

УДК 532.528

С.Н. Пичков, Д.А. Захаров, Э.Г. Новинский

**ИССЛЕДОВАНИЯ КАВИТАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ
В НАСОСНОМ ОБОРУДОВАНИИ АКУСТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ**

Опытное конструкторское бюро машиностроения им. И.И. Африкантова

Статья посвящена исследованиям кавитационных процессов в насосном оборудовании с использованием акустического метода. Несмотря на то, что кавитационные явления в лопастных насосах известны давно и достаточно изучены, борьба с проявлением кавитации остается одной из актуальных задач. Проведенные постановочные исследования показали возможность определять порог возникновения кавитации, контролировать устойчивость стационарного процесса в циркуляционных контурах и проточных частях насосов методом акустической эмиссии. Полученные результаты представляют интерес, так как дополняют используемые методы исследования кавитационных явлений новыми возможностями. Метод требует своего дальнейшего развития. Статья может положить начало заинтересованному обсуждению среди специалистов, исследующих кавитационные явления в динамических насосах.

Ключевые слова: насосное оборудование, кавитация, акустический метод.

Одним из направлений работ АО «ОКБМ Африкантов» является разработка и создание насосного оборудования для атомных энергетических установок. Номенклатура разрабатываемых лопастных насосов для разных носителей достаточно широка: от герметичных насосов со встроенным электродвигателем до насосов с уплотнением вращающегося вала. Проектирование таких насосов имеет целью создание надежных, конструктивно простых машин, которые оптимальным образом вписывались бы в компоновку реакторной установки. Положительного результата можно достичь, в основном, правильным выбором геометрии проточной части насоса, которая напрямую зависит от частоты вращения вала. Высокая частота вращения вала насоса позволяет снизить габариты, массу и затраты на изготовление. Однако, при этом необходимо исключить кавитационное разрушение элементов проточной части, прежде всего рабочего колеса. Именно эта опасность ограничивает возможности проектантов в создании высокооборотных, малогабаритных насосов. Насосное оборудование АЭС и ЯЭУ, особенно для первого контура, должно удовлетворять высоким требованиям по безотказности и надежности. Поэтому предупреждение явлений кавитации во вновь создаваемых насосах для ядерных реакторов является актуальнейшей задачей [1].

Явление кавитации в движущейся жидкости возникает в тех случаях, когда статическое давление в какой-либо области потока падает ниже давления насыщенного пара жидкости. Реальная жидкость, как правило, не может воспринимать растягивающих усилий, которые возникают при падении давления в ней ниже давления насыщенного пара, поэтому в указанных областях происходит ее вскипание и нарушается сплошность потока с образованием многочисленных паровых пузырьков и устойчивых каверн, примыкающих к стенкам. Как только паровые пузырьки, движущиеся вместе с потоком жидкости, попадают в область, где статическое давление выше давления насыщенного пара, пар конденсируется и пузырьки исчезают [2]. В зависимости от происхождения различают два вида кавитации. Если понижение давления происходит вследствие больших местных скоростей в потоке движущейся капельной жидкости, то кавитация называется гидродинамической, а если вследствие прохождения акустических волн большой амплитуды – акустической. В дальнейшем будет рассматриваться гидродинамическая кавитация. Наряду с существующими методами контроля кавитационных процессов [2] представляет интерес и внедрение новых методов, в частности, акустических.

Методика исследований

Схема экспериментального стенда для кавитационных исследований приведена на рис. 1. На стенде установлена модель насоса (1), приводимого во вращение электродвигателем (2). Теплоноситель (вода) из насоса поступает в коллектор (3) и далее через задвижку (4) в бак (5), из которого через задвижку (6) поступает на всасывание насоса. Верхняя часть бака заполняется газом, давление газа в баке, а, следовательно, и на всасывании насоса может изменяться путем подачи или стравливания газа через задвижку (7).

