

## КАВИТАЦИОННАЯ ЭРОЗИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОДЛОЖЕК В ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ВОДНЫХ СУСПЕНЗИЙ

О.М. Вахрушева

К.С. Баев

om\_vahrusheva@vyatsu.ru

kir-baev@yandex.ru

ВятГУ, Киров, Российская Федерация

---

### Аннотация

*Рассмотрены перспективы промышленного использования для водоподготовки плавательных бассейнов кавитационной дезинтеграции серебряных и медных подложек. Определены показатели, влияющие на эффективность процесса. Представлены результаты исследований количественной величины износа образцов различных металлов. Проведена экспериментальная оценка размеров частиц серебра и меди, образующихся в процессе кавитационной обработки в гидродинамической проточной установке оригинальной конструкции при одинаковых гидродинамических условиях и продолжительности воздействия. Произведена визуализация эрозии поверхности металлических подложек. Приведены данные натурных исследований*

### Ключевые слова

*Водная суспензия, металлические подложки, кавитационная эрозия, натурные исследования, размер частиц*

Поступила в редакцию 08.11.2016

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016

---

Изучению гидродинамических кавитационных процессов посвящено большое количество научных работ, связанных с исследованиями самого процесса и сопутствующих ему дезинтегрирующих явлений. Их проявлениями служит видимая механическая эрозия поверхностей, соприкасающихся с кавитационной зоной. Причина появления эрозии связана с аннигиляцией в условиях быстропеременных процессов образованных на данном участке парогазовых микросфер. В окрестностях точек их схлопывания возникают экстремальные параметры, которые приводят к образованию на локальном участке гидродинамической системы импульсных давлений больших величин 100–1500 МПа и высоких температур до 2000 °С [1].

Одним из возможных направлений прикладного использования гидродинамической кавитации является водоподготовка плавательных бассейнов, реализованной по технологии [2]. В ней использован кавитационный реактор, выполненный по патенту [3]. Эффект консервации воды здесь реализован посредством диспергирования в водном потоке частиц олигодинамических металлов (серебра и меди), получаемых посредством кавитационной эрозии. Этот процесс происходит путем создания высоких скоростей потока при обте-

кании цилиндрического возбудителя в канале кавитационного реактора. Рабочий диапазон скоростей при этом составляет 38–56 м/с. За основаниями возбудителя по ходу движения потока находятся листовые серебряные или медные подложки, размерами перекрывающими зону кавитации. Режимы обработки обеспечивают поддержание условий с максимальным износом металлических поверхностей.

Эффективность использования технологии определяется размером образцованных при кавитационной эрозии частиц и их количеством. В серии научных исследований проведена оценка количественной величины износа подложек в зависимости от различных факторов. Большое влияние на кавитационный процесс оказывает вид поверхности возбудителей кавитации. Так, распределенная шероховатость на их поверхности вызывает изменение скорости и турбулентности по всему объему пограничного слоя, а также способствует образованию и развитию ядер кавитации [4]. По этим же данным, при увеличении высоты неровностей на поверхности цилиндрического возбудителя от 5 до 30 мкм кавитационное воздействие резко увеличивается, причем дальнейшее их увеличение эффекта не дает. Покрытие поверхности возбудителя как эластичным материалом (резиной), так и нанесение на нее сетчатого рифления, также ведет к увеличению интенсивности кавитации по сравнению с гладкой поверхностью. По данным [5], резиновое покрытие толщиной 1 мм и сетчатое рифление с шагом 1 мм на поверхности цилиндрических возбудителей кавитации увеличивают интенсивность в 1,45 и 3 раза, соответственно. Большое влияние на уровень кавитационного воздействия оказывают геометрические параметры возбудителей кавитации. Так, в работе [6] приведены данные о том, что наибольший эффект от кавитационной эрозии наблюдается при высоте цилиндрических возбудителей, равной 0,5...1 их диаметра. Р.Ю. Акчурина приводит целый ряд геометрических параметров и вариантов взаимного расположения различных возбудителей кавитации, позволяющих воздействовать на материалы с наибольшей интенсивностью [5]. При исследовании системы возбудителей он выяснил, что максимальное кавитационное воздействие на материалы происходит при следующих пропорциональных среднему диаметру возбудителей  $d$  значениях:

- для цилиндров без покрытия и с резиновым покрытием толщиной 1 мм расстояние между возбудителями,  $a = 0,5d$ ;
- для цилиндров и конусов с рифленой сетчатой поверхностью,  $a = d$ ;
- расстояние между стенкой и крайним возбудителем,  $c = 0,5d$ .

