

Библиографический список

1. Пилипенко С.В. Кавитационные автоколебания. Киев: Наукова думка, 1989. 314 с.
2. Ершов Н.С. Экспериментальное исследование кавитационных автоколебаний насосной системы //Динамика насосных систем: Сб.науч.тр. Киев: Наукова думка, 1980. С. 3-9.
3. Глазков М.М., Ланецкий В.Г. и др. Кавитация в жидкостных системах воздушных судов. Киев: КИИГА, 1987. 62 с.
4. Глазков М.М., Пилипенко С.В. Определение плотности спектра мощности кавитационных пульсаций давления в гидросистемах воздушных судов //Эффективность и сертификация бортового оборудования гражданских воздушных судов /Сб.науч.тр. ГосНИИ ГА, М., 1988. С. 41-44.
5. Кнэпп Р., Дэйли Дж., Тэммит Ф. Кавитация. М.: Мир, 1974. 688с.
6. Отнес Р., Эноксон Л. Прикладной анализ временных рядов. Основные методы. М.: Мир, 1982. 387 с.
7. Марченко Б.Г. Метод стохастических интегральных представлений и его приложения в радиотехнике. Киев: Наукова думка, 1973. 190 с.
8. Миклович И.Я., Перник А.Д., Петровский В.С. Гидродинамические источники звука. Л.: Судостроение, 1972. 480 с.
9. Башта Т.М. Гидравлические приводы летательных аппаратов. М.: Машиностроение, 1971. 672 с.

УДК 621.452:681.521.34

И.С.Загузов

О СНИЖЕНИИ УРОВНЕЙ ПУЛЬСАЦИЙ, ВИБРАЦИЙ И ШУМА
В ГИДРАВЛИЧЕСКИХ И ТОПЛИВНЫХ СИСТЕМАХ

Рассмотрены физические основы образования шума, пульсаций и вибраций в трубопроводных цепях и некоторые методы их уменьшения.

Динамические процессы в установках ЛА. Самара, 1994.

Вынужденные колебания рабочей среды в гидравлических и топливных системах ЛА и двигателей, основным источником которых являются насосы, представляют серьезную опасность для нормального функционирования этих систем (из-за вибраций, приводящих к повышенному износу и поломкам элементов систем; отклонению характеристик САУ и т.д.). Повышенные пульсации давления рабочей среды передаются по магистралям зачастую даже с усилением, поэтому задача снижения пульсаций и вибраций, генерируемых насосом, является серьезной проблемой.

В данной работе рассматриваются физические основы появления пульсаций рабочей среды, вибраций и шума работающего насоса и даны некоторые рекомендации по их снижению. Одним из методов снижения энергии вибраций и пульсаций является разработка конструктивных мероприятий в самом источнике, т.е. в насосе. Такие методы воздействия на источник называются активными.

Разработке этих методов посвящен ряд научных работ отечественных специалистов в области гидродинамики и гидромеханических систем [1, 2, 3]. Богатый опыт в проведении подобных работ имеется и в авиационной акустике. Дело в том, что источником шума авиационных двигателей как механических колебаний плотности или давления различных частот, распространяющихся в атмосфере, являются нестационарные процессы, происходящие в основных узлах и агрегатах ДЛА. В первую очередь, это и есть пульсации рабочей среды и вибрации, и борьба с авиационным шумом в самом источнике представляет собой разработку мероприятий по устранению этих пульсаций и вибраций. Известны работы отечественных и зарубежных авторов по снижению уровней шума компрессоров, насосов и различных гидромеханических устройств, в том числе и работа Р. Дж. Беккера "Снижение шума гидравлического оборудования", в книге "Аэрогидромеханический шум в технике". М.: Мир, 1980.

Основными источниками, создающими пульсации рабочей среды при работе насоса, является следующее. Во-первых, это сам рабочий процесс в насосе, предопределяющий генерацию пульсаций давления. Во-вторых, корпус насоса реагирует на изменение давления в отдельных камерах насоса между его рабочими элементами (лопатками, поршнями, зубьями шестерен и т.д.). Эта реакция в виде вибраций вызывает пульсации рабочей среды. Ударные нагрузки на ротор насоса при заклинивании рабочей среды в камере, а также реакция ротора на эти нагрузки в виде резонансных колебаний приводят к появлению пульсаций жидкости в насосной подаче.

