



УДК 629.5.069

**В.А. Орехво**, к.т.н. доцент кафедры ПТМ и МР, ФГБОУ ВО «ВГУВТ»  
**Е.В. Крылов**, студент ФГБОУ ВО «ВГУВТ»  
Волжский государственный университет водного транспорта «ВГУВТ»  
603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова,5

## ПОВЫШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СУДОВЫХ СИСТЕМ ПО ОЧИСТКЕ СТОЧНЫХ ВОД

Ключевые слова: *кавитатор, струйные аппараты, сточная вода*

*В статье рассматриваются способы возникновения кавитации, разработана схема стенда и уточнена конструкция кавитатора для очистки сточных вод.*

### *1. Общие положения*

Эксплуатация судов связана с постоянной проблемой загрязнения окружающей среды, и - как следствие - ужесточением нормативов и требований, регламентирующих данную сферу.

В связи с рядом введенных требований, направленных на повышение экологических показателей выбросов, производимых с судов, а именно - сточных вод, поставленное оборудование, удовлетворяющее требованиям очистки, является энергозатратным и нетехнологичным, что приводит к большим материальным затратам на покупку, ремонт и обслуживание данного оборудования.

Оборудование на большинстве судах уже морально и физически устарело, что не обеспечивает выполнение требований современной регламентирующей документации, а модернизация является нецелесообразной по ряду причин.

При рассмотрении сложившейся ситуации по данному вопросу выявлено, что модернизацию судовых систем целесообразно вести в направлении механических и физико-химических методов обработки загрязненных сред.

Одним из путей усовершенствования является использование перспективного физико-механического способа обработки воды – кавитации.

### *2. Анализ кавитации.*

Под кавитацией понимают процесс разрыва жидкости под действием напряжений, обусловленных изменением скоростей и давлений, возникающих при разрежении в жидкости. При разрыве жидкости образуются кавитационные пузырьки (каверны), заполненные паром [1]. Каверны образуются там, где давление в жидкости становится ниже критического.

В зависимости от процесса протекания выделяют следующие виды кавитации [1]:

- паровой кавитацией принято обозначать кавитационные процессы, связанные с резким ростом и схлопыванием каверны вследствие потери устойчивости равновесия зародышевого пузырька;

- газовой кавитацией называется рост пузырьков, сопровождающийся диффузией газа из раствора;

- «псевдокавитацией» называют равновесное изменение размеров пузырька.

Кавитационные явления делят на гидродинамические и акустические [1].

Классификация устройств для образования процессов кавитации и их устройство, а также принцип действия описаны в источниках [2, 3].

Применение акустической кавитации ограничено высокой стоимостью оборудования, затратами, сложностью [4].

Наиболее подходящий способ получения процесса кавитации - гидродинамический. Явления здесь делятся на два типа [2]:

- профильная кавитация, которую можно наблюдать на хорошо обтекаемых поверхностях.

Развившиеся на поверхности элемента каверны схлопываются на самом элементе или сразу за ним;

При этом кавитация развивается из ядер, находящихся как на твердой стенке, так и в потоке.

Автором [1] выделены некоторые этапы развития кавитации:

- первый этап соответствует началу зарождения отдельных пузырьков на входном участке насадки, стенки, вблизи местных сопротивлений;

- второй этап характеризуется изменением характеристик потока;

- третий этап кавитации может быть определен по началу прекращения прироста расхода при увеличении перепада давления.

Из многообразия конструкций, реализуемых в судовых системах, наибольший интерес получили гидродинамические струйные аппараты с применением тороидальной камеры. По утверждениям авторов [5], их использование обеспечивает интенсификацию и равномерность прохождения процессов в жидких средах.

*2. Принципиальная схема и расчет экспериментального стенда для исследований процессов кавитации.*

В результате последующих исследований необходимо установить характеристики гидродинамического кавитатора:

а) подтверждение целесообразности конструкции и выявление режимов работы аппарата, для возникновения и развития гидродинамической кавитации;

б) воздействие геометрических параметров камеры и характеристик рабочей жидкости на:

- давление всасывания аппарата  $p_3$ , кПа;

- параметры процесса гидродинамической кавитации

в) воздействие эжектируемых сред на показатели качества очистки загрязненных вод при эжекции воздуха и озono-воздушной смеси.

Задача первого эксперимента - выявление пригодности кавитатора. Предварительный расчет кавитатора получаем из положений гидродинамики [6] и согласно рекомендациям авторов [7].