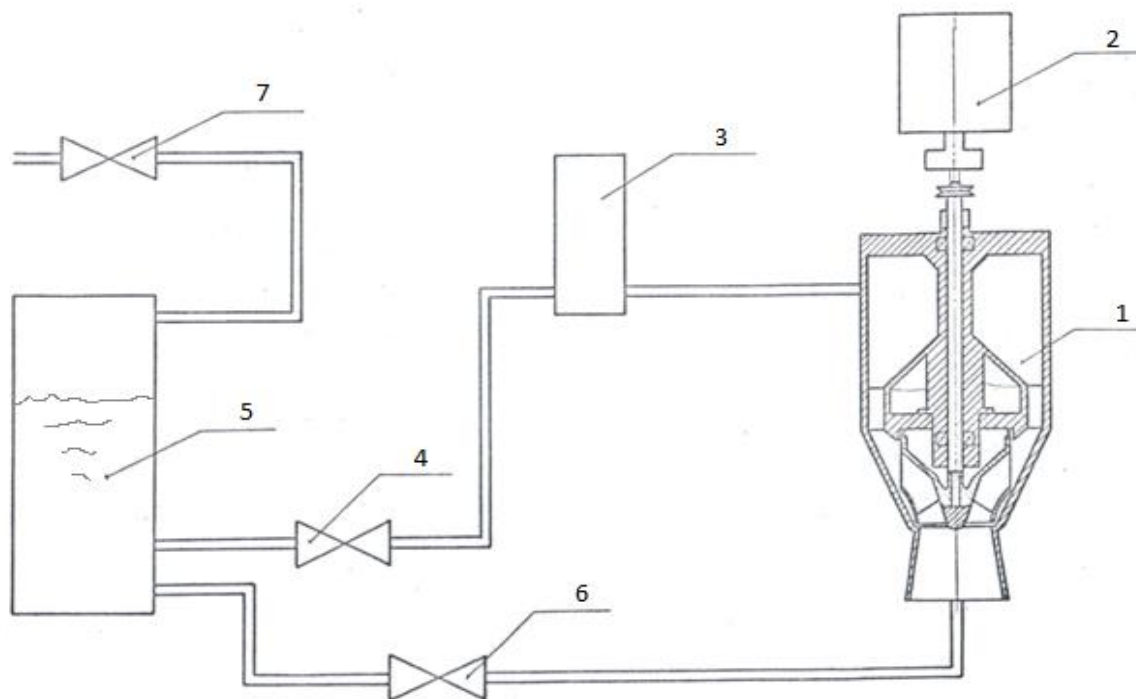


Рис. 1. Схема экспериментального стенда

В исследованиях использовался метод акустической эмиссии (АЭ) [3, 4]. Сигналы АЭ регистрировались пьезоэлектрическим преобразователем, укрепленным на насосе. Обработка сигналов проводилась измерительным комплексом Spartan300. Исследования проводились путем регистрации изменений акустических характеристик (интенсивности сигнала \dot{N} , с^{-1} ; пиковой амплитуды A , мВ; общего уровня сигнала ОУ, мВ) в зависимости от давления на всасывании насоса.

Проведено 4 серии экспериментов. Кроме того, выяснялась степень влияния акустических сигналов с других элементов стенда на проводимые измерения.

Результаты исследований и их анализ

Первые две серии экспериментов имели целью установить характер развития и затухания кавитации в насосе в зависимости от давления на всасывании и, таким образом, определить степень пригодности акустического метода для контроля кавитационных явлений. В качестве акустико-эмиссионных характеристик использовались интенсивность и пиковая амплитуда сигнала. Зависимости их от давления приведены на рис. 2, 3. В первой серии экспериментов точки определялись при уменьшении давления. Первоначально кавитация отсутствовала, но начиная с давления $\sim 0,14$ МПа наблюдался рост акустических характеристик, постепенно выходящих на уровень насыщения. Насыщение можно объяснить двумя причинами: во-первых, истощением числа зародышей кавитации, еще не вовлеченных в этот процесс, во-вторых,

эффектом экранирования распространяющихся сферических звуковых волн еще не замкнувшимися пузырьками.

Вторая серия экспериментов проводилась при повышении давления. Первоначально уровень развития кавитации был высоким, а затем величина акустических характеристик снижается, причем это наступает при больших давлениях, чем возрастание в первой серии экспериментов. В результате получили петлю гистерезисного типа. Ширина ее составляет 0,03 – 0,04 МПа.

