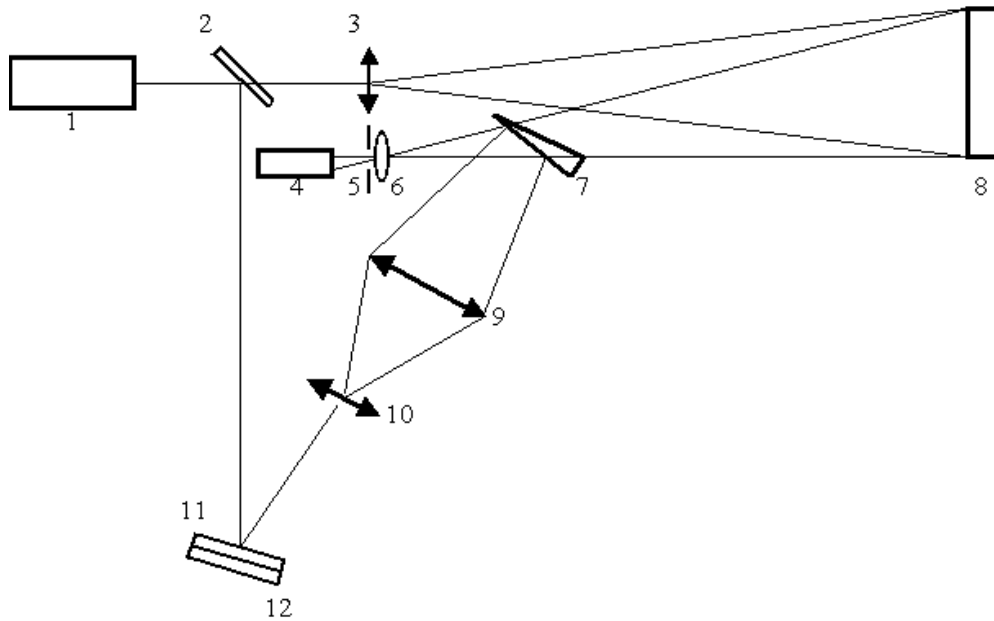


Рис. 1. Оптическая схема электронного корреляционного спекл-интерферометра:
1 - лазер; 2 - светоделитель; 3, 9, 10 - линза; 4 - телекамера; 5 - диафрагма объектива

биением по яркости на 256 градаций.

Опорный пучок с помощью зеркала и оптического клина, установленного перед объективом телекамеры, также направляется на видикон телекамеры. Система из двух линз установлена в опорном пучке таким образом, чтобы он фокусировался на оси объектива телекамеры в плоскости диафрагмы и полностью освещал рабочую поверхность видикона. Зеркало в опорном плече интерферометра размещено на пьезокерамической пластине. С помощью пьезокерамической пластины, изменяя напряжение питания, которое на нее подается, можно управлять фазой опорного пучка на экране видикона в пределах 360° . Таким образом на экране монитора наблюдается спекл-изображение исследуемого объекта, сложенное с однородным фоном, образованным опорным пучком. Изменяя фазу опорного пучка, можно управлять фазой спеклов на изображении.

Если объект вибрирует на резонансной частоте, то результирующая, усредненная по времени ввода кадра (~ 40 мкс), яркость наблюдаемого на экране изображения описывается, как это можно получить из [3] выражением

$$B(x,y) = K \{ \langle I_r(x,y) \rangle + \langle I_s(x,y) \rangle + 2(\langle I_r(x,y) \rangle \langle I_s(x,y) \rangle)^{1/2} J_0^2 [4\pi A(x,y)/\lambda] \times \cos[\theta_r(x,y) - \theta_s(x,y)] \}, \quad (1)$$

где K - постоянный коэффициент, зависящий от параметров телекамеры и системы ввода изображения в компьютер, $\langle I_r \rangle$ и $\langle I_s \rangle$ - усредненные интенсивности опорного и предметного пучков в точке изображения объекта с экранными координатами (x,y) , J_0 - функция Бесселя первого рода нулевого порядка, A - амплитуда колебания точки объекта, λ - длина волны излучения лазера, θ_r , θ_s - фазы опорного пучка и спекла в плоскости видикона соответственно.

Интенсивность спеклов в наблюдаемом изображении изменяется с изменением функции J_0 в зависимости от амплитуды колебания. Но контраст их настолько низок, что заметны спеклы будут только в областях изображения близких к узловым линиям, где функция J_0 близка к единице. Если с небольшой частотой (3...6 Гц) изменять фазу спеклов, управляя фазой опорного пучка с помощью перемещения зеркала, закрепленного на пьезокерамике, можно наблюдать мерцание спеклов в области узловых линий. Это дает достаточно простой метод настройки вибрирующего объекта на резонанс и оценки уровня его возбуждения. При сканировании частоты возбуждения спеклы, видимые по всей поверхности объекта, в момент достижения резонанса размываются, оставаясь заметными только в области узлов.

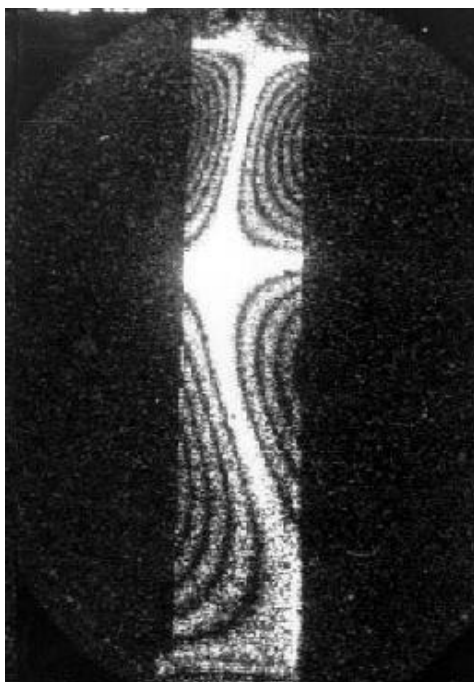


Рис.2. Интерферограмма вибрирующей на резонансной частоте лопатки турбины.