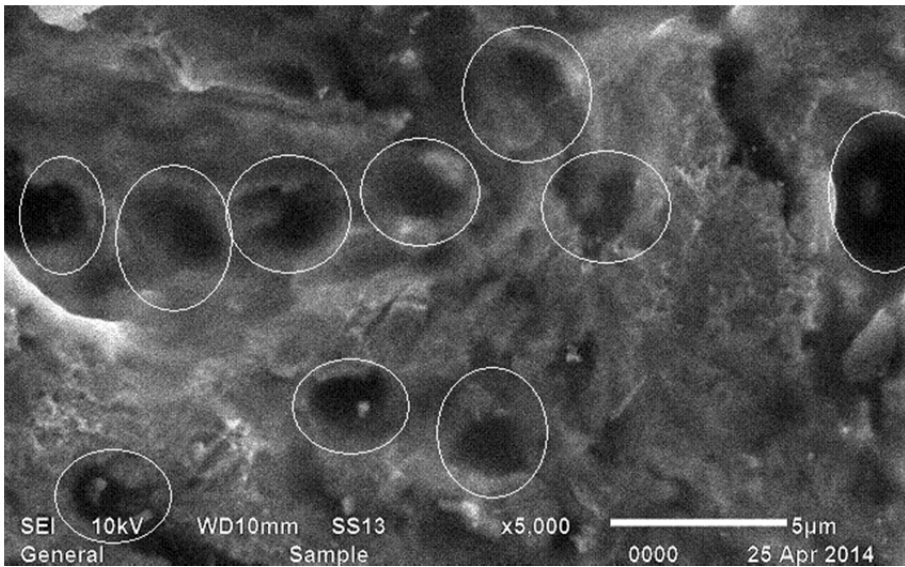
В Вятском государственном университете проведены исследования кавитационного износа серебряных и медных подложек на устройстве при одинаковых гидродинамических условиях и продолжительности воздействия [3]. В качестве объектов исследования использовали образцы серебра и меди с чистотой 99,99 %. Результаты исследования показали, что более развитую эрозию поверхности имеет серебряная подложка. Ее весовая оценка потери массы показала большее значение износа на 20 %. Видимые разрушения имеют множество развитых очагов и позволяют предположить достаточно динамичный их рост, который мог разви-

ваться как путем хаотичного отрыва частиц различных размеров и форм, так и последовательного образования каверн на поверхности металла. Анализ источников износа свинцовых и алюминиевых образцов [1, 4], а также графических изображений зон различной степени эрозии меди свидетельствует в пользу последнего предположения (с поверхности образцов удаляются отдельные микрообъемы металла). Явление носит коррозионно-усталостный характер. На начальном этапе в местах, соприкасающихся с зоной кавитации, появляется сеть каверн, которые затем сливаются между собой, увеличиваясь в размерах. При обработке свинца и серебра на их поверхности заметны места пластических деформаций с характерными наплывами металла вокруг каверн. Это следствие повышенной пластичности металлов, их относительное удлинение на 30 % больше, чем у алюминия и на 10 % больше, чем у меди.