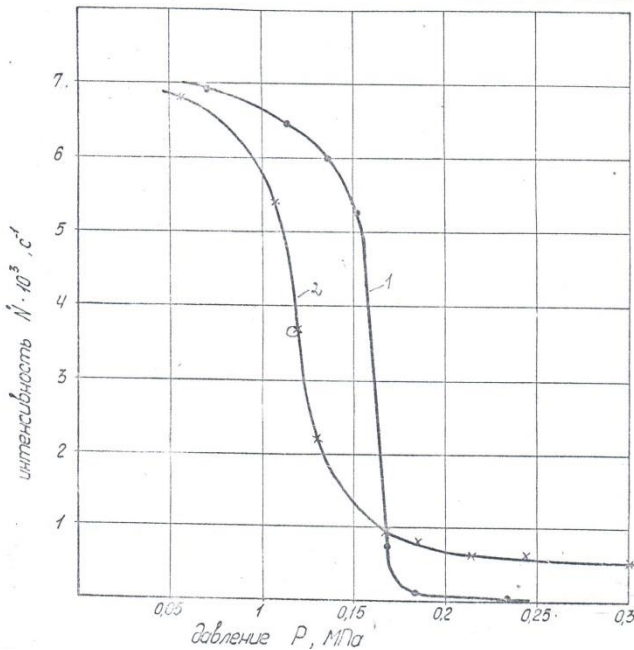


Рис. 2. Зависимость интенсивности сигналов акустической эмиссии от давления

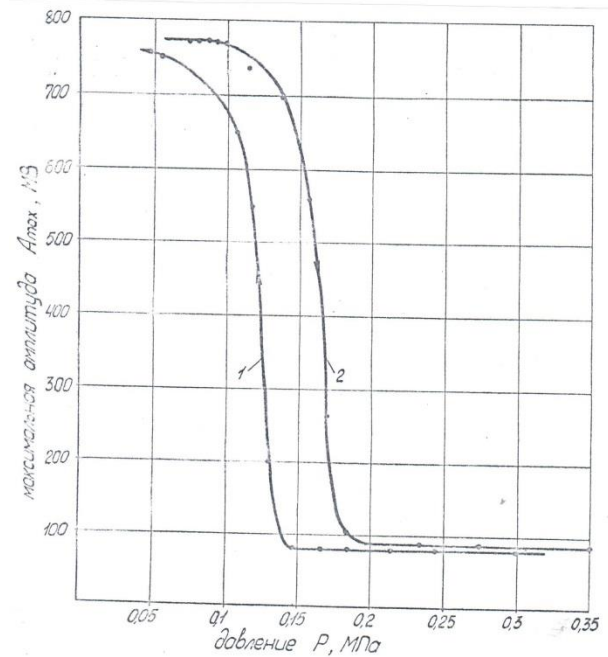


Рис. 3. Зависимость пиковой амплитуды сигналов акустической эмиссии от давления

Третья серия экспериментов частично повторяла первые две. Опять было замечено, что при повышении давления кривая акустической характеристики рис. 4 (изменение пиковой амплитуды) идет выше, чем при снижении давления. Кроме того, в третьей серии проводилось измерение общего уровня акустического сигнала в частотных диапазонах 400-1200 кГц и 750-1200 кГц. Эта величина в обоих случаях подтверждала выше описанные закономерности (рис. 5). В четвертой серии экспериментов было выполнено следующее (рис. 6): первоначально давление на входе в насос было поднято до 0,098 МПа – точка 1; при этом же давлении в течение 30 минут выдерживался режим работы, и общий уровень акустического сигнала снизился – точка 2. Далее проводилось понижение давления до 0,06 МПа – точки 3-7, после чего начали его повышать – точки 8-14. Снижение давления привело к увеличению акустического сигнала – точка 15. Таким образом, вновь была получена гистерезисная петля.

Образование гистерезиса можно объяснить тем, что стационарный режим кавитации не успевает установиться. Следующий этап испытаний содержал измерения скорости установления режима кавитации. На рис. 7 отражено постепенное снижение интенсивности акустического сигнала после повышения давления на входе насоса с 0,1 МПа до 0,15 МПа. Аналогичное измерение было проведено при снижении давления с 0,15 МПа до нулевого значения (рис. 8). Таким образом, можно сделать вывод, что реальная кривая стационарного режима кавитации лежит внутри гистерезисной петли. После проведения описанных выше экспериментов пьезоэлектрический преобразователь устанавливался на напорном и всасывающем трубопроводах (на задвижках 4 и 6 рис.1) с целью выявления возможности влияния процессов в этих

элементах на снимаемые в ходе испытаний акустические характеристики. Получено, что в выбранном частотном диапазоне 400 – 1200 кГц внешние помехи не влияют на полученные результаты. При анализе более низких частот получено, что аппаратура регистрирует производственные шумы, которые могут повлиять на результаты измерений.