Для получения высококонтрастной интерференционной картины изображение (1) заносится в память компьютера. Фаза опорного пучка сдвигается на 180° . На экране монитора при этом наблюдается интерференционная картина аналогичная первой, но на месте «светлых» спеклов размещаются «темные» и наоборот. Далее второе изображение по модулю вычитается из первого, хранящегося в памяти. В результате на экране монитора наблюдается изображение контрастной интерференционной картины:

$$B(x,y) = K \{ 4(\langle I_r(x,y) \rangle \langle I_s(x,y) \rangle)^{1/2} J_0^2 \times \\ \times [4\pi A(x,y)/\lambda] |\cos[\theta_r(x,y) - \theta_s(x,y)]| \} \quad (2)$$

Интерференционные полосы, описываемые выражением (2), аналогичны восстанавливаемым из голографических интерфе-

рограмм, записанных методом усреднения во времени, за исключением того, что они образованы спеклами.

На рис.2 приведена одна из интерферограмм вибрирующей на резонансной частоте лопатки турбины, полученная на электронном корреляционном спекл-интерферометре. На интерферограмме видны четкие интерференционные полосы, которые различаются даже в пучностях формы колебаний.

Используя стандартную процедуру обработки интерферограмм [4] можно из интерференционной картины, подобной приведенной на рис.2, извлечь данные об амплитуде колебания каждой из точек изображения. При этом весь процесс получения информации существенно упрощается, так как интерферограмма образуется и хранится непосредственно в памяти компьютера и не требуется осуществлять дополнительно восстановление и ввод изображения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Еленевский Д.С. Поузловая обработка вибропрочности лопаток турбины ГТД//Вибрационная прочность и надежность двигателей и систем летательных аппаратов.- КуАИ, 1981. Вып.8.С.292. Вест Ч. Голографическая интерферометрия.-М.:Мир,1982.
3. Джоунс Р., Уайкс К. Голографическая и спекл-интерферометрия.-М.:Мир,1986.
4. Elenevsky D.S., Krainyukov N.I., Shaposnikov Yu.N., Khramov A.G. Holographic-Interferometry Methods Employed for Vibration Strength Testing of Aviation Engine Workpieces//Opt. and Lasers in Eng. 1991.V.15.P.357.

COMPUTER-AIDED LASER SYSTEMS FOR OBTAINING OF VIBRATING OBJECTS SPECKLE-INTERFEROGRAMS AND THEIR ANALYSIS

© 1999 D.S Yelenevsky, Yu.N. Shaposhnikov

Samara Scientific-Engineering Center of Automated Strength Tests and Diagnostics of Machines

The paper describes the structure of electronic correlating speckle-interferometer, which provides forming of high-contrast interferogram of object that is vibrating with resonance frequency. The interferogram is formed directly in computer memory.

БАЗА ДАННЫХ ПО ВЫБОРУ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ АКУСТИЧЕСКОЙ ОТДЕЛКИ ПОМЕЩЕНИЙ

© 1999 В.В. Леньшин^{1,2}, Г.М. Макарьянц¹, Е.В. Шахматов^{1,2}

¹ Самарский государственный аэрокосмический университет

² Институт акустики машин, г. Самара

Рассмотрена проблема выбора современных отделочных материалов для обеспечения оптимальных акустических характеристик помещений на основе созданной базы данных. Описаны критерии выбора и даны рекомендации по применению материалов для акустической отделки помещений.

На протяжении всей истории человечество стремилось улучшить среду своего обитания, создать более комфортные условия труда, отдыха. Это, прежде всего, относится к помещениям. При этом требовались не только красота, эстетические качества внутренней отделки, но и приемлемые акустические свойства.

Проблема обеспечения акустического комфорта в помещениях актуальна и сегодня, причем, используя современные технологии и материалы, можно решать ее в комплексе. Современные отделочные материалы: подвесные потолки, стеновые плиты, которые осуществляют акустическую коррекцию, сокращая шум до комфортного уровня и, улучшая условия общения между людьми, обеспечивают также термоизоляцию, что позволяет сократить расходы на отопление. Они обладают высокой степенью светоотражения и диффузии, уменьшая потребление электроэнергии для освещения, имеют достаточную прочность и, как следствие, сокращают расходы на эксплуатацию.

В простейшем случае хорошая акустика помещения означает возможность поглощения отраженного звука или, так называемого “эха”, в рамках одной комнаты. Эховые эффекты характеризуются временем реверберации. Существуют научно обоснованные нормы времени реверберации для различных типов помещений. В бассейнах и спортивных залах оно может достигать 4...6 секунд, на ра-

бочем месте, в офисе оно не должно превышать 0,4...0,6 секунд. Отделка помещений звукопоглощающими материалами значительно снижает время реверберации и уровень звукового давления путем предотвращения отражения звука окружающими поверхностями. Однако не для всех типов помещений стоит увлекаться звукопоглощающими материалами, а руководствоваться именно этими рекомендуемыми значениями. Тогда не будет таких акустических “казусов” как концертные залы, в которых музыка либо не слышна, либо звучит глухо.

Но это простейший случай. Для помещений кафе, ресторанов, концертных залов сложной формы требуется создание достаточно сложных звуковых полей. В одном помещении должны быть зоны концентрации звука и зоны так называемой акустической тени, где посетители могли бы спокойно поговорить, не пытаясь перекричать музыку в зале. В Институте Акустики Машин (ИАМ) при СГАУ имеются возможности для моделирования сложных звуковых полей, разработки рекомендаций по отделке и планировке помещений.

Хорошим практическим инструментарием для этих целей является применение акустических стеновых и потолочных панелей. На российском рынке акустические потолочные системы в основном представлены фирмами Ecorphon, Armstrong, Donn.

Стратегия крупнейших производите-

лей отделочных материалов – это производство интегрированных потолочных и стеновых систем, которые помимо потолочных, стеновых панелей включают в себя криволинейные сегменты, подвесные несущие системы, модульные системы светильников, системы профилей для создания скрытой подсветки и т.д. Все это значительно расширяет возможности акустического моделирования помещений при относительно простом монтаже систем.