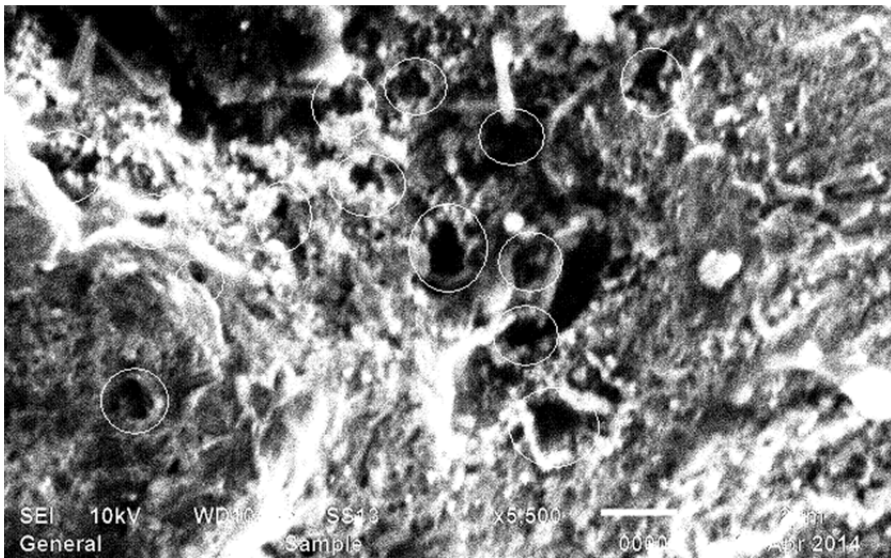
Целью дальнейшей части исследований явилось установление диапазона размеров образующихся при кавитационной эрозии частиц металлов. Именно размеры частиц являются определяющим фактором, при оценке бактерицидных свойств водной суспензии металлов, обладающих олигодинамическим действием. Оценка размера частиц производилась посредством измерений видимых зон разрушения металла при помощи электронного сканирующего микроскопа JSM-6510 LV (JEOL, Япония) с системой энергодисперсионного рентгеновского микроанализа Oxford. Наиболее показательными явились участки с начальной степенью кавитационного износа.

Для определения возможных минимальных размеров частиц, которыми может происходить износ металла, были выполнены измерения с кратностью увеличения 5000 и 5500 раз. Масштаб изображения представленных снимков позволяет определить размеры углублений, оставленных отрывом частиц металла. Сеть таких следов одинакового размера, обозначенные овалами (см. рис.), позволяют предположить, что именно такой минимальный размер имеют частицы при кавитационной эрозии: для серебра — 2–3 мкм, меди — 1–2 мкм. Разницу в размерах можно объяснить прочностными характеристиками металлов. Так, для серебра значение временного сопротивления разрушению составляет 150 МПа, для меди — 200–250 МПа. В этой связи износ меди происходит более мелкими формами и наблюдается меньшая потеря массы образцов металла.

Данные исследований позволяют примерно определить площадь поверхности образующихся частиц серебра, которая является основным показателем, влияющим на эффективность процесса при оценке олигодинамического действия металлов. Рассматривая удельное значение приведенное к массе металла, площади межфазной поверхности составят для серебра — до 30000 см<sup>2</sup>/г, для меди — до 70000 см<sup>2</sup>/г. Полученные данные легли в основу создания новой установки для обработки воды плавательных бассейнов. При этом кавитационный реактор включается в циркуляционную сеть до фильтрационной очистки, а получаемые с его помощью частицы остаются в загрузке фильтра. С течением времени



*a*



*б*

Поверхности зон кавитационной эрозии серебряной (*a*) и медной (*б*) подложек с 5000- и 5500-кратным увеличением, соответственно

частицы становится достаточно для обеспечения надежной бактерицидной обработки бассейна. В отличие от гальванических процессов, также используемых для получения ионов металлов при водоподготовке бассейнов, полученные частицы за счет своей массы обладают более пролонгированным действием и способны служить дополнительным источником ионизации при бактерицидной обработке воды. В настоящее время установка проходит промышленную апробацию.

## Литература

1. *Кнепп Р., Дейли Дж., Хеммит Ф.* Кавитация. М.: Изд-во Мир, 1974. 687 с.
2. *Беляев А.Н., Флегентов И.В., Лысов Д.С.* Установка для очистки и обеззараживания воды в плавательных бассейнах. Пат. № 160082 РФ. Оpubл. 27.06.2005, 11 с.
3. *Беляев А.Н., Флегентов И.В.* Способ обеззараживания воды синергетическим воздействием. Пат. № 2445272 РФ. Оpubл. 20.03.2012, 6 с.
4. *Козырев С.П.* Гидроабразивный износ металлов при кавитации. М.: Машиностроение, 1971. 240 с.
5. *Акчурина Р.Ю.* Разработка метода и исследование основных закономерностей кавитационного изнашивания при обтекании системы возбудителей. Дис. ... канд. техн. наук. М.: 1984. 229 с.
6. *Беляев А.Н.* Интенсификация процесса обеззараживания воды гидродинамической кавитацией. Дис. ... канд. техн. наук. Киров: 2000. 130 с.