Любая неуравновешенность в насосе, в его приводном двигателе или в соединяющих их деталях создает пульсации на частоте вращения вала. Несосность установки насос – приводной двигатель приводит к генерации пульсаций давления на частотах, равных удвоенной и учетверенной частоте вращения вала. Но наибольшая составляющая энергии колебаний давления рабочей среды из-за вибраций конструкции и пульсаций в жидкости (гидродинамических пульсаций) возникает на частоте перекачки, равной частоте вращения вала, умноженной на число элементов (лопаток, поршней, шестерен насоса и т.д.). Значительные амплитуды пульсаций появляются также на частотах, кратных частоте перекачки (до 10–15 гармоник). Амплитуды этих составляющих, как правило, убывают с ростом частоты (рис. I, а). Если энергия пульсаций возбуждает элементы системы топливопитания, то результирующие пульсаций могут превосходить по амплитуде пульсации, генерируемые непосредственно насосом. Поэтому борьба с пульсациями требует рассмотрения всех составляющих процесса возникновения пульсаций насоса, как гидродинамических, так и конструктивных.

Спектр шума, производимого насосом, имеет аналогичный характер (рис. I, б) по отношению к спектру пульсаций давления. Однако небольшие по габаритам насосы не могут эффективно излучать звуковую энергию на частоте перекачки и на нескольких следующих гармониках, на которых уровни энергии пульсаций наиболее высоки. По этой причине непосредственное излучение звука насосом имеет пиковый уровень, начиная с третьей гармоники и выше.

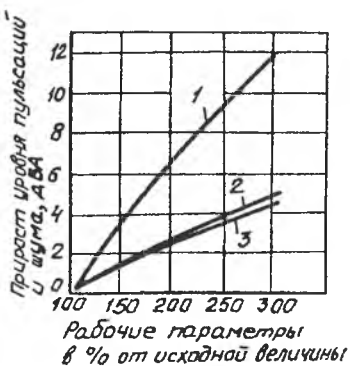
Рассмотрим основные методы снижения пульсаций, вибраций и шума, генерируемых насосом в процессе работы. Исследования показали, что уровни пульсаций и вибраций, производимых насосом, тесно связаны со



Р и с. I. Спектры уровней пульсаций, вибраций и шума, производимых насосом: а – энергия пульсаций и вибраций; б – звуковая энергия

скоростями роста и падения давления (профили давления) в процессе перекачки. Правильный расчет системы дозирования и проходных отверстий (для обеспечения в пределах цикла перекачки максимального времени перемещения жидкости в камере насоса между отверстиями) уменьшает пульсации рабочей среды и вибрации корпуса насоса, которые возбуждают другие элементы системы топливопитания.

Сильное влияние на уровни пульсаций рабочей среды и шума оказывает скорость вращения насоса, а давление и размер насоса (рабочий



Р и с. 2. Влияние изменения размера насоса (рабочего хода), давления и скорости вращения на производимые пульсации и шум: 1 — скорость вращения; 2 — рабочий ход; 3 — давление

пульсаций, вибраций и шума предопределяет выбор мероприятий, направленных на снижение уровня шума, производимых насосом, что, в свою очередь, благотворно сказывается на пульсационном и вибрационном состояниях гидросистемы.

Пульсации рабочей среды и шум, вызванные вибрацией, можно уменьшить, применяя амортизаторы в местах крепления насоса и двигателя к основанию. Вообще выбор крепления является ответственным моментом, позволяющим избежать резонансов на частоте вращения вала и низких частотах перекачки. Эффективным средством борьбы с пульсациями этого вида является также виброизоляция трубопроводов, либо применение гибких трубопроводов, но короткой длины, так как такие трубопроводы

очень чувствительны к пульсациям жидкости и при значительной длине сами могут стать сильными источниками пульсаций. Пульсации жидкости на упругих участках трубопроводов преобразуются в периодические силы, которые могут вызвать вибрацию других трубопроводов и всей гидросистемы в целом. Наилучшая виброизоляция достигается в том случае, когда два коротких гибких рукава соединены жесткими трубопроводами.

