

УДК 629.5.06

Мизгирев Д.С. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: mizgirevds@ya.ru

Курников А.С. – доктор технических наук, профессор

E-mail: kaftkm@vgavt-nn.ru

Волжский государственный университет водного транспорта

Адрес организации: 603950, Россия, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, д. 5

Катраева И.В. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: lab4-5@mail.ru

Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 603950, Россия, г. Нижний Новгород, ул. Ильинская, д. 65

Использование гидродинамических кавитаторов для обеззараживания воды

Аннотация

В статье представлены результаты исследований, в ходе которых были определены основные гидравлические характеристики и эжектирующая способность гидродинамического кавитатора при различных режимах его работы, определены оптимальные рабочие параметры гидродинамического кавитатора, а также оценена его способность к обеззараживанию природных вод в комплексе с эжектированием озон-воздушной смеси из озонобразующей лампы УФ-излучения.

Ключевые слова: кавитаторы гидродинамические, характеристики гидравлические, режимы работы гидродинамических кавитаторов, обеззараживание природных вод, эжектирование озон-воздушной смеси.

В настоящее время актуальной задачей является создание технологий очистки природных и сточных вод, позволяющих обеспечить высокую эффективность обработки при одновременном снижении энергозатрат и массогабаритных показателей сооружений.

С целью решения данной задачи были проведены исследования по использованию гидродинамических кавитаторов для доочистки и обеззараживания воды.

В общем случае под кавитацией понимают явление разрыва капельной жидкости под действием растягивающих напряжений, обусловленных изменением характеристик полей скоростей и давлений, возникающих при разрежении в рассматриваемой точке жидкости. При разрыве капельной жидкости образуются полости – кавитационные пузырьки (каверны), заполненные паром, газом или их смесью [1].

Каверны образуются в тех местах, где давление в жидкости p становится ниже критического $p_{кр}$. (часто совпадает с давлением насыщенных паров p_n при данной температуре).

По природе образования кавитационные явления делят на акустические (вызванные прохождением акустических волн) и гидродинамические (если давление снижается вследствие возрастания скорости потока жидкости) [1].

Классификация существующих устройств для генерации кавитационных каверн и суперкаверн, их конструкция и принцип действия подробно описаны в литературе [1, 2, 3, 4].

В настоящее время практическое применение акустической кавитации ограничено сложностью и высокой стоимостью оборудования, его значительным энергопотреблением, высокими затратами на эксплуатацию и обслуживание.

В связи с отмеченными недостатками предпочтительными в технологии обработки вод являются специальные устройства, генерирующие гидродинамическую кавитацию в потоке обрабатываемой жидкости.

Явления здесь подразделены на два основных типа [3, 4]:

- профильная кавитация, которая наблюдается на хорошо обтекаемых поверхностях элементов местных сопротивлений. Возникает она из зародышей, находящихся на твердых стенках. Развившиеся на поверхности обтекаемого элемента каверны схлопываются непосредственно на самом элементе или сразу за ним;

- срывная кавитация. Возникает в основном в вихрях за плохо обтекаемыми элементами гидравлических устройств. В этом случае каверны развиваются как из ядер, находящихся как на твердой стенке, так и в потоке.

Выделяют три стадии развития кавитации [1]:

- первая стадия соответствует началу появления отдельных пузырьков на входной кромке насадки, стенки, вблизи местного сопротивления;
- вторая стадия характеризуется изменением гидравлических характеристик потока (изменение пропускной способности аппарата);
- третья стадия кавитации может быть определена по началу прекращения прироста расхода при увеличении перепада давления.

Из всех известных конструкций наибольший интерес представляют гидродинамические струйные аппараты с использованием тороидальной камеры. Их применение обеспечивает интенсификацию и равномерность прохождения технологических процессов в жидких средах.

Особый интерес представляет применение аппаратов, в которых в едином устройстве одновременно осуществляются профильная и срывная гидродинамическая кавитация с эжекцией жидкого или газообразного потока, что придает конструкции дополнительные функции струйного насоса (эжектора) и смесителя [4].