В результате анализа основных характеристик акустических панелей в ИАМ была создана база данных по звукопоглощающим материалам и фирмам, которые их представляют. База позволяет делать выборку необходимого материала по нескольким группам критериев. Остановимся на некоторых из них.

Как правило, фирмы не представляют полный спектр акустических характеристик выпускаемых материалов. Наиболее часто приводится либо частотная характеристика коэффициента звукопоглощения, либо класс звукопоглощения. Все материалы по звукопоглощению делятся на классы по мировому стандарту EN-ISO11654. Классы поглощения от А до Е определяются по коэффициентам звукопоглощения в частотном диапазоне от 250 до 4000 Гц (рис.1).

Однако материалы наивысшего клас-

са звукопоглощения А не являются наилучшими для любого типа помещений. Различные сферы требуют различного уровня звукопоглощения для создания оптимальной акустической среды, которая характеризуется общим временем реверберации для всего помещения. Например, игровые комнаты, учебные залы, офисы имеют характерное время реверберации 0,4 ... 0,6 секунд, что соответствует звукопоглощению класса А, а у помещений для занятия музыкой оптимальное время реверберации 0,8 ... 1,5 секунд и рекомендуемый класс звукопоглощения С. В основном это связано с повышенным рассеиванием звука в воздухе на высоких частотах. Применение акустических панелей высокого класса ещё сильнее ухудшает восприятие звука высоких тонов.

Иногда фирмы в качестве акустической характеристики материала указывают коэффициент NRC. Данный коэффициент измеряется по шкале американского общества по испытанию материалов и соответствует мировому стандарту ISO354. Значение NRC является средним арифметическим коэффициентом звукопоглощения в октавных полосах со среднегеометрическими частотами от 250 до 2000 Гц. Однако значение NRC игнорирует высокие частоты и переоценивает низкие, поэтому в ряде случаев может быть об-

Практический коэффициент звукопоглощения α_p

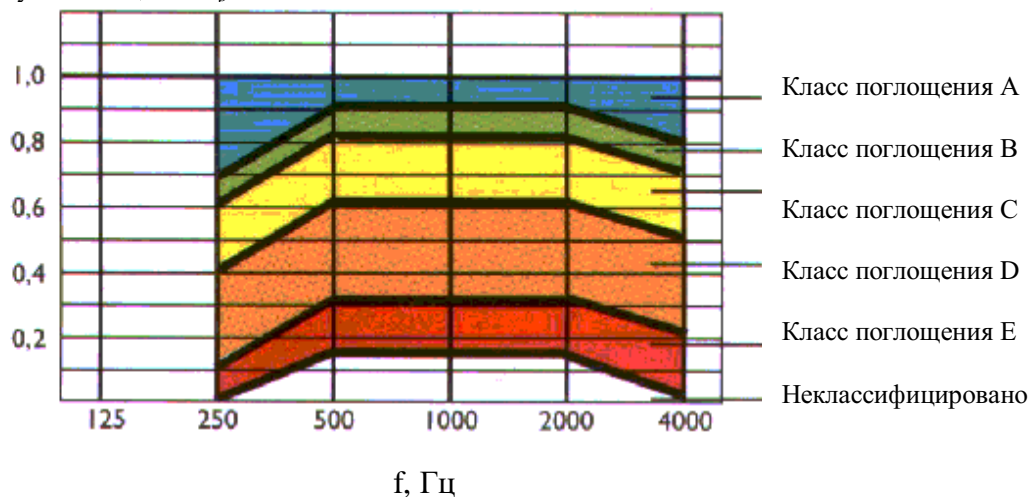


Рис.1. Классификация материалов по звукопоглощению в соответствии со стандартом EN-ISO11654

манчивым.

В характеристиках материалов также часто приводится индекс звукоизоляции, который указывает на величину звукоизоляции в дБ в октавной полосе 1000 Гц.

По своим акустическим свойствам подвесные системы основных производителей приблизительно одинаковы, предлагается большой выбор дизайнерских решений, даются рекомендации по установке систем с целью получения других акустических характеристик помещения. Как известно, один из действенных инструментов получения необходимого звукопоглощения – оптимальное расстояние от поглотителя до жесткой стенки, поэтому иногда можно встретить характеристики коэффициентов звукопоглощения для различных типов подвеса.

Одним из важных критериев является пожаробезопасность материалов. Как правило, приводятся данные о принадлежности акустических плит к группе материалов по пожарной безопасности в соответствии с DIN 4102 или стандарту СЭВ 2437-80.

Следующее важное качество это влагостойкость. Материал не должен поглощать влагу капиллярным способом и не впитывать влагу из воздуха. Вода, попавшая на материал, например во время уборки, должна быстро высыхать и не оставлять каких-либо следов на панели. Изделия не должны деформироваться или расслаиваться даже в холодной или влажной среде.

Влажность воздуха меняется в зависимости от времени года и температуры воздуха. Внутри помещений она может колебаться от 45% до 80%. В ночное время суток или в периоды, когда здание временно не отапливается, температура понижается и, как следствие, повышается уровень влажности, так как плотный холодный воздух не может удержать столько влаги, сколько тёплый. В подобных случаях, а также в помещениях с высокой влажностью, таких, как кухни и душевые относительный уровень влажности может достигать 95%.

Звукопоглощающие панели испытываются в соответствии со стандартом ISO 4611. Например, для панелей фирмы Escophon испытания показали, что они выдерживают постоянную влажность воздуха до 95% при 25 °С без какого-либо провисания, деформации или расслоения. Для панелей фирмы Armstrong эти показатели колеблются от 70% до 90%. Однако эти панели не подходят к помещениям с высокими температурами, горячими агрессивными газами или коррозирующими веществами в воздухе.

Следует отметить панели Escophone серии Advance. Они покрыты специальной водоотталкивающей, но звукопроницаемой пленкой, что несколько ухудшает акустические характеристики панелей, но зато позволяет мыть их ежедневно под струей воды и использовать в помещениях с очень высокой влажностью. Другие фирмы не предлагают аналогичной продукции.

