

УДК 532.528.2

ИМПУЛЬСНАЯ АКУСТИЧЕСКАЯ КАВИТАЦИЯ В АППАРАТАХ ТИПА ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ СИРЕНЫ

Биглер В. И., Юдаев В. Ф.

Представлены и обсуждаются результаты экспериментальных исследований акустической импульсной кавитации в гидродинамической сирене.

В работе [1] экспериментально показано, что при определенных условиях в аппаратах типа гидродинамической сирены имеют место как гидродинамическая, так и акустическая импульсные кавитации. Известно, что тепло- и массообменные процессы химической технологии наиболее эффективно интенсифицируются в акустическом кавитационном поле [2]. Выше и качество продукта (например, дисперсность эмульсии) по сравнению с обработкой в поле гидродинамической кавитации.

В связи с важным значением для практики режима акустической импульсной кавитации были проведены эксперименты с целью изучения закономерностей возбуждения и развития импульсной кавитации в аппаратах химической технологии при глубокой модуляции потока жидкости.

Исследования кавитации проводились на установке (рис. 1), включающей в себя роторный аппарат с модуляцией потока типа гидродинамической сирены 1, насос 2, дроссель постоянного расхода 3, датчик расхода 4 с регистрирующим прибором 5, манометры 6 и 7 для измерения статического давления в полости ротора и в камере аппарата, пьезокерамический гидрофон 8, пиковый вольтметр 9, вольтметр эффективных значений 10, электронный осциллограф 11, анализатор гармоник 12 и самописец уровня 13. Вращение ротора осуществлялось двигателем постоянного тока 14. Температура жидкости контролировалась полупроводниковым термометром сопротивления и регулировалась теплообменником 15, установленным в баке для жидкости 16. Угловая скорость ротора определялась фотоэлектрическим тахометром.