Принципиальная схема гидродинамического кавитатора с торообразной камерой представлена на рис. 1.

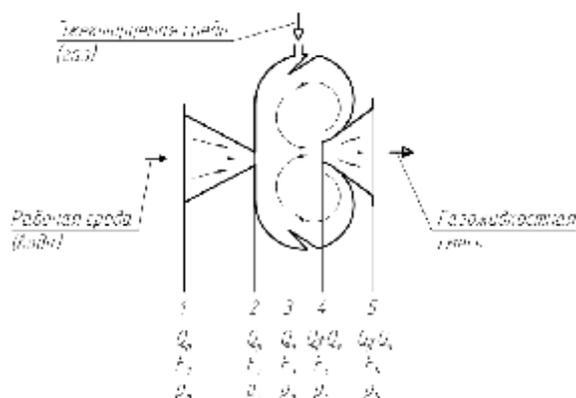


Рис. 1. Схема кавитатора гидродинамического:

Q_p, Q_e – объемная скорость рабочей и эжектируемой сред, $\text{м}^3/\text{с}$;
 $F_1 \dots F_5$ – площади сечений 1...5, м^2 ; $p_1 \dots p_5$ – давления в сечениях 1 ... 5, кПа

По расчетным данным был изготовлен экспериментальный аппарат, внешний вид которого представлен на рис. 2. и лабораторный стенд, представляющей собой комплекс из электронасосного агрегата, гидродинамического кавитатора и лампы УФ-излучения озonoобразующей (УФИО). Схема лабораторного стенда представлена на рис. 3.



Рис. 2. Внешний вид рабочей камеры гидродинамического кавитатора

Предварительные исследования производились на водопроводной воде с температурой $T_w = 15 \text{ }^\circ\text{C}$ при температуре окружающего воздуха $T_a = 23 \text{ }^\circ\text{C}$. При испытаниях варьировался перепад давлений жидкости Δp до и после кавитатора и определялись расходы рабочей Q_p и эжектируемой Q_e сред.

Выполнены две серии экспериментов: с исходной конструкцией гидродинамического кавитатора и после установки перед входным соплом аппарата закручивающего струенаправляющего турбулизатора [5].

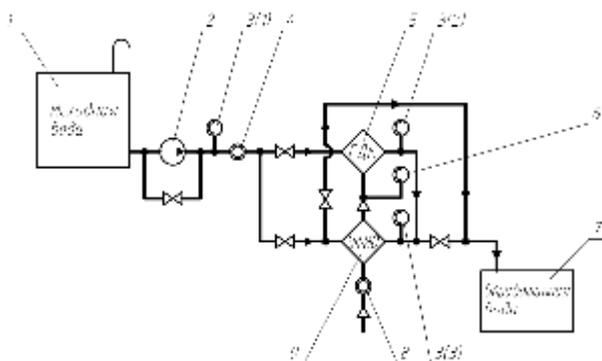


Рис. 3. Принципиальная схема лабораторного стенда: 1 – емкость исходной воды; 2 – электронасос; 3 – манометр; 4 – расходомер; 5 – кавитатор гидродинамический; 6 – мановакуумметр; 7 – ёмкость обработанной воды; 8 – ротаметр; 9 – УФФИ

Полученные гидравлические характеристики работы аппарата представлены на рис. 4 и рис. 5.

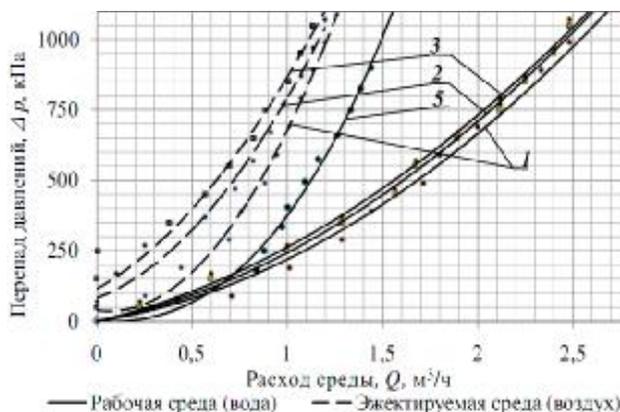


Рис. 4. Характеристики гидродинамического кавитатора без струенаправляющего турбулизатора: 1 – при противодавлении $p_5 = 10$ кПа; 2 – при $p_5 = 30$ кПа; 3 – при $p_5 = 50$ кПа; 5 – критическая характеристика аппарата (срыв эжекции газа)

