

## КАВИТАЦИОННО-МАГНИТНАЯ ОБРАБОТКА ВОДЫ И ВИБРАЦИОННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

*Дан анализ использования вибрационных колебаний и кавитации в водных потоках. Приведены результаты экспериментальных исследований изменения свойств воды и обеззараживания после ее обработки. Предложена технология и вибрационное оборудование для изменения состава воды и ее свойств при одновременном действии гидрокавитации и омагничивания.*

*Given the analysis of applying the vibrating oscillations and cavitation in the water streams. Stated the results of the experimental researches of the water properties change and decontamination after its processing. Suggested the technology and vibrating equipment for changing the water composition and its properties by the simultaneous reaction of the hydrocavitation and magnetization.*

Уникальные возможности вибрационного поля разрешают успешно осуществлять не только отделочно-зачисные, но и такие операции, как сепарация, перемешивание, вибротранспортирование, гомогенизация, фильтрование, сушение, насыщение среды определенными веществами, разрушение поверхностей и ряд других процессов. Это обуславливает эффективность применения вибрационных технологических машин во многих областях промышленного производства.

Развитие вибрационных конвейерных машин ведет начало из волновых и вибрационных конвейеров, которые выполняют сугубо транспортные функции. Фундаментальные работы И.И. Блехмана, И.Ф. Гончаревича, Г.Ю. Джанелидзе, В.О. Повидайло, В.М. Потураева, А.О. Спиваковського, В.Н. Франчука, К.В. Фролова, А.Г. Червоненко и других ученых обосновывают теоретические основы процесса вибрационного перемещения и конструктивные схемы вибрационных транспортных машин. Вместе с перемещением сопутствующая обработка продукции уже осуществляется в вибрационных транспортно-технологических машинах.

Во многих областях промышленности все более широкое применение находят вибрационные технологические процессы. При осуществлении процессов, связанных с необходимостью равномерного распределения разных фаз в жидкой основе (получение композитов и пеноматериалов) или их сепарации из жидкости (дегазация и флотационное обогащение), важное значение приобретает возможность прогнозирования реакции таких систем на разного рода внешних периодических влияний.

Как показали ранее выполненные исследования динамических явлений в многофазных средах, подвергнутых управляемым вибрационным влияниям [1-6], многие из них могут быть успешно использованы как для интенсификации указанных процессов, так и при разработке и реализации принципиально новых технологических приемов.

Активное и целенаправленное использование вибрационных влияний как управляющего фактора является очень перспективным направлением в вибрационной технологии, связанной с обработкой поверхностей материалов в жидкой среде, которая содержит частицы твердой и газообразной фаз. В связи с этим большого значения приобретают исследование возможных форм относительного движения среды и ее динамических характеристик при низкочастотных колебаниях жидкой среды.

Данная научная работа содержит исследование тенденций развития технологического вибрационного оборудования как специализированного, так и проходного типа в котором жидкость выступает в роли среды-объекта, которая подвергается управляемым вибрационным влияниям с целью изменения ее свойств и обеззараживания.

Экспериментальные исследования влияния кавитационной обработки на свойства воды проводились на оригинальном экспериментальном оборудовании.

Экспериментальная установка, разработана на основе кулачкового вибропривода, благодаря чему имеется возможность переналадки установки для проведения исследований на разных режимах работы вибропривода.

Общий вид установки приведен на рис. 1. Установка состоит из корпуса 2, на котором смонтирован вибропривод 3, приводимый в движение двигателем постоянного тока 10. Изменение амплитуды колебаний осуществляется изменением кулачков – эксцентров 1 с эксцентриситетом 0,5; 1,0; 2,0; 3,0 мм. Изменение частоты от 0 Гц до 30 Гц производится изменением напряжения, подаваемого на двигатель постоянного тока, с помощью ЛАТРа.

Вибропривод соединен с камерой гидропульсатора 5, на которой закреплен цилиндр с прозрачными стенками для визуальных наблюдений.

Установка работает следующим образом: при движении мембраны 4 вниз в камере 5 создается разрежение и жидкость из цилиндра втягивается в камеру через насадок 6. При движении мембраны вверх, давление в камере 5 увеличивается и жидкость под давлением врывается в цилиндр через насадок 6. При протекании жидкости через насадок в нем образуется кольцевая изолированная полость, которая разрушается при достижении определенного давления жидкости в камере 5. Таким образом реализуется

гидрокавитационный процесс.