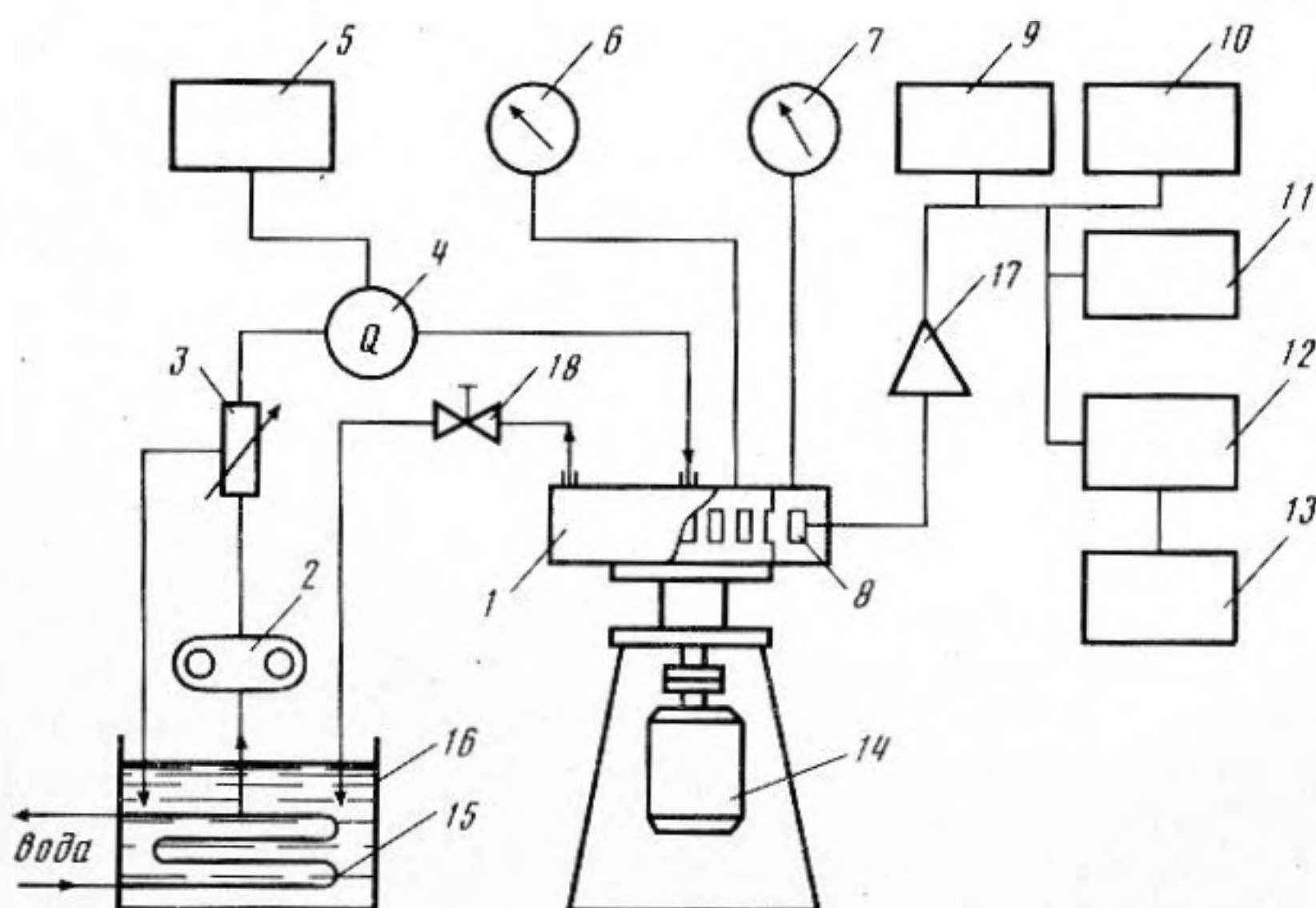


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

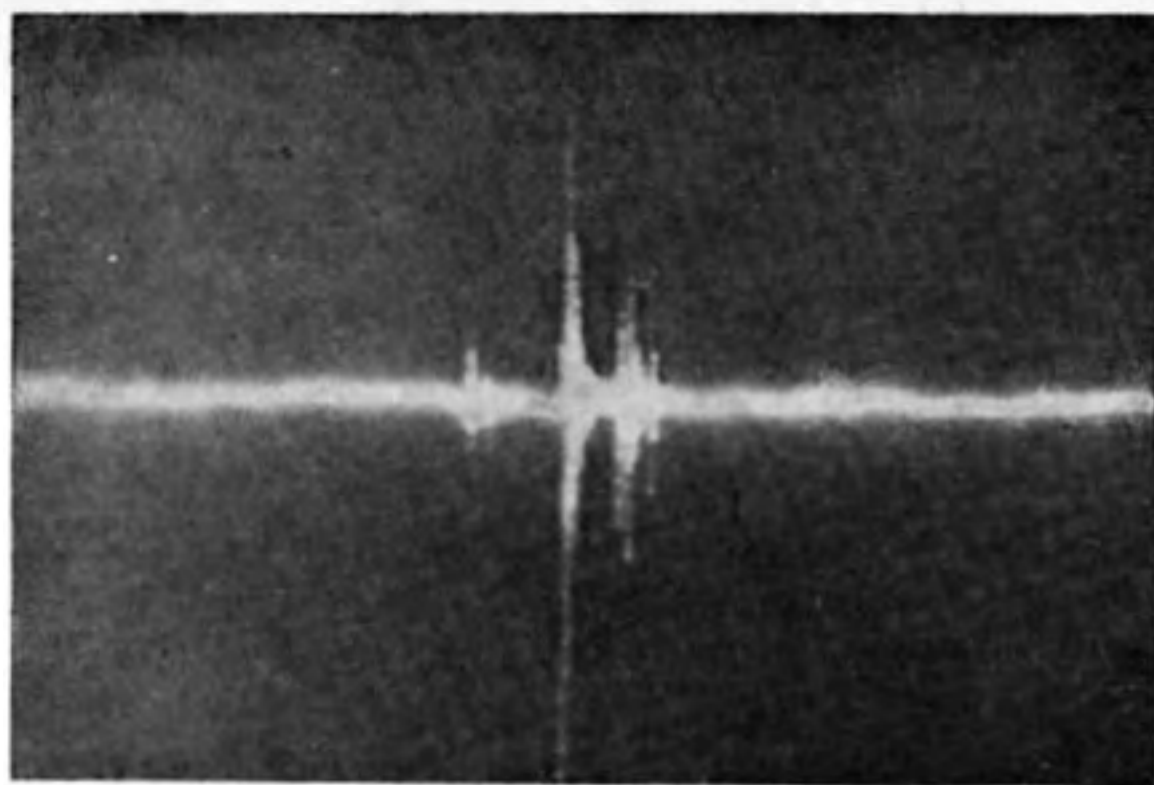


Рис. 2. Осциллограмма кавитационных импульсов давления

Сигнал с гидрофона 8 через предусилитель 17 подавался на вход осциллографа, по изображению на экране которого определялись длительность импульсов давления, период следования, амплитуда и форма. Одновременно можно было записать интегральный уровень звукового давления в камере аппарата. В качестве рабочей среды использовались водопроводная вода при температуре от 20 до 100° С, масло промышленное и его эмульсии в воде при температурах от 20 до 60° С.

Согласно рассмотренной ранее модели возбуждения импульсной кавитации в гидросиренах [1, 3], рост кавитационных зародышей в патрубках статора и в камере аппарата вызывается коротким (по сравнению с периодом их следования) импульсом отрицательного давления с амплитудой p_m . Вследствие инертности среды сжатие кавитационных пузырьков после прохождения отрицательного импульса давления происходит с некоторым запаздыванием. Возникающие в момент сжатия пузырьков положительные кавитационные импульсы давления хорошо видны на осциллограмме (рис. 2), а возбуждающий кавитацию импульс давления, расположенный левее первого кавитационного, едва заметен.