В большинстве интерьеров отражение света поверхностью потолка – важный фактор. Значение коэффициента отражения важно потому, что если разница между светом с поверхности светильника и светом с остальной поверхности велика, то есть риск неприятного ослепления. При косвенном освещении требования к отражающей поверхности возрастают, так как уровень освещения в помещении зависит от того, сколько света отражает поверхность потолка. При косвенном освещении также важно, чтобы свет отражался и распространялся с высокой степенью рассеивания для избежания блеска и ослепляющего воздействия со стороны освещённых поверхностей. В соответствии с этими требованиями панель должна иметь минимальный отражательный коэффициент при косвенном освещении 0,8 и при прямом освещении 0,7. А степень рассеивания для данной поверхности должна быть как минимум 85%, измеряемая согласно немецкому стандарту DIN 5033 часть 3. Большинство акустических панелей удовлетворяет этим требованиям, благодаря специаль-

ным красителям или покрытиям, применяемых для лицевых сторон подвесных систем и панелей при изготовлении.

Другие потребительские характеристики панелей довольно сильно различаются. Так более дорогими являются панели Ecophon, однако, они сертифицированы согласно стандартам для внутреннего климата помещений и являются наиболее экологическими чистыми. Применение самых дешевых панелей DONN для жилых помещений нежелательно. В гигиеническом сертификате оговорены условия применения этих панелей для помещений с очень хорошей вентиляцией, складских помещений большого объема. Armstrong, как правило, предлагает больший выбор дизайнерских характеристик материалов и средние цены.

Наша промышленность выпускает в настоящее время несущие лицензионные конструкции, но, к сожалению, не производит самих акустических панелей с конкурентноспособными свойствами. Тем не менее, у современных дизайнеров достаточно большой выбор решений, обеспечиваемый большим предложением отделочных материалов.

Разработанная база данных материалов позволяет пользователю проводить поиск нужных изделий по следующим системам:

- данный критерий (например, класс звукопоглощения) или группа критериев равны заданному;
- данный критерий или группа критериев не ниже заданных;
- смешанный выбор (одна группа критериев должна быть равна заданным значениям, другая - не ниже определенных пользователем);
- оптимальный выбор в соответствии с линейной целевой функцией:

$$K = \alpha_1 K_1 + \alpha_2 K_2 + \dots + \alpha_n K_n,$$

где K_i - i -ый критерий, участвующий в выборе, α_i - коэффициент веса критерия (может меняться пользователем, либо действуют среднестатистические установки).

Применение данной базы значительно облегчает выбор материалов с заданными потребительскими свойствами для получения необходимых акустических характеристик помещений.

DATABASE FOR CHOOSING OF MATERIALS FOR ACOUSTIC FURNISHING OF PREMISES

© 1999 V.V. Lenchine^{1,2}, G.M. Makaryanz¹, E.V. Shakhmatov^{1,2}

¹Samara State Aerospace University

²Institute of Machines Acoustics, Samara

The problem of choosing of modern finishing materials to obtain optimal acoustic characteristics of premises is considered in this paper with the use of created database. The criteria of choosing are described. The recommendations for applying of materials for acoustic furnishing of premises are given.

МЕТОДОЛОГИЯ СОЗДАНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ОТРАБОТКИ ГИДРОАГРЕГАТОВ ПУЛЬСИРУЮЩИМ ДАВЛЕНИЕМ ЖИДКОСТИ

© 1999 В.И. Санчугов, В.П. Шорин

Институт акустики машин, г. Самара

Рассмотрены особенности и принципиальные основы создания технологических стендов для испытаний и очистки гидрооборудования пульсирующим потоком жидкости.

До настоящего времени в промышленности используются методы расчета и проектирования стендового оборудования, основанные на законах гидравлики установившихся течений.

Однако использование высокоамплитудных пульсирующих потоков, обеспечивающих сокращение длительности и энергоемкости процессов ускоренных эквивалентных испытаний и очистки агрегатов и гидросистем, предъявляет ряд дополнительных требований к работе стендового оборудования.

Основными среди них являются:

- защита систем подачи, кондиционирования жидкости, контроля параметров и управления работой стендов от воздействия высокоамплитудных колебаний давления;
- минимальные затраты мощности на возбуждение колебаний;
- простота и удобство управления работой стендов;
- стабильность статических и динамических параметров работы стендов.

С целью обеспечения указанных требований разработана концепция построения схемных решений технологического оборудования, заключающаяся, в основном, в следующем.

1. Наряду с традиционными устройствами, обеспечивающими требуемые гидравлические характеристики, схемы стендов должны включать в себя специальные блоки акустической развязки, коррекции и граничных условий на линиях высокого и низкого давления.

2. Взаимное расположение агрегатов, протяженность и конфигурация соединительных магистралей должны выполняться из

условий обеспечения требуемых параметров пульсирующего течения жидкости.

3. Конструктивное исполнение стендов должно предусматривать специальные мероприятия по предотвращению повышенной вибрации агрегатов и снижению шума, генерируемого гидрооборудованием.

На рис. 1 представлена функциональная схема технологического стенда, гидравлическая схема которого содержит рабочий участок пульсирующего течения жидкости.

Стенд включает в себя следующие основные узлы:

- блок подготовки рабочей жидкости, предназначенный для обеспечения требуемых статических параметров потока рабочей жидкости и представляющий собой насосную станцию с устройствами нагнетания, очистки, охлаждения жидкости, распределительной и запорной арматурой;
- блок акустической развязки стендовой системы по линии высокого давления для оптимизации процессов на рабочем участке и исключения влияния колебаний жидкости на работу агрегатов насосной станции;
- рабочий участок, на котором реализуется заданный режим испытаний и включающий в себя объект испытаний, генератор колебаний и соединительные магистрали;
- блок акустической развязки стендовой системы по линии низкого давления, предназначенный для оптимизации граничных условий на выходе рабочего участка и исключаящий воздействие колебаний на агрегаты насосной станции по линии низкого давления;
- электрическую систему управления стендом и системы контроля параметров работы