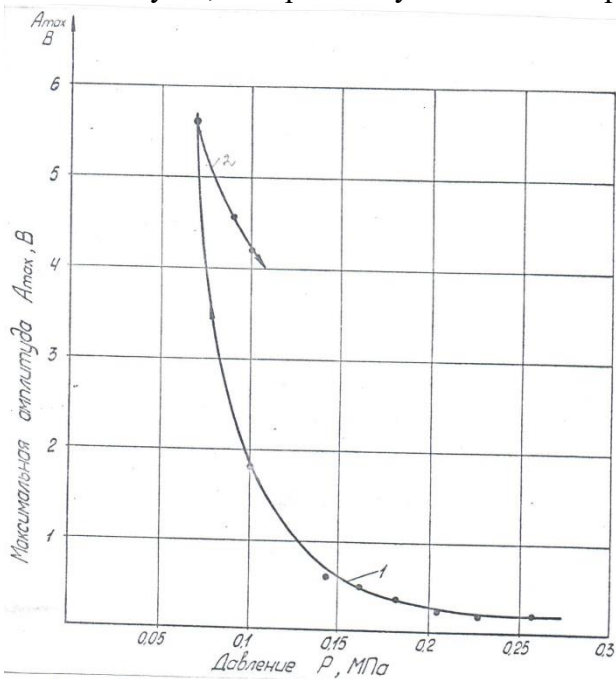


Рис. 4. Зависимость пиковой амплитуды сигналов акустической эмиссии от давления:
 1 – кривая получена при понижении давления; 2 – кривая получена при повышении давления

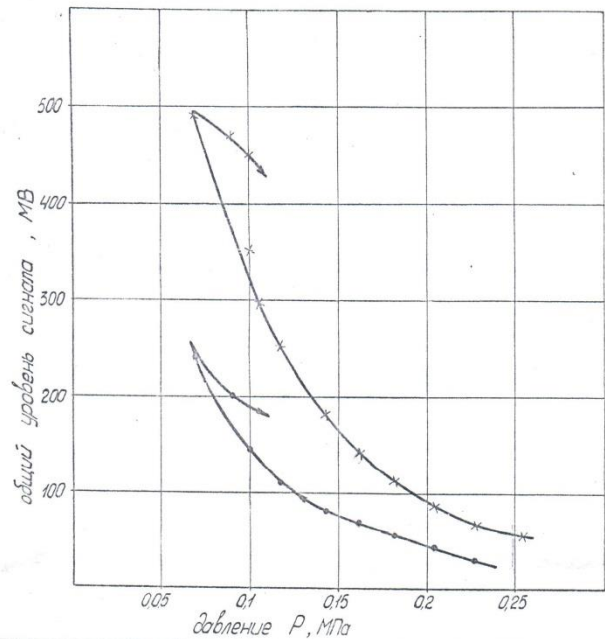


Рис. 5. Зависимость общего уровня сигналов акустической эмиссии от давления:
 о – диапазон частот 750 – 1200 кГц
 х - диапазон частот 400 – 1200 кГц