Эксперименты показали, что время запаздывания (длительность первой пульсации пузырьков) τ_1 обратно пропорционально числу кавитации: $\chi = p_\infty / [(\rho v^2/2) + p_m]$; где p_∞ — давление в камере сирены; $v = \sqrt{\omega^2 R^2 + \langle Q_1 \rangle^2 / S_c^2}$ — скорость жидкости относительно статора; ρ — плотность жидкости; ω и R — угловая скорость и радиус ротора; $\langle Q_1 \rangle$ — средний за период расход жидкости через одно отверстие статора; S_c — площадь поперечного сечения отверстия статора.

Диффузией газов в пузырьки и давлением насыщенных паров воды здесь пренебрегаем. Число кавитации изменялось в пределах 0,08...0,8 варьированием статического давления в камере p_∞ при постоянных значениях ω и R .

В указанных пределах изменения числа кавитации произведение $\chi \tau_1 = (91 \pm 7)$ мкс.

Вторичные кавитационные импульсы имеют меньшую амплитуду и расположены ближе (по времени) друг к другу, что свидетельствует о затухающих пульсациях кавитационных пузырьков. Было отмечено, что в ходе эксперимента, начатого с отстоявшейся водой, амплитуда и количество пульсаций пузырьков уменьшается, т. е. затухание возрастает по мере насыщения воды воздухом (рис. 3).

При малом газосодержании жидкости с уменьшением числа кавитации отношения τ_2/τ_1 и τ_3/τ_2 уменьшаются, а при большом начальном газосодержании наблюдаются два кавитационных импульса, причем отношение τ_2/τ_1 практически не зависит от числа кавитации (τ_2 и τ_3 — время второй и третьей радиальной пульсации пузырьков).

Логарифмический декремент затухания кавитационных импульсов давления $\theta = \ln(p_{k1}/p_{k2})$ (p_{k1} и p_{k2} — амплитуды кавитационных импульсов