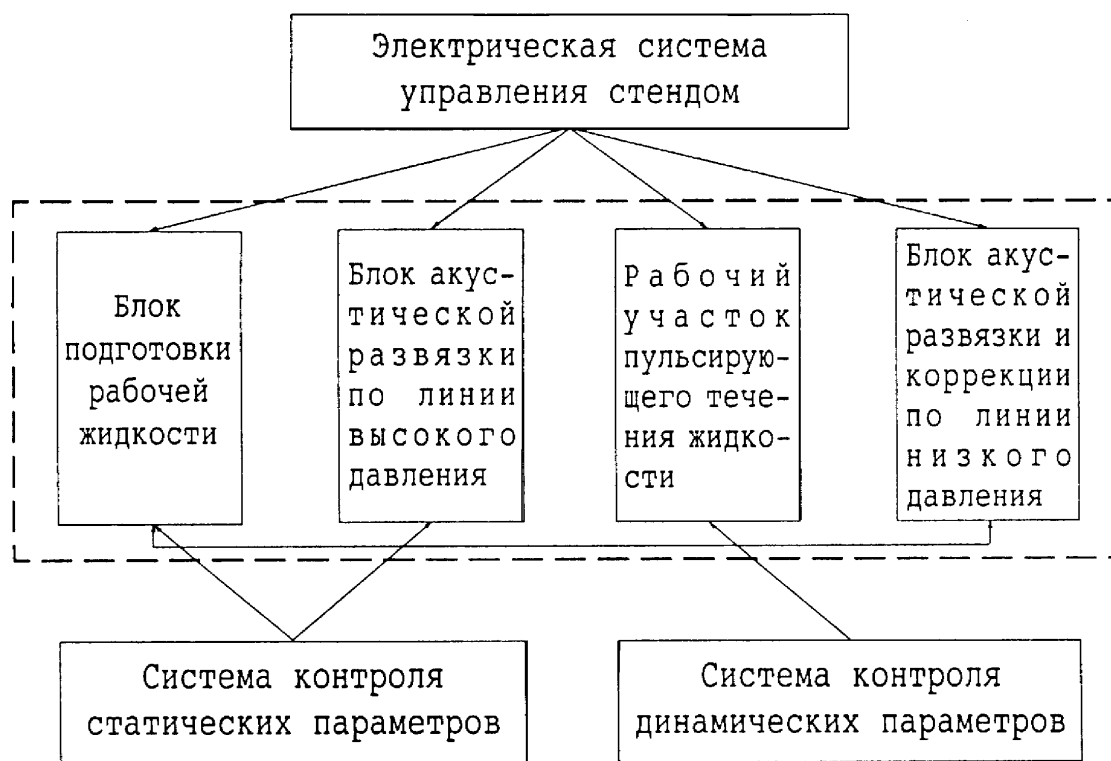


Рис. 1. Функциональная схема построения технологических стендов

стенда.

Требования к характеристикам, схеме, методам расчета и конструкции блоков акустической развязки и коррекции определяются свойствами объектов испытаний, схемами подключения и типом генератора колебаний.

Проанализированы принципиальные схемы испытательных стендов для частотных испытаний, испытаний агрегатов, трубопроводов и гидромашин на усталостную прочность и ресурс и для очистки внутренней поверхности гидрооборудования широкого класса.

Так, например, для частотных испытаний с дроссельными генераторами колебаний предложены четыре схемы построения стендов, отличающиеся расположением генератора и объекта испытаний в стендовой системе. Такие схемы представлены на рис. 2. В схемах а) и в) генераторы колебаний располагаются на входе и выходе объекта испытаний параллельно основному потоку жидкости. В схемах б) и г) генераторы колебаний и объект расположены последовательно.

Блоки БАР и БГУ предназначены, с одной стороны, для защиты оборудования блока подготовки жидкости от воздействия пуль-

сации потока, исключения влияния колебаний потока, возникающих при работе насосной станции, на параметры потока жидкости перед объектом испытаний, и с другой - обеспечивают заданные входные импедансы стендовой системы на входе или выходе объекта испытаний.

Рассмотрим особенности и схемы расчета рабочих параметров представленных стендовых систем.

Стенд, выполненный по схеме рис. 2 а), работает следующим образом. Жидкость под давлением $P_{н.с.}$ от блока подготовки жидкости поступает через блок акустической развязки БАР1 и разделяется на два потока: через объект испытаний, блок граничных условий и через генератор колебаний. Генератор, изменяя проходное сечение потока, возбуждает колебания жидкости, которые распространяются по стендовой системе.

Если каждый функциональный элемент стенда представить акустическим четырехполюсником (активным или пассивным), то его эквивалентная схема примет вид согласно рис. 3 а) [1].

Поскольку основным назначением блоков акустической развязки БАР1 и БАР2 является защита от пульсаций всех стендовых

