

**ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ КАВИТАЦИИ ДЛЯ МОЙКИ ДЕТАЛЕЙ**

**Д.Г. Громаковский,  
С.В. Шигин**

Самарский государственный  
технический университет,  
ул. Молодогвардейская, 244,  
гл. корпус, г. Самара,  
Российская Федерация, 443100,  
pnms3@mail.ru

*В представленной статье рассмотрен опыт Самарского технического университета по использованию низкочастотной кавитации в технологии мойки деталей машин и приборов. На базе результатов исследований НТЦ «Надёжность» СамГТУ разработаны и апробированы на предприятиях низкочастотные кавитационные моечные установки и технологии с применением в качестве моющей жидкости технической воды без подогрева и моющих средств: установка на АО «Авиаагрегат» для мойки алюминиевых труб шасси самолётов при погружении в кавитирующую жидкость; установка для промывки пакетов фильтроэлементов маслосистем газотурбинных авиадвигателей; установки для струйно-кавитационной мойки изделий сложной формы и больших габаритов - баков ракет-носителей на АО «РКЦ «Прогресс», крупногабаритных буксовых подшипников железнодорожных вагонов на ОАО «СПЗ» и в вагонных депо станций Кинель и Самара Куйбышевской железной дороги и др. без внесения конструктивных изменений и перенастройки их штатной схемы.*

*Разработки показали, что промывка деталей при низкочастотной кавитации не только производительнее других известных способов мойки, но и позволяет очищать детали сложной конфигурации с внутренними полостями и глухими каналами, успешно удаляют твердые абразивные частицы, шаржированные в поверхности деталей при шлифовании и др.*

*Представленные в статье низкочастотные кавитационные установки для мойки деталей погружением в моющую жидкость и струйной мойки, обеспечивают при относительно невысокой стоимости высокий уровень качества и производительности мойки, что подтверждено при их промышленной апробации.*

**Ключевые слова:** Мойка; низкочастотная кавитация; струйная кавитация; кавитационная моечная установка; ударные волны; вибротурбулизация; турбулентность; пульсации давления; надёжность

**1 Введение**

Известно, что одним из наиболее распространённых способов очистки поверхностей деталей от загрязнений является использование ультразвука. Однако, как показали исследования [1] и др., применение ультразвука не всегда обеспечивает необходимую и достаточную степень очистки поверхностей. Авторами статьи наиболее высокое качество промывки было получено при использовании низкочастотной кавитации моющей жидкости [2...5] и др.

Кавитация (от лат. cavitas - пустота) является динамическим процессом, при котором в жидкости образуются кавитационные пузырьки или каверны, формирующиеся в результате локального понижения давления в жидкости, которое происходит за счёт увеличения скорости пульсации

(гидродинамическая кавитация), либо при прохождении акустических волн большой интенсивности во время каждого полупериода разрежения (акустическая кавитация). Перемещаясь с потоком в зону с более высоким давлением во время полупериода сжатия, кавитационный пузырёк при встрече с очищаемой поверхностью схлопывается и излучает ударную волну, что и очищает промываемые поверхности (рисунок 1).

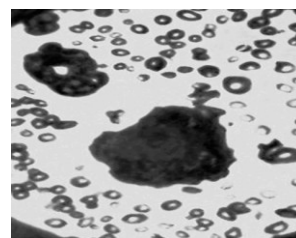


Рисунок 1. Кавитационные пузырьки на торцевой поверхности вибрирующего стержня ( $\times 2 \cdot 10^3$ )

Однако, низкочастотные кавитационные технологии и установки до сих пор не получили широкого применения.

## 2 Исследования и реализация опытных разработок

В НТЦ «Надёжность» СамГТУ разработаны два типа кавитационных установок и технологий. В первом случае, установка для мойки малогабаритных деталей при их погружении в кавитирующую жидкость (рисунок 2а) была использована в АО «Авиаагрегат» холдинга «Технодинамика» (патенты РФ №: 1734886, 2024336, 2287739, 2329879 и 2344312), а установка для струйной мойки изделий сложной формы и больших габаритов, была разработана и внедрена в АО «РКЦ «Прогресс». При струйной мойке кавитация возбуждается в моющей жидкости с помощью блока форсунок, показанной на рисунке 2б. В обоих случаях в качестве моющей жидкости использована техническая вода при комнатной температуре, а моющие средства не применяются. Исследования показали, что оптимальный режим кавитации достигается при повышении давления в кавитационных частицах до уровня насыщенного пара - 2,34... 3,17 кПа [2] и др.