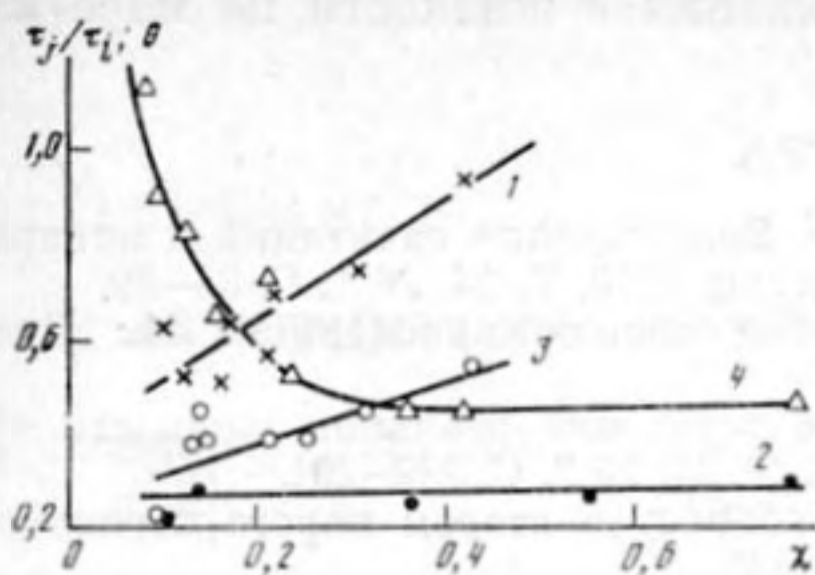


Рис. 3

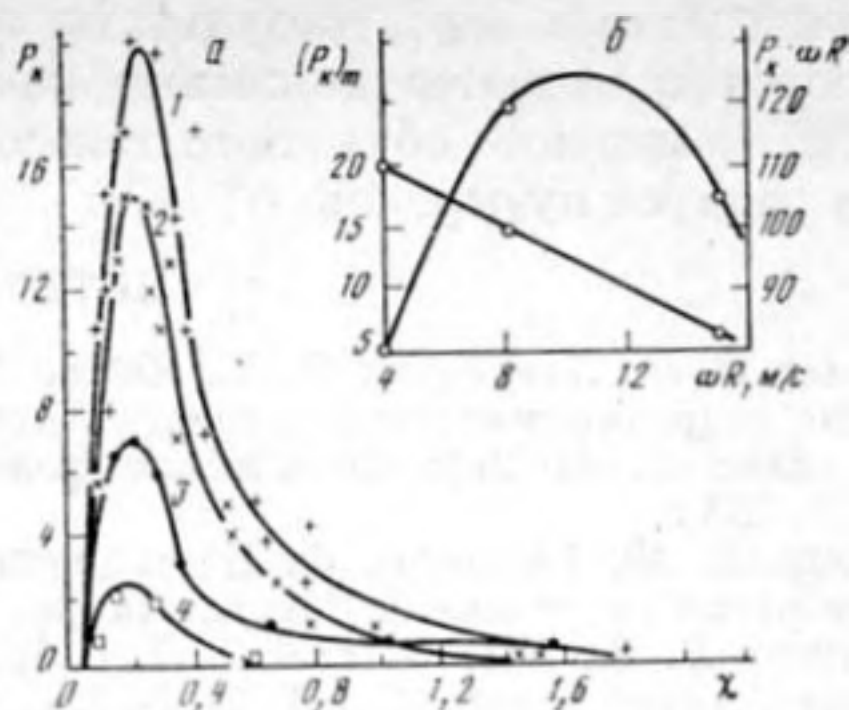


Рис. 4

Рис. 3. Зависимость отношений времени последовательных радиальных пульсаций пузырьков от числа кавитации: — τ_2/τ_1 в опытах с отстоявшейся водой — 1, когда на осциллограмме зафиксировано три четко разделенных кавитационных импульса давления, и после насыщения газом — 2, когда на осциллограмме зафиксировано два импульса; 3 — τ_3/τ_2 , полученные с осциллограмм, используемых для построения кривой 1; 4 — зависимость логарифмического декремента затухания θ от числа кавитации

Рис. 4. Влияние скорости перекрывания отверстия статора на амплитуду и мощность кавитационного импульса давления в воде. а — зависимость амплитуды кавитационного импульса давления в воде от числа кавитации при атмосферном давлении и при различных скоростях перекрывания ωR , м/с (1 — 4; 2 и 4 — 8; 3 — 15) и температурах, °С (1, 2, 3 — 20; 4 — 99). б — зависимость максимальной амплитуды $(P_k)_m$ кавитационных импульсов давления 1 и ее произведения на скорость перекрывания отверстий 2 от этой скорости при температуре 20°С

давления при первой и второй пульсациях пузырьков соответственно) зависит от числа кавитации (кривая 4, рис. 3). Из этой зависимости следует, что по мере ослабления возмущения потери энергии на излучение уменьшаются и пульсации пузырьков приближаются к линейным.