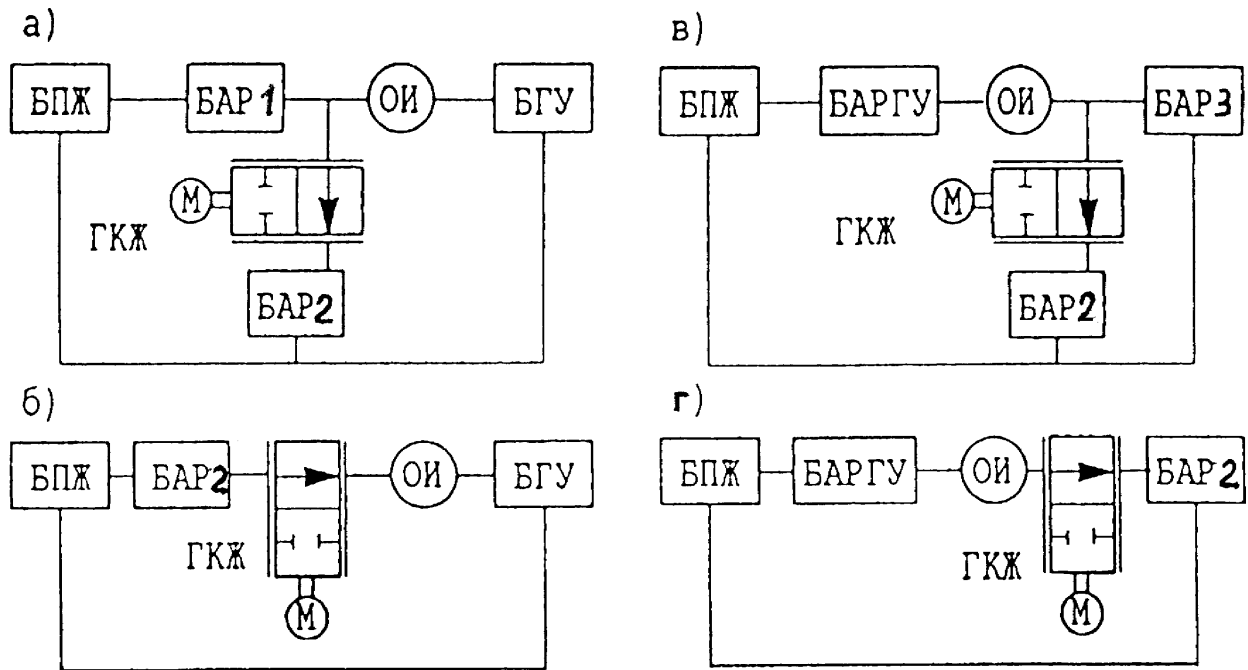


Рис. 2. Структурное построение стендов: БПЖ - блок подготовки жидкости; БАР - блок акустической развязки; ОИ - объект испытаний; ГКЖ - генератор колебаний жидкости с приводом; БГУ - блок граничных условий; БАРГУ - блок акустической развязки и граничных условий

магистралей и устройств, кроме рабочего участка с объектом испытаний, их коэффициенты передачи по отношению к переменной составляющей потока должны быть близки к нулю. Входное сопротивление БАР1 со стороны рабочего участка должно быть максимальным, а блока БАР2 - стремиться к нулю. Блок граничных условий должен иметь также максимальное входное сопротивление. Поэтому для переменной составляющей потока расчетная схема может быть сведена к схеме, изображенной на рис. 3. На рис. 3. в) обозначено: $Z_{\text{БАР1}}$, $Z_{\text{БАР2}}$, $Z_{\text{БГУ}}$ - характеристические сопротивления, соответствующие БАР1, БАР2 и БГУ.

Схемные решения блоков акустической развязки и граничных условий могут быть выполнены на основе оценки характеристик объектов испытаний и расчета режимов работы стенда [2].

Объемы полостей генераторов колебаний дроссельного типа, как правило, выбираются минимальными. Поэтому при достаточно большом перепаде давления на дросселирующем элементе (что в рассматриваемой схеме реализуется) генератор можно рассматривать как идеальный источник расхода с производительностью $A_{\text{ГКЖ}}$ [3].

Максимальная амплитуда колебаний на рабочем участке при применении такого генератора реализуется, при прочих равных условиях, если сопротивление на его выходе $Z_{\text{БАР2}}$ близко к нулю (что можно обеспечить соответствующими схемными решениями), а длины и объемы соединительных магистралей между генератором и объектом испытаний минимальны. При оценочных расчетах влияния указанных магистралей необходимо учитывать не только длины соединительных трубопроводов, но и длины стыковочных штуцеров и внутренних каналов агрегатов.

С учётом сделанных замечаний эквивалентную схему можно привести к виду на рис. 3. в), где четырехполюсник с коэффициентами матрицы передачи A , B , C , D отражает свойства объекта испытаний.

Выражения, связывающие колебания давления и расхода жидкости на входе в объект испытаний с колебаниями, генерируемым источником $Q_{\text{ГКЖ}}$, имеют вид:

$$Q_{\text{ГКЖ}} = P_{\text{ОИ}}(Z_{\text{БАР1}} + Z_{\text{ОИ}})/Z_{\text{БАР1}}Z_{\text{ОИ}}; \quad (1)$$

$$P_{\text{ОИ}} = AP_{\text{БГУ}} + BQ_{\text{БГУ}} \quad (2)$$

$$Q_{\text{ОИ}} = CP_{\text{БГУ}} + DQ_{\text{БГУ}} \\ P_{\text{БГУ}} = Z_{\text{БГУ}}Q_{\text{БГУ}}, \quad (3)$$

где $P_{0И}$ - колебания давления на входе в объект испытаний;

$P_{БГУ}, Q_{БГУ}$ - колебания давления и расхода жидкости на входе в блок граничных условий.

Разработка схемных решений, расчет геометрических параметров блоков акустической развязки БАР1, БАР2 и граничных условий БГУ производятся при решении конкретных задач испытаний или отработки гидросистем либо агрегатов. Анализ статических параметров работы стендовой системы производится по известным формулам стационарной гидравлики с помощью расчетной схемы, представленной на рис. 3. г).

Этот анализ показывает, что при использовании данной схемы стенда объект испы-

таний может испытываться в широком диапазоне давлений и расходов

$$P_{00И} = P_{0нс} - R_{БАР1} Q_{0нс}$$

$$Q_{00И} = Q_{0нс} - P_{00И} / (R_{0ГКЖ} + R_{БАР2})$$

Регулирование статических ($P_{00И}, Q_{00И}$) и динамических ($P_{0И}, Q_{0И}$) параметров потока и частоты колебаний - независимое.

При использовании схемы стенда, представленной на рис. 2. в) колебания потока возбуждаются на выходе жидкости из объекта испытаний. Опуская промежуточные преобразования эквивалентных схем, основанные на принятых допущениях, можно показать, что на данном стенде невозможно осу-