**Вахрушева Олеся Михайловна** — канд. биол. наук, доцент кафедры «Промышленная безопасность и инженерные системы», ВятГУ, Киров, Российская Федерация.

**Баев Кирилл Сергеевич** — старший преподаватель кафедры «Промышленная безопасность и инженерные системы», ВятГУ, Киров, Российская Федерация.

**Научные руководители** — Е.В. Куц, канд. техн. наук, доцент кафедры «Промышленная безопасность и инженерные системы», ВятГУ, Киров, Российская Федерация; А.Н. Беляев, заведующий кафедрой «Промышленная безопасность и инженерные системы» ВятГУ, Киров, Российская Федерация.

## CAVITATION EROSION OF METAL SUBSTRATES IN TECHNOLOGY OF AQUEOUS SUSPENSION

O.M. Vakhrusheva  
K.S. Baev

om\_vahrusheva@vyatsu.ru  
kirbaev@yandex.ru

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Vyatka State University (FSBEI HE VyatSU), Kirov, Russian Federation

### Abstract

*The study examines the prospects of industrial applications of cavitation disintegration of silver and copper substrates for water treatment of swimming pools. We determined the indices affecting the process efficiency. The article shows the results of studying the different metals wear quantity. The paper also provides the experimental evaluation of silver and copper particles size, the particles being formed in cavitation treatment process in the hydrodynamic flow unit of the original design under the same hydrodynamic conditions and exposure duration. We visualized the metal substrates surface erosion and present the data of field studies*

### Keywords

*Aqueous suspension, cavitation erosion, field studies, metal substrate, the size of the particles*

© Bauman Moscow State Technical University, 2016

### References

- [1] Knapp R.T., Daily J.W., Hammitt F.G. Cavitation. New York, McGraw-Hill, 1970. 578 p. (Russ. ed.: Kavitatsiya. Moscow, Mir Publ., 1974. 687 p.)
- [2] Belyaev A.N., Flegentov I.V., Lysov D.S. Ustanovka dlya ochistki i obezzarazhivaniya vody v plavatel'nykh basseynakh [Water purification plant for swimming-pools]. Pat. No. 160082 RF. Publ. 27.06.2005, 11 p. (in Russ.).
- [3] Belyaev A.N., Flegentov I.V. Sposob obezzarazhivaniya vody sinergeticheskim vozdeystviem [Water decontaminating method using synergistic effect]. Pat. No. 2445272 RF. Publ. 20.03.2012, 6 p. (in Russ.).
- [4] Kozyrev S.P. Gidroabrazivnyy iznos metallov pri kavitatsii [Hydroabrasive metal wear in cavitation process]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1971. 240 p. (in Russ.).
- [5] Akchurin R.Yu. Razrabotka metoda i issledovanie osnovnykh zakonomernostey kavitatsionnogo iznashivaniya pri obtekanii sistemy vobuditeley. Dis. ... kand. tekhn. nauk [Developing method and principal laws research of flowing round the exciters systemand. Kand. tech. sci. diss.]. Moscow, 1984. 229 p. (in Russ.).
- [6] Belyaev A.N. Intensifikatsiya protsessa obezzarazhivaniya vody gidrodinamicheskoy kavitatsiyei. Dis... kand. tekhn. nauk [Intensification of water decontaminating process using hydrodynamic cavitation. Kand. tech. sci. diss.]. Kirov, 2000. 130 p. (in Russ.).

**Vakhrusheva O.M.** — Cand. Sc. (Bio.), Assoc. Professor of Department of Industrial Safety and Engineering Systems, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Vyatka State University (FSBEI HE VyatSU), Kirov, Russian Federation.

**Baev K.S.** — Assist. Professor of Department of Industrial Safety and Engineering Systems, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Vyatka State University (FSBEI HE VyatSU), Kirov, Russian Federation.

**Scientific advisors** — E.V. Kuts, Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Professor of Department of Industrial Safety and Engineering Systems, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Vyatka State University (FSBEI HE VyatSU), Kirov, Russian Federation; A.N. Belyaev, Head of the Department of Industrial Safety and Engineering Systems, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Vyatka State University (FSBEI HE VyatSU), Kirov, Russian Federation.