В качестве данных для исходной конструкции аппарата примем [5]: число кавитации  $\chi = 0,62$ ; наибольшее давление при схлопывании пузырька в жидкости  $P_{\max} = 1,08$  МПа, наибольшая температура в каверне  $T_{\max} = 3900$  °С.

Диаметр отверстия сопла на входе определяется из выражения:

$$Q_p = \mu F_2 \sqrt{2gH_1} \quad (1.1)$$

где  $Q_p$  – необходимая производительность устройства,  $Q_p = 1$  м<sup>3</sup>/ч = 0,000278 м<sup>3</sup>/с;

$\mu$  – коэффициент расхода.  $\mu = 0,7$  [6];

$F_2$  – площадь сечения отверстия  $D_2$ , м<sup>2</sup>;

$H_1$  – напор до элемента, примем  $H_1 = 80$  м.

Задаваясь параметрами расхода и напора, определяем площадь живого сечения:

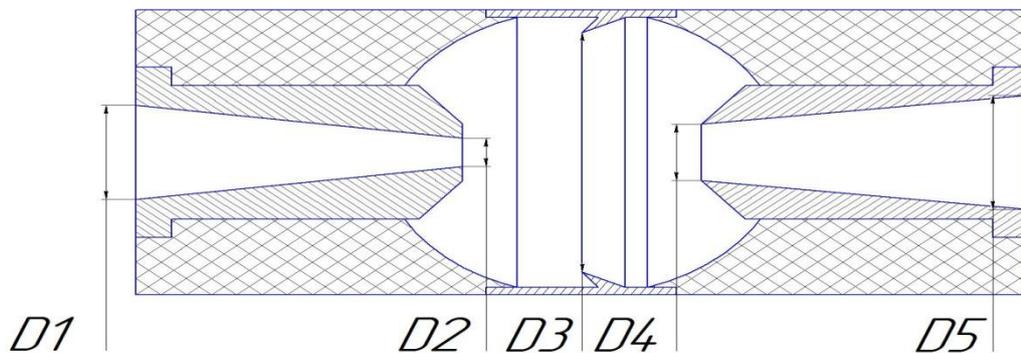


Рисунок 2.1 – Кавитатор гидродинамический

$$F_2 = \frac{Q_p}{\mu\sqrt{2gH_1}} = \frac{0.000278}{0.7\sqrt{2*9.81*80}} = 1.002 * 10^{-5} \text{ м}^2 \quad (1.2)$$

Входное отверстие принимаем по форме сечения круглым, тогда его диаметр:

$$D_2 = \sqrt{\frac{4F_2}{\pi}} = \sqrt{\frac{4*1.002*10^{-5}}{\pi}} = 0.00357 \text{ м} \quad (1.3)$$

При изготовлении устройства полученные размеры округляем,  $D_2 = 4,0$  мм.

Уточняем площадь живого сечения:

$$F_2 = \frac{\pi D_2^2}{4} = \frac{\pi*0.004^2}{4} = 1.256 * 10^{-5} \text{ м}^2 \quad (1.4)$$

Согласно авторам источников [2, 3], кавитация возникает при скоростях в потоке  $v = (16...23)$  м/с.

Проводим проверку скоростного режима:

$$v_2 = \frac{Q_2}{F_2} = \frac{0.0000278}{1.256*10^{-5}} = 22.133 \text{ м/с} \quad (1.5)$$

Таким образом, условие возникновения кавитации выполнено.

Диаметр отверстия на выходе получаем из условия возникновения кавитационных процессов, что приводит к неоднородности среды, а, следовательно, разности плотности потока. Принимаем, что плотность потока на входе составляет  $1000 \text{ кг/м}^3$ , соответственно на выходе – в 2 раза ниже, то есть  $500 \text{ кг/м}^3$ . Получаем, что расход на выходе увеличивается в 2 раза, т.е. составит  $2 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

Диаметр выходного отверстия аппарата составит:

$$D_4 = \sqrt{\frac{4*2Q_p}{\pi v}} = \sqrt{\frac{4*2*0.000278}{\pi*16}} = 0.0067 \text{ м} \quad (2.6)$$

Принимаем диаметр выходного отверстия  $D_4 = 7$  мм.

Тогда соотношение площадей сечений входного и выходного отверстий составит  $F_4/F_2 = 3,062$ .

Предварительные расчеты системы для изготовленного кавитатора, выбор насоса, УФИО и подбор необходимого оборудования стенда выполнен с учетом рекомендаций источника [6].