При разрушении кольцевой изолированной полости из жидкости начинает выделяться в виде газовых пузырьков воздух, растворенный в жидкости и пары жидкости. Выделение газовых пузырьков и рост их размеров происходит при разряжении, а при выталкивании жидкости из пульсационной камеры происходит увеличение давления (гидроудар), схлопывание мелких и уменьшение размеров больших пузырьков.

Для проведения экспериментов в установке была предусмотрена возможность изменения изучаемых факторов, с целью объективной количественной регистрации исследуемых параметров.

На основании анализа технической литературы установлено, что основными характеристиками пульсирующего потока являются скорость движения и давление потока жидкости, размеры газовых пузырьков. Эти характеристики зависят в свою очередь от конструктивных параметров оборудования (диаметра камеры гидропульсатора, диаметра насадка и объема камеры гидропульсатора), параметров привода (частоты и амплитуды колебаний).

В исследованиях изучалось влияние времени обработки гидродинамической кавитации (при оптимальных режимах работы привода) на воду, взятую из разных источников, с разной предыдущей подготовкой, на изменение химических и физических ее свойств и изменение бактериального состава.

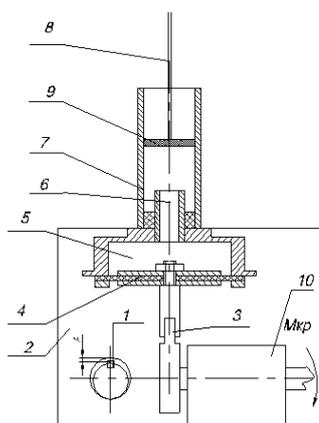


Рис. 1. Схема установки *а* и ее общий вид *б*: 1 – эксцентрик; 3 – эксцентриковый вибропривод; 5 – камера; 7 – цилиндр; 9 – пластина; 2 – корпус; 4 – мембрана; 6 – насадок; 8 – стержень; 10 – двигатель



Рис. 2. Общий вид установки для одновременного воздействия гидрокавитации и омагничивания



Рис. 3. Расположение постоянных магнитов на насадке гидропульсатора

### **Определение биохимического потребления кислорода**

Биохимическая потребность в кислороде (БПК) – это количество кислорода, необходимого для окисления органических веществ, которые содержатся в воде. Если в воде из-за каких то причин резко возрастает количество органических веществ (например, за счет неочищенных промышленных стоков), то происходит рост количества аэробных бактерий, которые потребляют эти вещества. Они поглощают много растворенного в воде кислорода и могут снизить его содержание до нуля, этот процесс вызовет рост анаэробных бактерий и переход водоема в застойный режим.

От уровня содержащего растворенного кислорода зависит санитарно-гигиеническое качество поверхностных вод, особенно водоемов для рыбоводных целей.

Существует несколько методов определения кислорода в воде. Одним из них есть определения кислорода по Винклеру. Метод основан на том, что при добавлении хлористого марганца и едкого натрия растворенный в воде кислород связывается с гидратом закиси марганца, который переходит в гидрат окиси марганца. При растворении последнего серной кислотой в присутствии йодистого калия освобождается йод в количестве, эквивалентном содержащему кислороду. Образовывается свободный йод, который титруют раствором тиосульфата и по использованному количеству устанавливают уровень растворенного кислорода. На базе полученных экспериментальных данных построена гистограмма рис. 4.

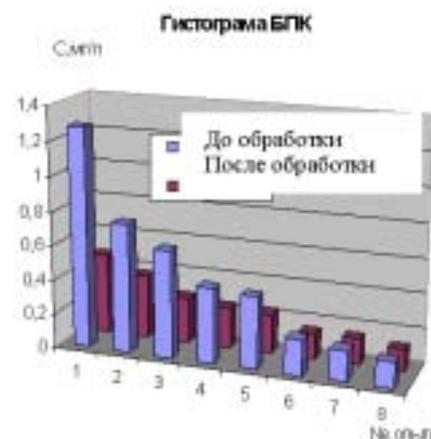


Рис. 4. График зависимости степени очистки обработанной жидкости от концентрации БПК

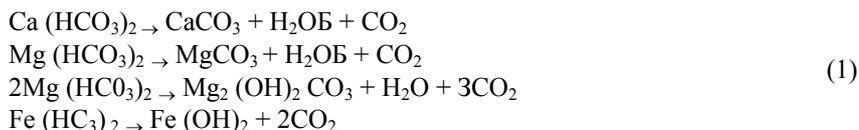
#### Определение жесткости воды

Напомним, что жесткость воды зависит от наличия в ней солей двухвалентных металлов, преимущественно кальция и магния. Жесткая вода при кипячении образует накипь вследствие оседания некоторых солей кальция, магния и железа. Мыло в жесткой воде не мылится (не вспенивается), так как образуются нерастворимые в воде кальциевые и магниевые соли жирных кислот.

