

УДК 621.9.048.6

**Толочко Н.К.**, доктор физико-математических наук, профессор;

**Челединов А.Н.**, аспирант

*УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,  
г. Минск, Республика Беларусь*

## **МЕХАНИЗМЫ КАВИТАЦИОННОЙ ОЧИСТКИ**

***Аннотация.** Экспериментально изучены процессы акустической кавитации. Рассмотрены механизмы кавитационной очистки.*

В последние годы для удаления разнообразных технологических и эксплуатационных загрязнений с поверхностей деталей машин при их производстве, ремонте и техническом обслуживании все шире применяется ультразвуковая (УЗ) очистка. В ее основе лежит акустическая кавитация, возникающая в моющей жидкости. Для совершенствования технологии УЗ очистки важно понимание закономерностей развития кавитации и особенностей ее влияния на удаление загрязнений. В данной статье рассмотрены возможные механизмы удаления загрязнений под действием кавитации.

Кавитация – это процесс образования в жидкости пузырьков, заполненных газом (паром) [1]. Различают два типа пузырьков по характеру поведения: захлопывающиеся и пульсирующие. Главную роль в удалении загрязнений играют захлопывающиеся пузырьки. Они создают микроударные волны, которые способны разрушать загрязнения, обладающие большой кавитационной стойкостью и прочно сцепленные с поверхностью (нагар, окалина, смолистые отложения). Эти волны вызывают локальные напряжения в слое загрязнения, которые распределяются в нем весьма неравномерно, что приводит к появлению в слое трещин и очагов эрозии и в итоге к его диспергированию. Кроме того, захлопывающиеся пузырьки порождают интенсивные микроструи, также способные разрушать загрязнения. Пульсирующие пузырьки играют меньшую роль в удалении загрязнений. В основном они разрушают загрязнения, обладающие малой кавитационной стойкостью и слабо сцепленные с поверхностью. Оказавшись под отслоившимся участком слоя загрязнения, они, совершая интенсивные колебания, приводят к разрыву слоя и его отделению от поверхности. Если загрязнение нане-

сено в виде тонкого непрочного слоя (например, грязевого), то они, перемещаясь по поверхности, приводят к его избирательному разрушению.

Одним из основных параметров УЗ очистки является активность кавитации, т.е. ее способность вызывать специфические эффекты, в данном случае – разрушать загрязнения. Варьируя активностью кавитации, можно управлять процессом очистки.

Активность кавитации определяется активностью единичных пузырьков, содержащихся в жидкости, и их общим количеством. Поскольку в активность кавитации вносят вклад пузырьки обоих типов: и захлопывающиеся, и пульсирующие, то представляется актуальным выяснение особенностей развития и тех, и других. До сих пор этот вопрос недостаточно изучен. Имеются предположения о возможности формирования в объеме кавитирующей жидкости обособленных участков, содержащих преимущественно пузырьки того, или иного типа и, соответственно, обладающих различной эрозионной активностью [2, 3]. Однако эти предположения не получили убедительного экспериментального подтверждения, так как были основаны на анализе результатов кино съемки «облаков» пузырьков и эрозионных тестов с использованием алюминиевой фольги в качестве тест-образцов.

Данная работа посвящена исследованию активности кавитации с помощью кавитометра ИСА-4D (производство БГУИР, Беларусь). Особенность этого кавитометра состояла в том, что он (согласно паспортным данным) благодаря регулированию частотного спектра регистрируемого кавитационного шума мог работать в двух разных режимах: полной кавитации  $a$  (с учетом действия и пульсирующих, и захлопывающихся пузырьков) и нестационарной кавитации  $a_c$  (с учетом действия только захлопывающихся пузырьков). Значения активности кавитации  $a$  и  $a_c$  выражали в относительных единицах (о них судили по электрическому напряжению, указывавшемуся на индикаторной шкале электронного блока).

В первой серии опытов устанавливали зависимость активности кавитации от выходной мощности  $P$  генератора ультразвукового (УЗ) диспергатора УДН (22 кГц, производство БГУИР, Беларусь), излучатель которого погружался в сосуд диаметром 10 см с водой (высота столба воды 13 см), так что торец излучателя располагался в центральной части сосуда. Щуп кавитометра был неподвижно размещен на одном уровне с торцом излучателя в 3 см от него.

Во второй серии опытов устанавливали зависимость активности кавитации от удаления  $L$  от донного излучателя УЗ ванны УЗУ-0.25 с объемом рабочей полости 4,5 л (18 кГц, выходная мощность генератора 250 Вт). В разных опытах щуп кавитометра находился на разном расстоянии от излучателя по вертикали.

По данным опытов первой серии получены зависимости  $a(P)$  и  $a_c(P)$ , второй серии – зависимости  $a(L)$  и  $a_c(L)$ . Также получены расчетным путем зависимость  $a_p(P)$  как разность  $a(P)$  и  $a_c(P)$  и зависимость  $a_p(L)$  как разность  $a(L)$  и  $a_c(L)$  (здесь  $a_p$  – активность кавитации с учетом действия только пульсирующих пузырьков).

Результаты опытов: 1) кавитация возникает при  $P = 4$  Вт; далее с увеличением  $P$  значения  $a_c$  и  $a_p$  увеличиваются, сначала быстро, а затем медленней;  $a_c = 25$  и  $a_p = 20$  при  $P = 80$  Вт; 2) с увеличением  $L$  значения  $a_c$  и  $a_p$  уменьшаются, при этом зависимости  $a_c(L)$  и  $a_p(L)$  имеют вид нисходящего синусоидального затухающего тренда, что обусловлено наличием чередующихся зон разрежения и сжатия вдоль направления распространения УЗ волн;  $a_c = 24$  и  $a_p = 22$  при  $L = 0$  (у поверхности излучателя),  $a_c = 6$  и  $a_p = 5$  при  $L = 12$  см – значения  $a_c$  и  $a_p$  соответствуют положениям срединных кривых зависимостей  $a_c(L)$  и  $a_p(L)$ .

Таким образом, и захлопывающиеся и пульсирующие пузырьки возникают в жидкости одновременно и распределяются по всему ее объему, а обусловленные ими активности кавитации изменяются подобным образом с изменением мощности излучателя и удаления от него. Это означает, что в процессах кавитационной очистки параллельно участвуют пузырьки обоих типов.

#### Список использованной литературы

1. Ультразвук. Маленькая энциклопедия. – М.: Сов. энциклоп., 1979. – 400 с.
2. Панов, А.П. Ультразвуковая очистка прецизионных деталей. – М.: Машиностроение, 1984. – 88 с.
3. Приходько, В.М. [и др.]. Формирование эксплуатационных свойств деталей машин ультразвуковыми методами: монография. – М.: МАДИ, 2015. – 264 с.

**Abstract.** The processes of acoustic cavitation are studied experimentally. The cavitation cleaning mechanisms are considered.