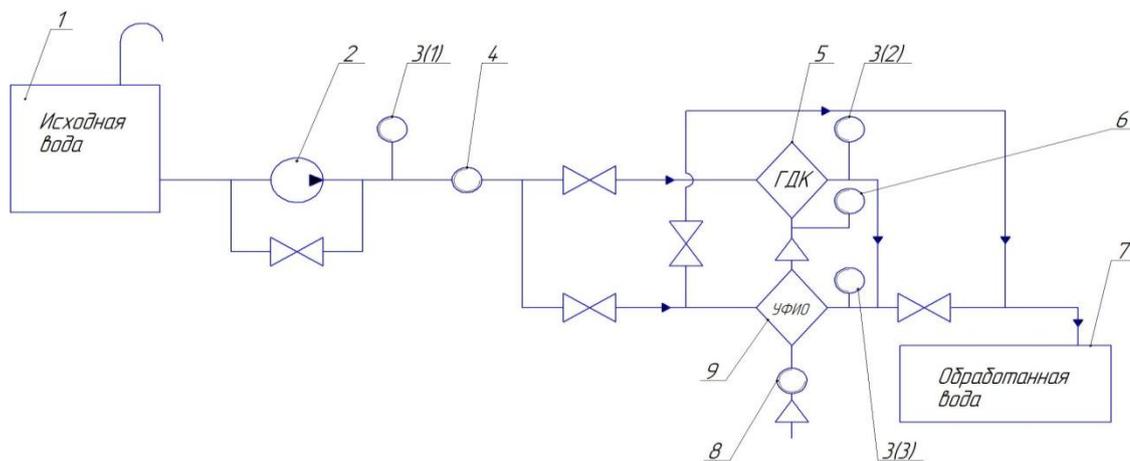


Рисунок 2.2 – Принципиальная схема стенда

1 – емкость исходной воды; 2 – электронасос; 3 – манометр; 4 – расходомер; 5 – кавитатор гидродинамический; 6 – мановакууметр; 7 – емкость обработанной воды; 8 – ротаметр; 9 – УФМО.

#### Заключение.

1. Произведен анализ и выбор типа кавитатора.
2. Произведен предварительный расчет кавитатора.
3. Утверждена схема стенда для испытания

#### Список литературы:

- [1] Проектирование сооружений для очистки сточных вод: справочное пособие к СНИП / Всесоюз. комплекс. научн.-исслед. и конструктор.-технолог. институт водоснабжения, канализации, гидротехнических сооружений и инж. гидроэкологии. – М.: Стройиздат, 1990. – 192 с.: ил.
- [2] Арзуманов Э.С. Кавитация в местных гидравлических сопротивлениях / Э.С. Арзуманов. – М.: Энергия, 1978. – 304 с.: ил
- [3] Иванов А.Н. Гидродинамика развитых кавитационных течений / А.Н. Иванов. – Л.: Судостроение, 1980. – 238 с.: ил. Грача, А.В. Якимова. - Нижний Новгород – 2011- С. 231-233.
- [4] Иванов Л.А. О применении кавитаторов (обзорная статья) / Л.А. Иванов // Энергосбережение: Энергосберегающие технологии для промышленных предприятий. – Миасс, 2008. – С. 28-38.
- [5] «О федеральном классификационном каталоге отходов»: приказ Государственного комитета Российской Федерации по охране окружающей среды от 27 ноября 1997 г. № 527 // Собр. законодательства РФ. – 1997. - № 47. - Ст. 4217. – 48 с.
- [6] Альтшуль В.Д., Киселев П.Г. Гидродинамика и аэродинамика: учеб. пособие для ВУЗов / В.Д. Альтшуль, П.Г.Киселев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1975. – 323с.: ил
- [7] Иващенко А.Т., Рязанцев А.А., Усольцева Н.Б. Генератор гидродинамических колебаний (патент на изобретение) / А.Т. Иващенко, А.А. Рязанцев, Н.Б. Усольцева // № 2269386 С1, МПК В06В 1/20. Заявитель и патентообладатель: Сибирский государственный университет путей сообщения – заявл. 05.05.2004; опубл. 10.02.2006. - Бюл. № 4. – 8 с.

## IMPROVING THE ENVIRONMENTAL PERFORMANCE OF THE SHIP SYSTEMS FOR WASTEWATER TREATMENT

V.A. Orehvo, E.V. Krylov

Key words: Cavitator, jet devices, waste water.

Материалы научно-методической конференции профессорско-преподавательского состава, аспирантов и студентов

Секция V Технология конструкционных материалов, машиноремонта и водоподготовка

*The article discusses the methods of cavitation, developed a scheme of walls and refined design of the cavitator for wastewater treatment.*