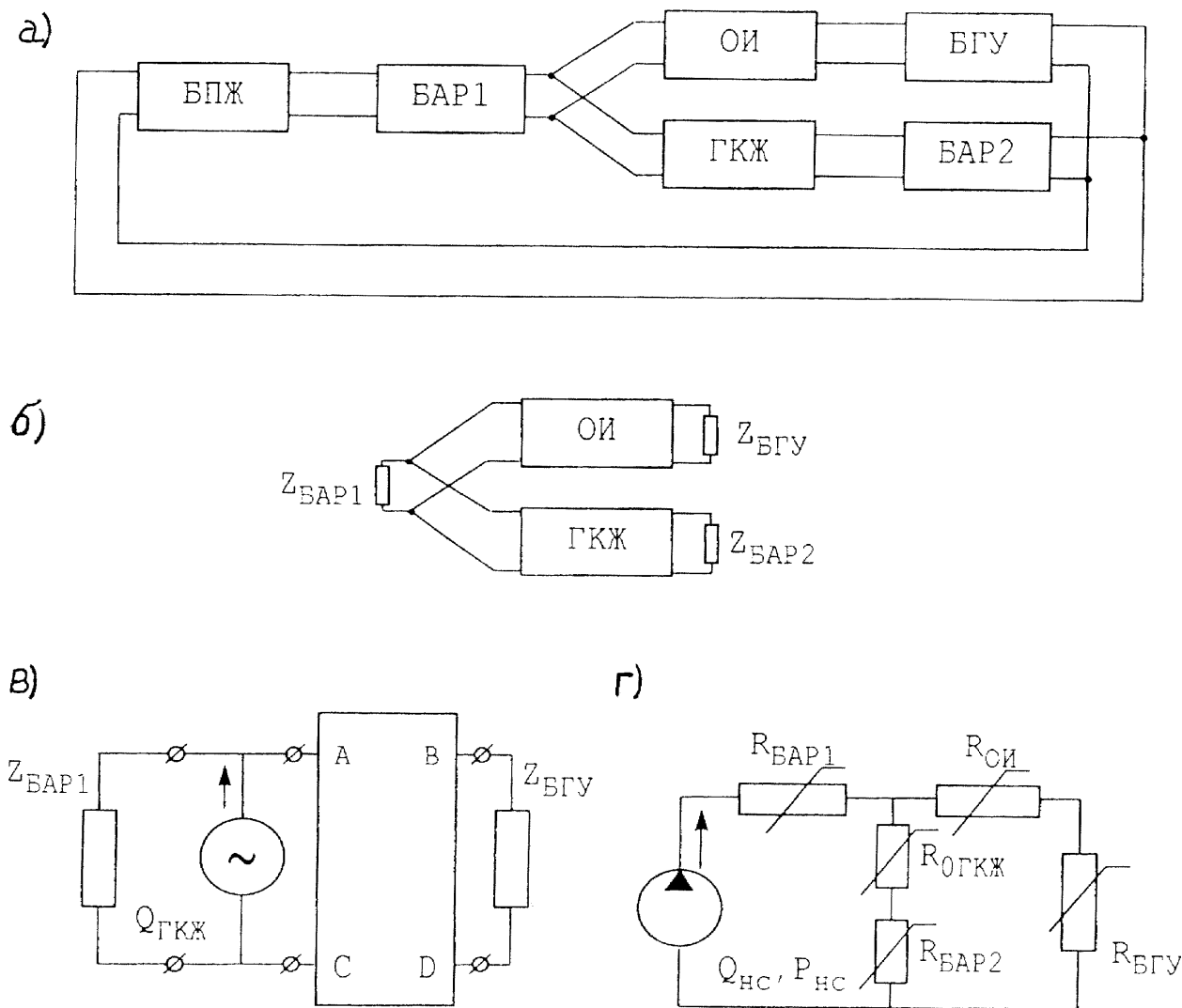


Рис. 3. Схемы технологического стенда

а), б) - эквивалентные схемы для расчета переменных составляющих потока жидкости;

в) - модель для расчета переменных составляющих потока жидкости;

г) - модель для расчета постоянных составляющих потока

ществлять испытания объектов в непроточном режиме, поскольку уровень статического расхода жидкости через объект испытаний зависит от амплитуды генерируемых колебаний и гидросопротивления блока БАР2.

В схемах 2. б) и 2. г) генераторы располагаются последовательно в расходной магистрали стенда. Поскольку на генераторе срабатывается значительный перепад давления, то схема по рис. 2. б) может использоваться для испытаний при малом давлении в объекте, а схема 2. г) при высоком рабочем давлении. Общим недостатком данных схем является то, что они не позволяют осуществлять независимое регулирование статических и динамических параметров рабочего процесса, так как акустическая производительность генератора колебаний по расходу жидкости определяется перепадом статической состав-

ляющей давления. При этом изменение перепада приводит к перераспределению расходов и давлений на всех участках системы.

Представленные на рис. 2. схемы технологических стендов содержат в своей структуре дроссельные генераторы колебаний. Однако, как в научных исследованиях, так и в производстве достаточно широкое распространение нашли объёмные генераторы колебаний. Применение их в технологических стендах обеспечивает достаточно высокую степень приближения закона колебаний жидкости к гармоническому и в ряде случаев (например, при испытаниях объектов на непроточных режимах) стенды с плунжерными генераторами оказываются менее энергоёмкими по сравнению со стендами с дроссельными генераторами.