Определение жесткости воды имеет большое практическое значение и очень широко применяется в технике и промышленности.

Различают жесткость временную и постоянную. Временная жесткость воды обусловлена присутствием в воде бикарбонатов:  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ , реже  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$  иногда также  $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$ . Ее можно устранить кипячением воды.

При кипячении воды бикарбонаты распадаются с образованием нерастворимых в воде карбонатов, оксикарбонатов и гидроокисей:



Постоянная жесткость воды обусловлена присутствием в ней большей частью сульфатов и хлоридов кальция и магния не устранимые кипячением. Сумма временной и постоянной жесткости составляет общую жесткость воды. На основе экспериментальных данных построен график изменения жесткости воды от времени обработки (рис. 5).

#### Определение нитратов

Нитраты встречаются почти во всех разновидностях вод. По наличию нитратов можно сделать вывод о прохождении процесса самоочищения сточных вод, а при биологическом очищении сточных вод показателем является процесс нитрификации. При определении нитратов в сточных водах, содержащихся в пределах от 0,5 до 50 мг/л, хорошо зарекомендовал себя метод определения с помощью салицилата натрия. Предельно допустимая концентрация нитратов в воде водоемов 45 мг/л.

Принцип метода базируется на реакции нитратов с салицилатом натрия в среде серной кислоты с образованием соли нитросалициловой кислоты окрашенной в желтый цвет.

Результаты по влиянию гидрокавитации на содержание нитратов в воде приведены на рис. 6.

#### Определение окисляемости воды

Окисляемость характеризует общее содержание в воде органических веществ и выражается количеством кислорода, который тратится на их окисление. Здесь следует отметить, что с ростом окисляемости, увеличивается количество кислорода, необходимого для окисления вредных примесей в данном объеме воды. Был использованный перманганатный метод определения окисляемости.

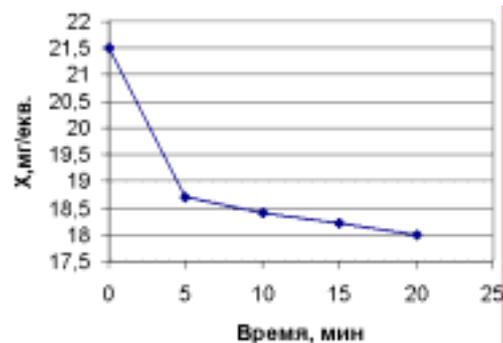


Рис. 5. График зависимости жесткости воды от времени кавитационной обработки

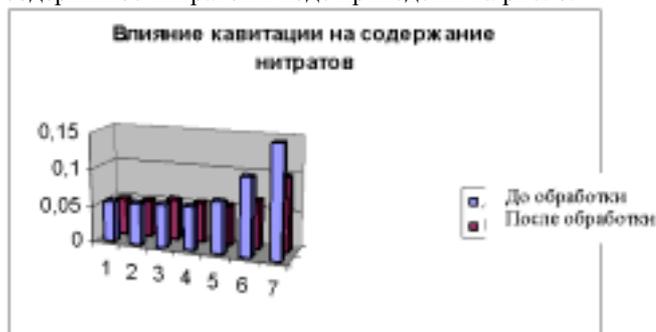


Рис. 6. Гистограмма содержания нитратов

К 100 мл исследуемой воды добавляли 5 мл разбавленной (1: 3) серной кислоты. Для равномерного кипения желательнее добавить несколько кусочков пемзы или стеклянных капилляров. Потом добавляли 10 мл 0,01 раствора марганцовокислого калия и нагревали сначала на сильном огне до кипения и кипятили ровно 10 мин. на слабом огне. Потом к раствору добавляли 10 мл 0,01 раствора щавелевой кислоты и титровали 0,01 раствором марганцовокислого калия до бледно-розовой окраски. После этого добавляли 10 мл 0,01 раствора щавелевой кислоты и титровали 0,01 раствором перманганата для определения количества последнего.