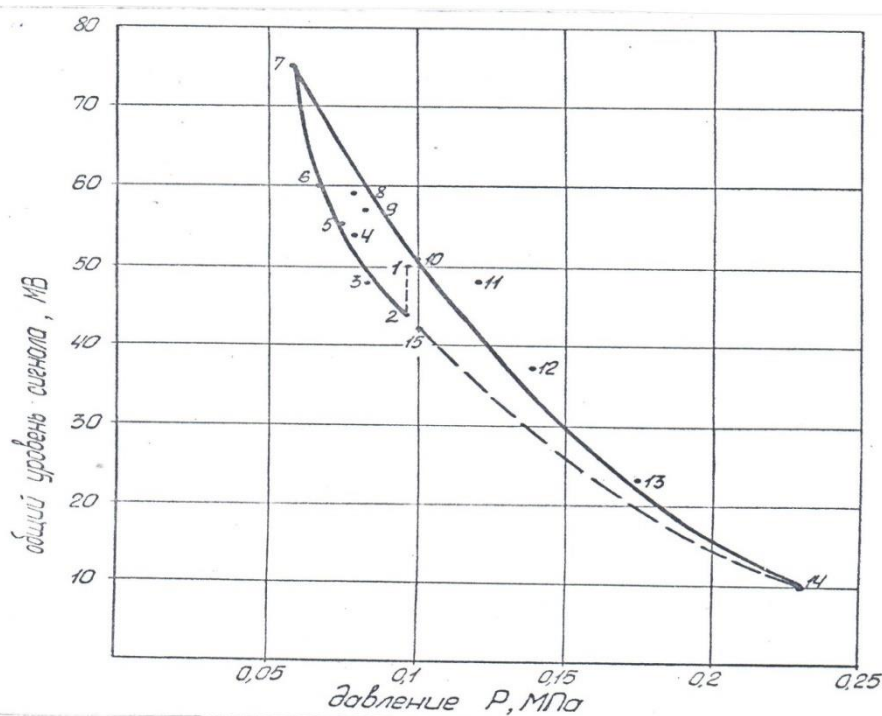


Рис. 6. Зависимость общего уровня сигнала акустической эмиссии от давления

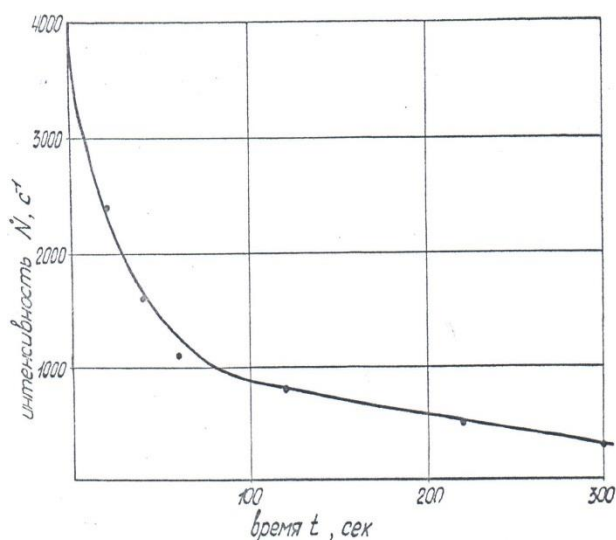


Рис. 7. Зависимость интенсивности сигналов акустической эмиссии при увеличении давления на входе насоса с 0,1 МПа до 0,15 МПа

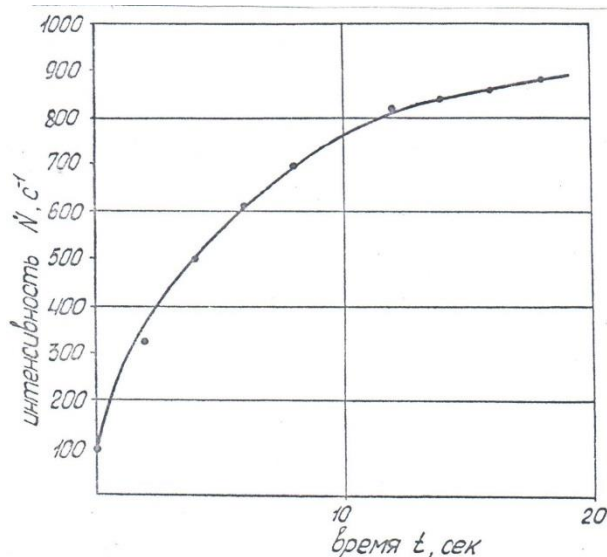


Рис. 8. Зависимость интенсивности сигналов акустической эмиссии при уменьшении давления на входе насоса с 0,15 МПа до нуля

Заключение

В статье приведены результаты использования метода акустической эмиссии для контроля степени развития кавитационных явлений в динамических насосах. Исследования показали возможность определять порог возникновения кавитации, контролировать устойчивость стационарности процесса в циркуляционных контурах. Метод требует своего дальнейшего развития.

Библиографический список

1. Митенков, Ф.М. Главные циркуляционные насосы АЭС / Ф.М. Митенков, Э.Г. Новинский, В.М. Будов. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 325 с.
2. Перник, Д.Д. Проблемы кавитации / Д.Д. Перник. – Л.: Судостроение, 1966. – 439 с.
3. Акустическая эмиссия и ее применение для неразрушающего контроля в ядерной энергетике / под ред. К.Б. Вакара. – М.: Атомиздат, 1980. – 216 с.
4. Прочность и акустическая эмиссия материалов и элементов конструкций / В.А. Стрижало, Ю.В. Добровольский, В.А. Стрельченко [и др.]; отв. ред. Г.С. Писаренко. – Киев: Наук. думка, 1990. – 232 с.

Дата поступления
в редакцию: 02.10.2018

S.N. Pichkov, D.A. Zakharov, E.G. Novinskiy

**RESEARCH OF CAVITATION PROCESSES IN PUMPING EQUIPMENT
BY ACOUSTIC METHOD**

JSC OKBM AFRICANTOV, Nizhny Novgorod

Purpose: the article is devoted to the research of cavitation processes in pumping equipment using the acoustic method. Notwithstanding that cavitation phenomena are well known for a long time and are sufficiently studied, cavitation suppression remains one of urgent problems.

Methodology: the performed prearranged research demonstrated that it was possible to identify cavitation limit, to control stability of the steady-state process in circulation circuits and flow parts of pumps using the acoustic method.

Findings: the obtained results are of interest because they complete applied research methods of cavitation phenomena with new opportunities. The acoustic method requires further development.

Value: the article may initiate a motivated discussion among specialists who research cavitation phenomena in rotodynamic pumps.

Key words: pumping equipment, cavitation, acoustic method, research.