Основные параметры разрабатываемых технологий мойки деталей изучали на базе установок, показанных на рисунках 2, 4, ... 9.

Оценку спектра пульсаций давления в рабочей камере проводили в двух частотных поддиапазонах - 10...500 Гц и 500...2000 Гц

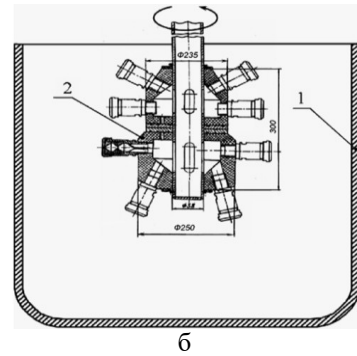
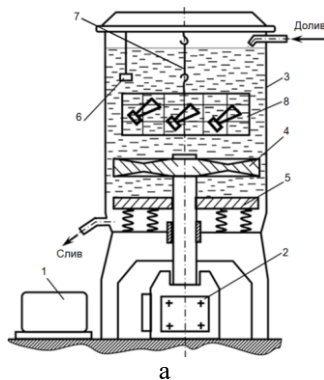


Рисунок 2. Примеры реализации способа кавитационной мойки: а – при погружении деталей в моющую жидкость, где 1 – электродвигатель; 2 – привод пульсации давления; 3 – кавитационная камера; 4 – активатор; 5 – дополнительный резонатор; 6 – датчик пульсации давления; 7 – устройство погружения и выгрузки деталей; 8 – устройство для размещения промываемых деталей; б – блок форсунок для струйной мойки баков ракетносителей: 1 - промываемая ёмкость; 2 – струйно-кавитационные форсунки

(рисунок 3) при низкочастотной кавитационной мойке деталей проводили по сигналам датчика давления ЛХ-610, установленного в рабочей ёмкости. В ходе исследования, наряду с основным эффектом очистки поверхностей, была также исследована роль продольных волн моющей жидкости, направленных вдоль оси ванны.

Диаметр моющей камеры в испытываемой установке составлял  $\varnothing=360$  мм, высота столба моющей жидкости  $H=750$  мм. Наибольшая эффективность мойки имела место при резонансе моющей жидкости на частоте около 20 Гц при амплитуде перемещений диска-активатора - 4 порядка 10 мм.

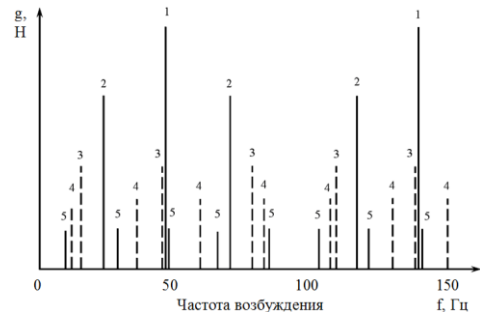


Рисунок 3. Общая характеристика резонанса различного порядка, возникающего в реакторе при частотном возбуждении диска-активатора

Результаты оценки амплитудо-частотной пульсации давления в моечной установке показаны на рисунке 2.

Обоснование выбора оптимальных диаметра и профиля диска активатора моечной установки выполняли экспериментально при трёх профилях дисков-активаторов (рисунок 3): 1 - плоского с наружной стороны; 2 - плоского с обеих сторон; 3 - с переменным профилем.

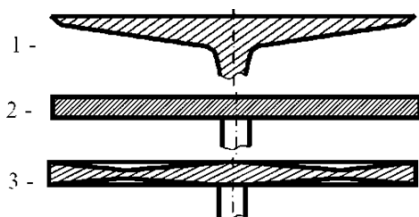


Рисунок 4. Профили исследованных дисков-активаторов

Наиболее эффективным оказался профиль с переменным профилем (рисунок 3, поз. 3). Оптимальный диаметр диска-активатора по отношению к диаметру ванны  $\varnothing_{\text{ванны}}$  составил  $\varnothing_{\text{диска}} = 0,96 \varnothing_{\text{ванны}}$ .