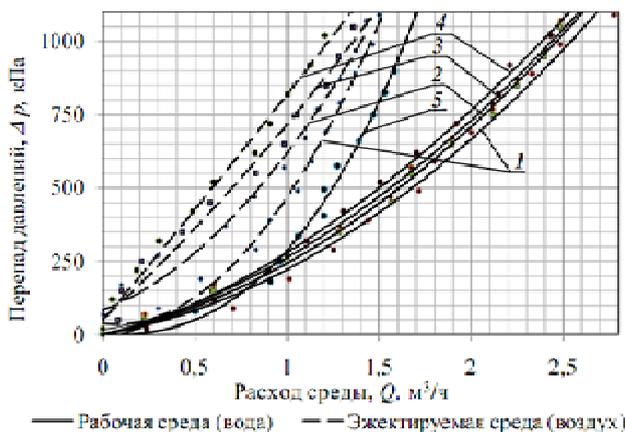


Рис. 5. Характеристики гидродинамического кавитатора после установки турбулизатора: 1 – при противодавлении $p_5 = 10$ кПа; 2 – при $p_5 = 30$ кПа; 3 – при $p_5 = 50$ кПа; 4 – при $p_5 = 80$ кПа; 5 – критическая характеристика аппарата (срыв эжекции газа)

Результаты опытов доказали целесообразность применения турбулизатора, так как применение данного устройства позволило не только стабилизировать работу аппарата, но и повысить эжекцию газа на 12÷15 %.

Следует отметить, что гидродинамический кавитатор работал стабильно, развивая эжекцию в интервале давлений $p_p = (500 \dots 900)$ кПа. Такие параметры могут обеспечить

распространенные и сравнительно дешевые общепромышленные насосы, следовательно, нет необходимости в замене насосных агрегатов при установке кавитаторов при модернизации существующих систем обработки вод.

После проведения предварительных испытаний и определения оптимальных режимов работы гидродинамического кавитатора были проведены исследования по обеззараживанию природных вод с использованием данного аппарата.

Определение кишечной палочки проводилось экспресс методом по ТУ 6-091-85 [6].

Забор проб воды производился по ГОСТ Р 51592-2000 [7] в районе паромной переправы г. Н. Новгород – г. Бор (р. Волга). Анализу подвергалась исходная вода (проба № 1), обработанная в гидродинамическом кавитаторе без добавления реагентов (проба № 2), а также обработанная в кавитаторе с эжектированием озono-воздушной смеси из УФИО (проба № 3). Результаты экспериментов представлены в таблице.

Таблица

**Результаты микробиологического экспресс анализа речной воды
до и после обработки в установке**

	Проба № 1	Проба № 2	Проба № 3
Количество колоний, шт.	94	9	3
Количество бактерий, шт./см ²	18 800	1800	600

Проведенные исследования показали работоспособность аппарата с тороидальной камерой и целесообразность его применения в составе сооружений очистки природных и сточных вод. Экспериментально доказан высокий эффект обеззараживания, достигаемый кавитацией в отдельности, а также предпосылки возникновения синергетического эффекта при одновременном воздействии кавитации и озона. Кроме того, использование гидродинамических кавитаторов позволяет отказаться от насосов-дозаторов реагентов т.к. эти аппараты, во-первых, позволяют осуществлять первичное обеззараживание вод кавитацией, во-вторых, являются высокоэффективными смесителями, в-третьих, представляют собой струйные аппараты, стабильно эжектирующие как газообразные (озоно-воздушная смесь), так и жидкие рабочие среды (коагулянты, флокулянты).