Окисляемость  $X$  определяют по формуле:

$$X = [(V_1 + V_2) \cdot K - 10] \cdot 0,08 \cdot 10 \text{ мгО}_2/\text{л}, \quad (2)$$

где  $V_1 + V_2$  – суммарное количество израсходованного перманганата.

Для того чтобы облегчить ориентацию тенденции изменения окисляемости от времени обработки, рассчитывали значение концентрации в процентах, приняв за 100 % концентрацию пробы воды не обработанной кавитацией (0 мин). Результаты исследований в виде графиков показаны на рис. 7.

Полученные результаты указывают на значительное влияние кавитационных процессов на состав воды. Мы видим значительное повышение окисляемости с увеличением времени обработки.

#### Определение содержимого аммиака

Были проведены опыты по определению изменения содержимого аммиака при гидрокавитационной обработке воды. Была взята необработанная водопроводная вода с предыдущей фильтрацией, вода прудовая, вода с предыдущей обработкой (бидистелят). Результаты исследований в виде графиков показаны на рис. 8.

Для описания изменения концентрации соответствующих веществ от времени обработки, рассчитывали значение концентрации в процентах, приняв за 100 % концентрацию пробы воды не обработанной кавитацией (0 мин). Данные обрабатывали и построили графики зависимости  $C, \% = f(t)$ , где  $t$  – время обработки,  $C, \%$  – концентрация вещества в процентах (рис. 8).

За время кавитационной обработки уменьшение концентрации нитритов и увеличение концентрации нитратов можно объяснить постепенным окислением нитритов ( $N^{3+}$ ) к нитратам ( $N^{5+}$ ) кислородом воздуха.

Увеличение окисляемости можно объяснить увеличением степени окисления азота ( $N^{3+} \rightarrow N^{5+}$ ) и наличием органических веществ, содержащихся в воде. Полученные результаты базируются на том, что при захлопывании кавитационных пузырьков возникают высокие давления, и температура. Все это создает гомолитический разрыв ковалентных связей в молекуле воды и образование радикальных частичек  $H^+$ ,  $OH^-$ ,  $O$ , имеющих повышенную окислительную способность [7,8]. Ион  $H^+$  имеет высокую подвижность и может быстро выходить путем диффузии из потока, при этом значительная часть их остается в потоке,  $OH^-$  накапливается, что приводит к росту pH.

Для оценки характера влияния кавитационно-магнитной обработки на структуризацию воды была применена методика естественного сушения капли воды на прозрачном стекле. Результаты проведенных исследований показаны на рис. 9, рис. 10, рис. 11.



Рис. 9. Кристаллический след воды не обработанной

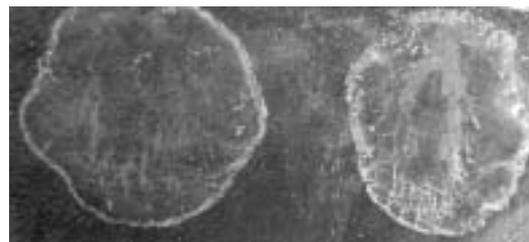


Рис. 10. Кристаллический след воды после обработки кавитацией

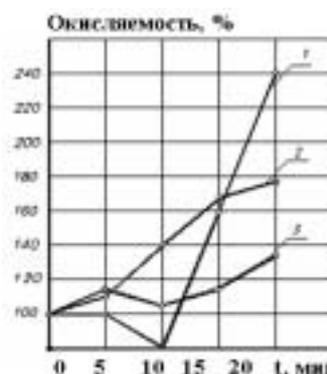


Рис. 7. Зависимость окисляемости воды от времени кавитационной обработки: 1 – с предыдущей обработкой (бидистелят); 2 – с предыдущей фильтрацией; 3 – без предыдущей обработки