На базе полученных результатов проведённых исследований была разработана конструкция гидроволновой установки (рисунок 4 и 5), предназначенная для промывки внутренних поверхностей трубчатых деталей АО «Авиаагрегат» холдинга «Технодинамика» (рисунок 5).

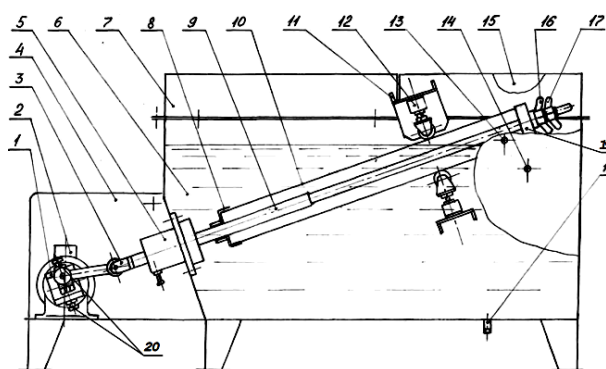


Рисунок 5. Схема установки для кавитационной мойки трубчатых деталей: 1 – механизм привода; 2 – электродвигатель; 3 – регулируемая вилка; 4 – кожух; 5 – втулка; 6 – ёмкость; 7 – крышка несъёмная; 8 – нижний фланец крепления трубы; 9 – шток; 10 – обрабатываемое изделие; 11 – балка; 12 – роликовая опора; 13 – штуцер заливной; 14 – штуцер контроля

уровня залива; 15 – крышка откидная; 16 – гайка-барашек; 17 – стопорный винт; 18 – штуцер сливной; 19 – верхний фланец крепления трубы; 20 – винты с контргайками регулировки амплитуды колебаний штока



Рисунок 6. Фотография установки для мойки труб при низкочастотной резонансной кавитации на АО «Авиаагрегат» холдинга «Технодинамика»

При мойке загрязнённая труба заполняется технической водой, примерно на 75% объёма, и совершает продольные колебания в резонансном режиме. Достаточное время отмывки одной детали составило порядка трёх минут.

Установка того же типа, предназначенная для промывки пакетов фильтроэлементов маслосистем авиационных газотурбинных двигателей (размер ячейки плоских сетчатых фильтров 3-5 мкм) показана на рисунке 6.



Рисунок 7. Установка для промывки фильтров

Камера установки имеет размеры  $\varnothing=150$  мм,  $L=700$  мм.

Наряду с установками для мойки при погружении в моющую среду, отработан струйно-кавитационный способ мойки и сушки буксовых подшипников железнодорожных вагонов, рабочих поверхностей колец, сепараторов и тел качения, а также других крупногабаритных объектов, в частности, баков ракет носителей АО «РКЦ «Прогресс».

Струйно-кавитационные устройства для мойки подшипников (рисунки 7...10) испытаны на промышленных моечных машинах типа МСП без внесения конструктивных изменений и перенастройки ее основной (штатной) схемы на ОАО «СПЗ» и в вагонных депо станций Кинель и Самара Куйбышевской железной дороги. Полученные результаты приведены в таблице.

### 3 Заключение

Выполненные разработки показали, что промывка на ГВУ при низкочастотной кавитации не только производительнее других известных способов мойки, но и позволяет очищать детали сложной конфигурации с внутренними полостями и глухими каналами, успешно удаляет твердые частицы абразивного инструмента, шаржированные в поверхности деталей при шлифовании и др.