Список библиографических ссылок

1. Рождественский В.В. Кавитация. – Л.: Судостроение, 1977. – 248 с.
2. Иванов А.Н. Гидродинамика развитых кавитационных течений. – Л.: Судостроение, 1980. – 238 с.
3. Арзуманов Э.С. Кавитация в местных гидравлических сопротивлениях. – М.: Энергия, 1978. – 304 с.
4. Иванов Л.А. О применении кавитаторов (обзорная статья) // Энергосбережение / Энергосберегающие технологии для промышленных предприятий. – Миасс, 2008. – С. 28-38.
5. Промтов М.А. Кавитация // Вестник Тамбовского государственного технического университета Тамбов: Изд-во ТГТУ, 2011, № 4. – С. 28-36.
6. Курников А.С. Исследование и разработка методики проектирования судовых систем приготовления озона // Автореф. дисс. канд. техн. наук. – Л., 1985. – 22 с.
7. Бумага индикаторная для определения кишечной палочки в молоке, молочных продуктах и смывах с оборудования: ТУ 6-09-1-85. – М.: Стандартиформ, 2000. – 18 с.
8. Вода. Общие требования к отбору проб: ГОСТ Р 51592-2000. Введ. 20.04.2000. – М.: Изд-во стандартов, 2000. – 46 с.

Mizgiriyov D.S. – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: mizgirevds@ya.ru

Kurnikov A.S. – doctor of technical sciences, professor

E-mail: kaftkm@vgavt-nn.ru

Volga State University of Water Transport

The organization address: 603950, Russia, Nizhny Novgorod, Nesterova st., 5

Katraeva I.V. – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: lab4-5@mail.ru

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering

The organization address: 603950, Russia, Nizhny Novgorod, Ilyinskaya st., 65

The use of hydrodynamic cavitators for water disinfection

Resume

The article presents the results of studies, in which the main hydraulic characteristics and ejecting ability of a hydrodynamic cavitator at different modes of operation were identified, optimal operating parameters of the hydrodynamic cavitator were determined, and its ability to disinfect natural waters in combination with the ejection of ozone-air mixture from a UV lamp was evaluated.

An installation consisting of a pump, a hydrodynamic cavitator and an ozone generating UV lamp was used for the researches.

Two series of experiments were carried out: with a hydrodynamic cavitator of standard design and after the installation before the inlet of a vortex generator. The use of a tabulator made the work of the hydrodynamic cavitator more stable and increased gas ejection by 12-15 %.

The researches showed that hydrodynamic cavitators may be used for water disinfection; they are effective mixers allowing stable ejection of both gas and liquid media.

Keywords: hydrodynamic cavitators, hydraulic characteristics, hydrodynamic cavitator modes of operation, natural water disinfection, ozone-air mixture ejection.

Reference list

1. Rozhdestvenskiy V.V. Cavitation. – L.: Sudostroenie, 1977. – 248 p.
2. Ivanov A.N. Hydrodynamics of developed cavitation flows. – L.: Sudostroenie, 1980. – 238 p.
3. Arzumanov E.S. Cavitation in local hydraulic resistance. – M.: Energiya, 1978. – 304 p.
4. Ivanov L.A. About cavitators use (review) // Energoberezhenie. Energoberegayushchie tekhnologii dlya promyshlennykh predpriyatiy. – Miass, 2008. – P. 28-38.
5. Promtov M.A. Cavitation. // Vestnik Tambovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. – Tambov: Izd-vo Tambovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta, 2011, № 4. – P. 28-36.
6. Kurnikov A.S. Study and development of methods of designing ship systems of ozone production // Avtoref. diss. kand. tekhn. nauk. – L., 1985. – 22 p.
7. Test-paper for identification of colon bacillus in milk, milk products and rinse water from equipment: TU 6-09-1-85. – M.: Standartinform, 2000. – 18 p.
8. Water. General requirements for sampling: GOST R 51592-2000. Vved. 20.04.2000. – M.: Izd-vo standartov, 2000. – 46 p.