

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

кандидата технических наук, доцента

Анкудинова Анатолия Александровича

На диссертационную работу **Федосеева Сергея Юрьевича**

«Численное моделирование тональных компонент спектра гидродинамической вибрации бустерного насоса ЖРД» представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05. – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов»

Снижение уровней вибрации является сложной задачей и одной из главных проблем улучшения надежности ЖРД. Повышенная вибрация вызывается главным образом пульсацией давления рабочей жидкости, взаимодействием ее с элементами проточной части и корпусными деталями. В настоящее время нет достаточно достоверных методик прогнозирования вибрационных характеристик, вызываемых нестационарными гидродинамическими процессами. Поэтому методика численного моделирования вибрационных процессов в насосах ЖРД и определение пульсаций давления и вибрации на этапе проектирования является актуальной задачей. В качестве объекта исследований выбран бустерный насос, представляющий собой осевой насос со шнеком переменного хода. Выполнено численное моделирование течения рабочей жидкости в насосе и определены характерные частоты, произведена оценка амплитуд тональных компонент спектра вибрации от гидродинамических источников. Определены собственные формы колебаний корпуса, которые могут вступить в резонанс на лопаточных и оборотной частоте. По результатам численного моделирования даны рекомендации по снижению пульсаций давления.

Во введении рассмотрены технические проблемы, возникающие при регулировании подачи компонентов топлива ЖРД. Отмечается, что вопрос надежности насосного агрегата является главной в постановке цели и задач исследования в данной диссертационной работе.

В первой главе рассматриваются основные причины возникновения повышенной вибрации лопастных насосов для подачи компонентов топлива в жидкостных ракетных двигателях и других насосах, применяемых в промышленности. Приводится общая классификация источников вибрации, которые делятся на две группы – механические и гидродинамические. Отмечается, что на вибрационное состояние насоса в значительной мере зависит от пульсаций давления, вызванных кавитацией, неоднородностью потока и вихревого течения. Отмечаются конструкторские решения, позволяющие уменьшить пульсации давления и улучшить кавитационные качества насоса с помощью осевихревой ступени. Представлены также общие вопросы, связанные с механическими источниками вибрации.

Во второй главе приведены результаты анализа спектров пульсаций давления в жидкости, перекачиваемых бустерным насосом. Рассматривается постановка вычислительного эксперимента с расчетом трехмерного нестационарного течения на модельном режиме, соответствующему номинальному. Принятые в расчете допущения не учитывают влияние газовой турбины. Изложены основные результаты анализа амплитудно-частотных спектров пульсаций давления. Обнаружены пульсации давления на частоте следования лопаток и ее высшие гармоники (лопаточные частоты), а также роторной частоте. Приводится сравнение результатов натурного эксперимента, проведенных в «НПО Энергомаш» с результатами численного моделирования. Сравнение результатов удовлетворительное.

В третьей главе рассматривается методика определения собственных форм колебаний оболочки в программном комплексе Abaqus. Полученные результаты дают хорошее согласование с экспериментом. Результаты расчетов собственных форм колебаний определяют условия возможного резонанса корпуса под действием пульсаций давления. Показано, что существуют собственные формы колебаний корпуса, которые могут появиться от воздействия пульсаций давления на лопаточной и роторной частотах. Приводятся расчеты вынужденных форм механических колебаний под действием возмущающих сил от пульсаций давления, приложенных к поверхности пилонов. Отмечается, пилоны придают дополнительную жесткость цилиндрическому участку корпуса, но собственные формы колебаний, близких к 90Гц и 270Гц сохраняются. Этот полученный автором диссертации результат важен и для других насосных систем в промышленности.

В четвертой главе сформулированы рекомендации по дальнейшим исследованиям по определению собственных форм колебаний корпуса насоса с учетом присоединенной массы жидкости, определены точки установки датчиков вибрации. На рис. 9 автореферата приводится зависимость амплитуды пульсаций давления от относительного расхода, причем амплитуда пульсаций с увеличением подачи непрерывно снижается. Рассмотрены вопросы установки бандажа для предотвращения обратных токов и даются рекомендации только на входном участке шнека. Очевидно, что применение бандажа, выбор числа пилонов на входе, взаимного влияния лопастей рабочего колеса и пилонов требует дальнейших исследований и рекомендации, сделанные автором, будут в дальнейшем уточняться.

В результате выполненной научной работы предложена методика для определения уровня вибрации корпуса, которая генерируется пульсациями давления в бустерном насосе ЖРД. Установлены источники пульсаций давления, которые являются результатом гидродинамического взаимодействия ротор – статор. На основе проведенных исследований даны рекомендации по снижению уровня пульсаций давления.

Новизна научной работы заключается в разработке методики численного моделирования трехмерного нестационарного течения жидкости и колебаний элементов конструкции агрегата. Получены расчетным путем амплитуды гидродинамической вибрации на тональных компонентах. Выявлено влияние элементов конструкции на пульсации давления. Диссертационная работа развивает новое направление, которое касается связи пульсаций давления в проточной части насоса с уровнем вибрации.

Достоверность и обоснованность полученных в результате исследований обеспечена применением современных методов исследования, удовлетворительным соответствием результатов численного моделирования и экспериментальных исследований.

Проведенная научная работа имеет практическую значимость для дальнейших исследований по снижению пульсаций давления, вибрации, а значит повышению надежности насосного агрегата и всей системы подачи топлива ЖРД.

Опубликованные работы достаточно полно отражают содержание диссертации. Работа апробирована на Всероссийских и Международных конференциях; по теме диссертации опубликованы 4 статьи в изданиях, входящих в список рекомендуемых ВАК научных журналов.