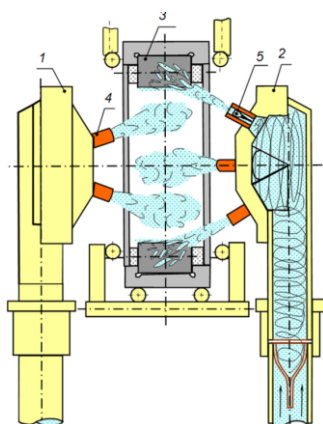


Рисунок 8. Устройство для промывки буксовых подшипников: 1, 2 – струйно-кавитационные головки; 3 – промываемый подшипник; 4 – сопла; 5 – кавитатор

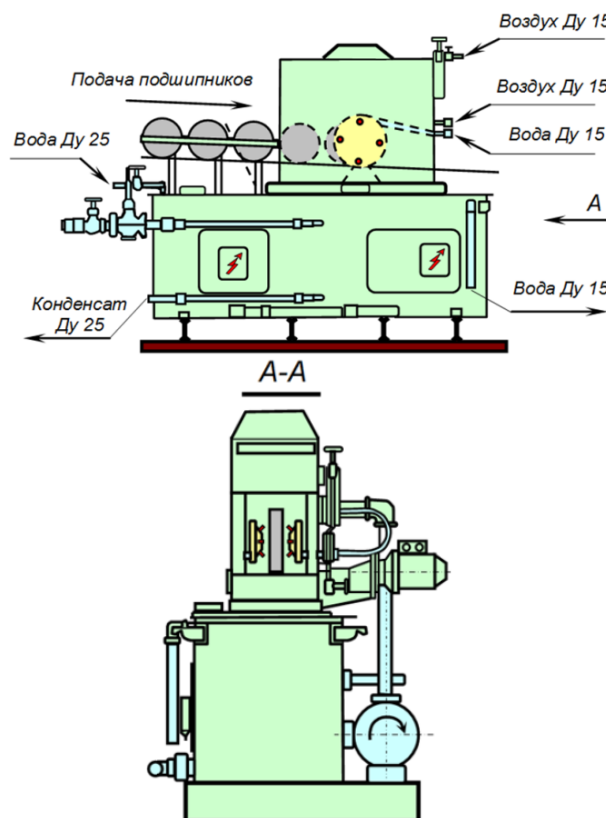


Рисунок 9. Схема модернизации моечной машины МСП

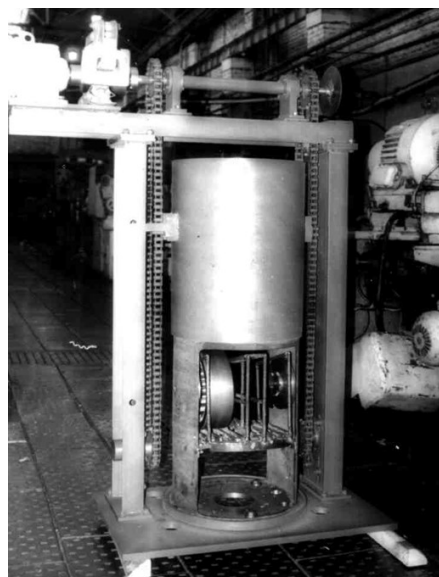


Рисунок 10. Установка для мойки крупногабаритных подшипников на ОАО «СПЗ»

Таблица. Техническая характеристика промывочного узла

1.	Повышение производительности мойки подшипников букс, %	24
2.	Температура моющей жидкости, °С	25
3.	Время промывки, мин	3...5
4.	Насос центробежный, тип	2К20-30
5.	Мощность электродвигателя, кВт	2,5
6.	Скорость потока эмульсии через сопла, м/с	15...20

Представленные в статье кавитационные установки для мойки погружением в моющую жидкость и струйной мойки, использующие низкочастотную кавитацию (при относительно невысокой стоимости), обеспечивают необходимый уровень качества и производительности, что подтверждено при мойке деталей шасси самолётов в АО «Авиаагрегат» холдинга «Технодинамика» и баков ракет-носителей в АО «РКЦ «Прогресс» (г. Самара).

В СамГТУ рассматривается предложение об организации производства моющих установок на базе оборудования профилирующих кафедр факультета машиностроения металлургии и транспорта.

## Список использованных источников

[1] Маргулис М. А. Исследование физико-химических процессов, проходящих под действием акустических колебаний / М. А. Маргулис, Л. М. Грундель // Физика химии. – 1982. - Т. 56. - № 6. - С. 1445 – 1449.