На рис. 4, а представлена зависимость амплитуды кавитационных импульсов давления в воде от числа кавитации при различных скоростях перекрывания отверстий статора. При всех задаваемых скоростях перекрывания наблюдались отчетливые максимумы амплитуды, причем с увеличением скорости перекрывания величины кавитационных импульсов уменьшились. Сравнение кривых 2 и 4, снятых при одинаковой скорости 8 м/с, но при различных температурах, показывает, что при прохождении через жидкость коротких (<1 мс) больших (до 2,8 МПа) отрицательных импульсов давления даже при температурах, весьма близких к температуре кипения (до 99°С), наблюдается импульсное возбуждение кавитации, что говорит о большей инертности тепловых воздействий на пузырек по сравнению с механическими.

Представленные на рис. 4, б зависимости показывают, что амплитуда кавитационных импульсов с увеличением скорости перекрывания монотонно уменьшается (кривая 1), но мощность первых кавитационных импульсов $p_k f$ (частота следования импульсов $f \sim \omega R$) имеет максимум при скорости перекрывания ≈ 10 м/с, что соответствует числу гидродинамической кавитации $\chi_r = 2p_\infty / \rho v^2$, приблизительно равному единице.

Замена воды на масло индустриальное и его эмульсии различной концентрации не выявила принципиальных различий в характере кавитационных импульсов давления (вязкость рабочей среды при этом изменялась более чем в 100 раз, коэффициент поверхностного натяжения в 4 раза), в то время как с увеличением свободного объемного содержания газа быстро увеличивается затухание кавитационных импульсов давления.

Таким образом, результаты проведенных экспериментов показывают, что в гидродинамических сиренах, как и в других устройствах [4–6], для проведения технологических процессов существуют оптимальные условия, при которых кавитационное воздействие на процесс максимально.

Приведенные здесь результаты экспериментов удовлетворительно согласуются с моделью динамики кавитационного пузырька [7], учитывающий изменение объемного газосодержания в жидкости по мере изменения радиуса пузырьков.

ЛИТЕРАТУРА

1. Биглер В. И., Лавренчик В. Н., Юдаев В. Ф. Возбуждение кавитаций в аппаратах типа гидродинамической сирены // Акуст. журн. 1978. Т. 24. № 1. С. 34–39.
2. Маргулис М. А. Звукохимические реакции и сонолюминесценция. М.: Химия, 1986. 288 с.
3. Биглер В. И., Юдаев В. Ф. Нестационарное истечение реальной жидкости через отверстия гидросирены // Акуст. журн. 1978. Т. 24. № 2. С. 289–291.
4. Монахов В. Н., Пешковский С. Л. и др. К вопросу о втором пороге кавитации в воде // Акуст. журн. 1975. Т. 21. № 3. С. 432–435.
5. Чандрасекхара Д. В., Сиамала Рао Б. Ц. Влияние давления на длину каверны и кавитационное разрушение за круглыми цилиндрами в трубе Вентури/Тр. ASME. Сер. Д. Теоретические основы инженерных расчетов: Пер. с англ. М.: Мир, 1973. № 2. С. 97–107.
6. Агранат Б. А., Башкиров В. И., Китайгородский Ю. И. и др. Ультразвуковая технология. М.: Металлургия, 1974. 504 с.
7. Юдаев В. Ф. Методы расчета роторных аппаратов с модуляцией потока // Разработка, исследование и расчет машин и аппаратов химических производств. М.: МИХМ, 1984. С. 139–143.

Московский институт
химического машиностроения

Поступила в редакцию
16.IX.1988