Пульсации рабочей среды и шум возникают также из-за неоднородности входного потока (в частности, кавитации жидкости) и его турбулентности при взаимодействии их с рабочими элементами насоса (лопатками, зубьями, поршнями). Частоты таких пульсаций в спектре находятся на частоте перекачки и ее гармониках. Для снижения амплитуд пульсаций и шума, вызванных этим механизмом, рекомендуется во всасывающих магистральных насосах устанавливать выравнивающие решетки, сетки, детурбулизаторы).

Наиболее эффективным методом борьбы с вибрациями и шумом на частоте перекачки и ее гармониках, обусловленными неоднородностью потока при обтекании рабочих элементов центробежного насоса, является увеличение радиального зазора между лопатками рабочего насоса и языком (лопатками) отводящего устройства. При удалении от решетки на расстояние, равное шагу, неравномерность поля скоростей за колесом практически пропадает и, следовательно, исчезает причина, вызывающая появление дискретного шума и вибраций на указанных выше частотах. Однако в ряде случаев для эффективного снижения амплитуд колебаний достаточно зазора значительно меньшего, чем шаг. На практике в уже изготовленных насосах с малой величиной радиального зазора снижение вибраций и шума может осуществляться в центробежном насосе за счет подрезки языка спиральной улитки или скоса рабочих лопаток и языка отвода.

Другими причинами, вызывающими пульсации рабочей среды, являются пограничные слои на стенках насоса и его рабочих элементах, перетокание потока и вторичные потоки вблизи концов рабочих элементов, а также турбулентные следы за ними. Борьба с радиальными и торцевыми утечками, регулирование пограничных слоев могут снизить уровни пульсаций.

Помимо активных методов снижения пульсаций, вибраций и шума, существуют и пассивные методы, которые предусматривают снижение уже полученных в процессе работы насоса амплитуд быстропеременных процессов

путем использования специальных методов и средств ослабления или затухания энергии пульсаций и вибраций [4]. Одним из таких методов является создание условий для устойчивой интерференции волн, когда в замкнутом объеме происходит наложение так называемых когерентных волн, т.е. волн одной и той же частоты и фазы. Если эти колебания будут складываться в противофазе, то происходит значительное ослабление интенсивности таких волн.

В Самарском аэрокосмическом университете этот принцип проверен на практике следующим образом. Два насоса были поставлены в параллели с общим выходом, причем рабочие элементы насосов были сдвинуты относительно друг друга таким образом, что пульсации за насосами на частотах перекачки находились в противофазе. Отмечалось значительное снижение амплитуд пульсаций во всем диапазоне частот колебаний.

Наиболее эффективным пассивным методом снижения шума гидравлических и топливных систем является звукоизоляция и звукопоглощение. Все гидравлические магистрали являются сильными источниками шума. Исследования показали, что уровни шума насосов, соединенных со всасывающими и нагнетательными трубами, возрастают на 2-3 дБа только от шума, производимого этими трубами. Этот шум глушится путем обматывания трубопроводов слоями звукоизолирующего материала. Между этим материалом и трубопроводом можно проложить слой полиуретанового пенопласта толщиной 6-12 мм, что способствует поглощению шума, а также виброизоляции.

Библиографический список

1. Дундур Е.А. Исследование пульсаций подачи шестеренных насосов // Гидравлические машины и средства гидроавтоматики: Межвуз сб. Пермь, 1986.
2. Орлов Ю.М., Носов Л.И. К оценке пульсации давления в насосах // Авиационная промышленность. 1986. № 7.
3. Езбузов И.В., Шахматов Е.В., Гималиев А.Г. Анализ динамических характеристик шестеренчатых насосов и определение путей снижения их пульсационной производительности. ВИНТИ. 1989. № 287.
4. Шорин В.П. Устранение колебаний в авиационных трубопроводах. М.: Машиностроение, 1980. 156 с.