[2] Отчёт по договору ФГБОУ ВО СамГТУ и АО «Авиаагрегат» холдинга «Технодинамика» № АА - 884/ 2014 от 23.01.2015 г. на тему «Исследование, разработка технологии и установки для очистки внутренних поверхностей алюминиевых труб». Самара: СамГТУ, 2016. - 87 с.

[3] Кавитация: «Большая советская энциклопедия» на сайте «Словари и энциклопедии на Академике», 2018, available at: <http://dic.academic.ru/dic.nsf/bse/91977/Кавитация> (дата обращения: 11.04.2018).

[4] Кавитация: «Википедия, свободная энциклопедия», available at: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Кавитация> (дата обращения: 11.04.2018).

[5] Давление и плотность насыщенного водяного пара в зависимости от температуры. Сайт «Физика в школе и дома», available at: [http://school-physics.spb.ru/data/labs/Saturated\\_steam.pdf](http://school-physics.spb.ru/data/labs/Saturated_steam.pdf) (дата обращения: 11.04.2018).

## THE EXPERIENCE OF USE OF CAVITATION FOR WASHING OF PARTS

*In the presented article, the experience of the Samara State Technical University on the use of low-frequency cavitation in the technology of washing machine parts and devices is considered.*

*Based on the results of research conducted by STC "Reliability" of SamSTU, low-frequency cavitation washing plants and technologies have been developed and tested at enterprises with the use of industrial water without heating and detergents as a washing liquid: installation at JSC "Aviaagregat" for cleaning aluminum pipes of the chassis of aircraft when immersed in a cavitating liquid; installation for washing the packages of filter elements of oil systems of gas turbine aircraft engines; installations for jet-cavitation washing of products of complex shape and large dimensions - carrier rocket tanks at JSC "RCC" Progress ", large-sized axle box bearings of railway cars at JSC "Samara Bearing Plant" and in the wagon depots of Kinel and Samara stations of the Kuibyshev Railway, etc. without making constructive changes and reconfiguring their staffing scheme.*

*Developments have shown that washing parts with low-frequency cavitation is not only more productive than other known methods of washing, but also allows cleaning parts of a complex configuration with internal cavities and blind channels, successfully removing solid abrasive particles, carved in the surface of parts during grinding, etc.*

*The low-frequency cavitation units for cleaning parts by immersion in washing liquid and jet washing, presented in the article, provide a high level of quality and washing performance at a relatively low cost, which is confirmed by their industrial approbation.*

**Key words:** *Washing; low-frequency cavitation; jet cavitation; cavitation washing installation; shock waves; vibration turbulization; turbulence; pressure pulsations; reliability*

**Dmitriy G. Gromakovsky,  
Sergey V. Shigin**

Samara State Technical  
University,  
main building , 244,  
Molodogvardeyskaya st., Samara,  
443100,  
Russian Federation,  
pnms3@mail.ru

## References

- [1] Margulis M.A. and Grundel L.M. (1982), "Investigation of the physicochemical processes occurring under the action of acoustic oscillations", *Physics of Chemistry*, vol. 56, no. 6, pp. 1445 - 1449.
- [2] Report under the agreement of the Samara State Technical University and JSC "Aviaagregat" of the holding "Tekhnodinamika" (2016), "Research, development of technology and installations for cleaning internal surfaces of aluminum pipes", Type of report: Final, no. AA-884/2014, dated 23.01.2015, SamSTU, Samara, Russia, 87 p.
- [3] Academic (2018), "Cavitation", available at: <http://dic.academic.ru/dic.nsf/bse/91977/Кавитация> (Accessed 11 April 2018).
- [4] Wikipedia. The Free Encyclopedia (2018), "Cavitation", available at: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Кавитация> (Accessed 11 April 2018).
- [5] Physics at school and houses (2011), "Pressure and density of saturated water vapor depending on temperature", available at: [http://school-physics.spb.rudata/labs/Saturated\\_steam.pdf](http://school-physics.spb.rudata/labs/Saturated_steam.pdf) and others (Accessed 11 April 2018).