Структурные схемы стендов с плунжер-

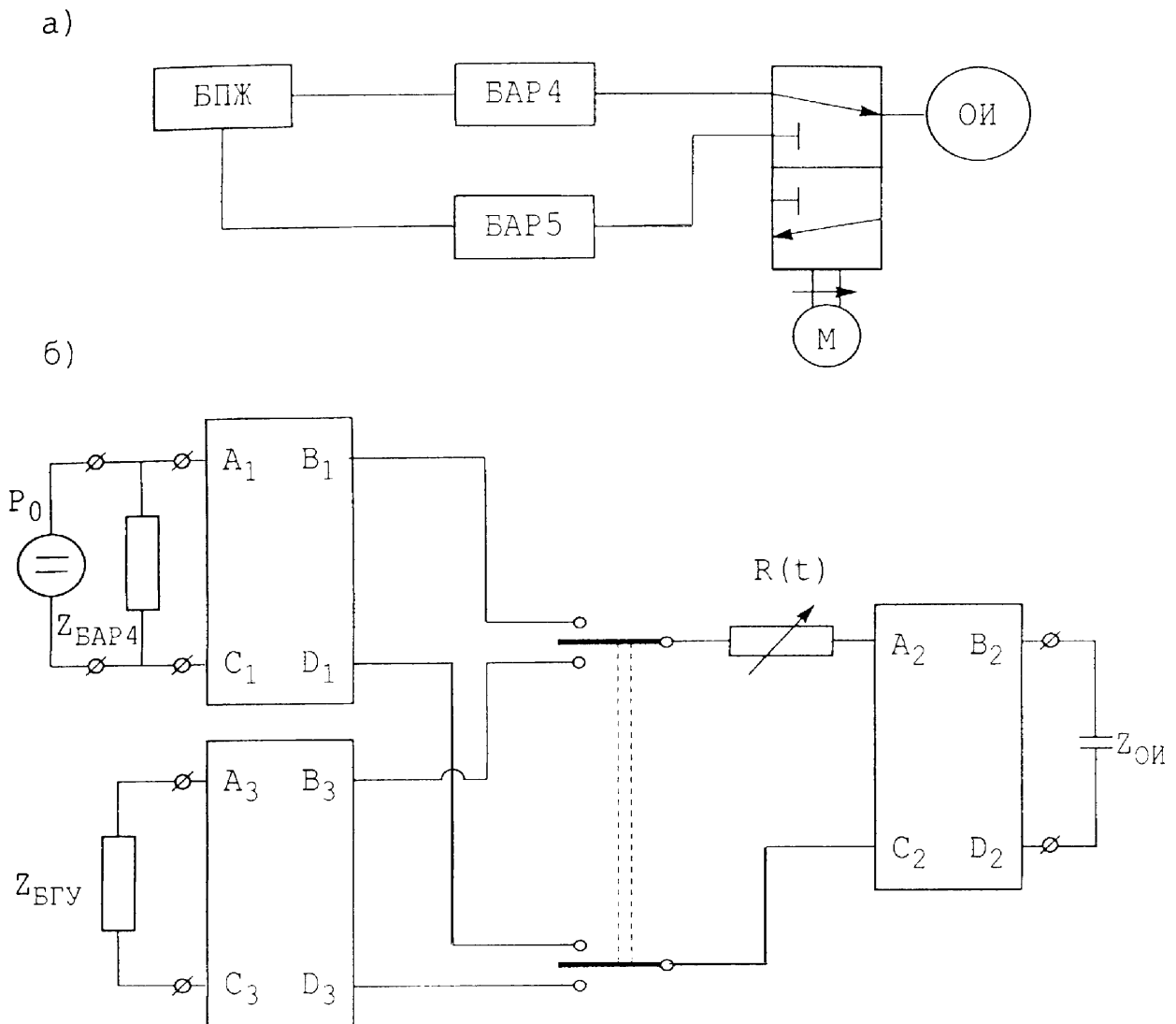


Рис. 4. Схемы стенда с использованием двухканального распределителя
а) - структурная схема; б) - расчетная схема

ными генераторами близки к схемам, представленным на рис. 2. а) и 2. б), в которых блоки БАР2 выполняют роль разгрузочных устройств механизма привода генератора от постоянной составляющей давления. Стенды с неразгруженными генераторами могут быть применены только для низкочастотных испытаний агрегатов и устройств, работающих при относительно низких уровнях среднего давления. Ограниченность частотного диапазона обусловлена инерционностью и неуравновешенностью подвижных частей генератора, а рост среднего давления приводит к резкому возрастанию нагрузки на механизм привода, его износу и росту мощности приводного двигателя.

В тех случаях, когда не предъявляются жесткие требования по близости закона колебаний жидкости к гармоническому и одновременно необходим значительный размах колебаний (при ускоренных испытаниях гидроагрегатов на прочность и герметичность, при очистке внутренних поверхностей агрегатов) целесообразна реализация стендов, в которых в качестве генератора используется двухканальный распределитель.

Естественно, что наиболее эффективным является использование таких стендов на непроточных режимах работы испытуемых агрегатов. Структурная схема непроточного стенда представлена на рис. 4. а). С учётом длины и объема каналов внутри распределителя и соединительных трубопроводов, которые могут рассматриваться в виде четырехполюсников с коэффициентами матриц передачи $A_1, B_1, C_1, D_1, A_2, B_2, C_2, D_2$ и A_3, B_3, C_3, D_3 , расчетная схема стенда имеет вид, представленный на рис. 4. б).

В результате расчетов, выполненных с использованием представленных моделей,

определены схемы, характеристики и конструктивные параметры основных узлов стендов для ускоренных эквивалентных испытаний на усталостную прочность и ресурс [3,4], а также для очистки внутренней поверхности гидроагрегатов и трубопроводов [5].

Созданное оборудование обеспечивает достижение следующих основных параметров рабочих режимов:

- уровень статического давления - до 28 МПа;
- размах пульсации давления - до 50 МПа;
- частота пульсации - от 60 до 1600 Гц;
- регулирование частоты, размаха пульсации и среднего давления - независимое.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шорин В.П. Устранение колебаний в авиационных трубопроводах. - М.: Машиностроение, 1980. - 156 с.
2. Шорин В.П., Соколов Б.Н., Санчугов В.И. и др. Гасители высокочастотных колебаний давления для гидравлических систем. Принципы построения, расчет характеристик и эффективность действия РТМ 1668-82. М.: НИИСУ, 1982. - 80 с.
3. Санчугов В.И., Смирнов Б.И., Показеев В.П. Агрегаты гидравлических систем самолетов и вертолетов. Определение режимов эквивалентных ускоренных испытаний на циклическую прочность. // Рекомендации Р 1. 1.8 - 91. М.: НИИСУ, 41с.
4. Санчугов В.И., Рашидов Б.Т., Шлыгин М.И. Испытания на надежность трубопроводов гидравлических систем. М.У. 1. 1.199-89, М.: НИИСУ, 1989. - 38 с.
5. Санчугов В.И. и др. Гидродинамическая очистка внутренней поверхности трубопроводов систем гидравлики. - Судостроение, 1992, № 5, С. 21-25.

METHODOLOGY OF EQUIPMENT CREATION FOR IMPROVEMENT OF HYDRO-AGGREGATES BY PULSING PRESSURE OF LIQUID

© 1999 V.I. Sanchugov, V.P. Shorin

Institute of Machines Acoustics, Samara

Peculiarities and essential principles of creation of technological test benches for testing and cleansing of hydro-equipment by pulsing flow of liquid are considered in this paper.