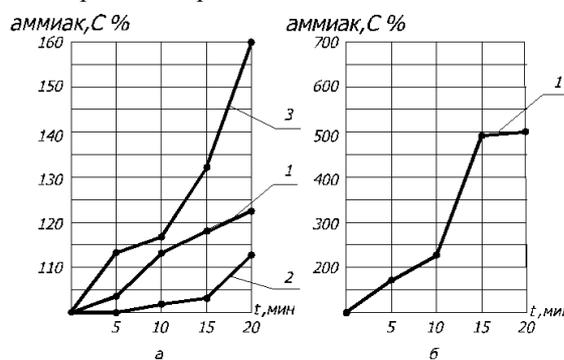


Рис. 8. Графики зависимости концентрации аммиака от продолжительности кавитационной обработки: а) 1 – воды необработанной водопроводной, 2 – воды с предыдущей фильтрацией, 3 – воды прудовой, б) 1 – воды с предыдущей обработкой (бидистелят)

На рис. 9 структура осадка имеет неравномерный характер. По краям и в центре осадка наблюдается высокая плотность и кристаллические образования, которые свидетельствуют о неуравновешенном энергетическом состоянии воды.

На рис. 10 структура осадка более равномерная, но по краям и в центре видны незначительные кристаллические образования.

На рис. 11 структура осадка более упорядочена, мелкокристаллическая и более структурированная, наблюдается значительное растекание капли, которое свидетельствует об уменьшении поверхностного натяжения воды после обработки.

Дальнейшие опыты были направлены на изучение влияния вибрационной гидрокавитации на обеззараживание водного потока. Опыты проводились на лабораторной установке (см. рис. 1). Вода была взята из реки Южный Буг в мае месяце 2006 года объемом 1,2 литра для каждого опыта.

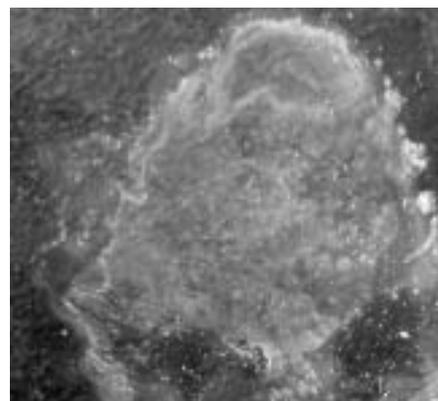


Рис. 11. Кристаллический след воды после одновременной обработки кавитацией и омагничиванием

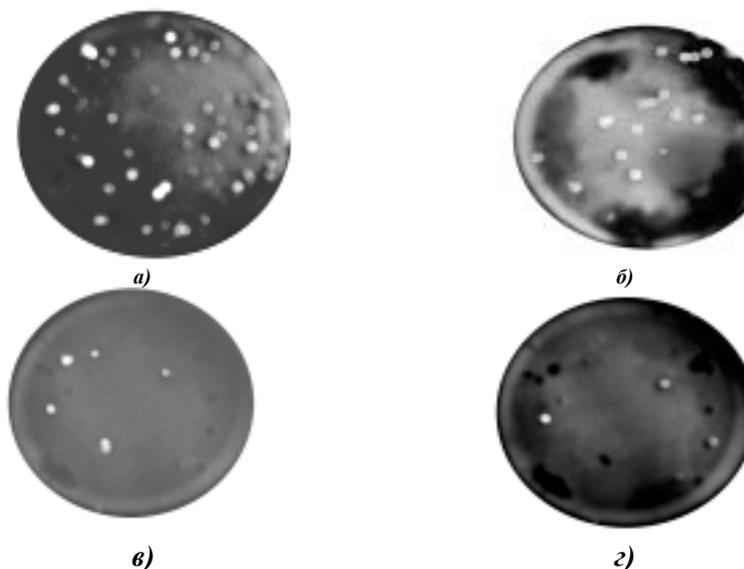


Рис. 12. Фотографии образцов роста колоний микробов: а – без вибрационной гидрокавитационной обработки; б – после обработки 10 мин; в – после обработки 20 мин; з – после обработки 30 мин

Обработка образцов на установке проводилась на протяжении 10; 20; 30 минут, после чего на протяжении до двух часов образцы были доставлены в лабораторию Хмельницкводоканала, где согласно ГОСТ 18963-73 (Методы санитарно- бактериологического анализа) были сделаны анализы. Сущность метода состоит в определении в 1 мл воды общего содержания мезофильных, мезотрофных аэробов и факультативных анаэробов, способных прорасти на агаре при температуре  $(37 \pm 0,5)^0$  С на протяжении  $(24 \pm 2)$  часов, образуя колонии, которые видно при увеличении от 2 до 5 раз.

После завершения роста колоний, через 24 часа был проведен подсчет их количества на контрольном образце и обработанных гидрокавитацией за определенное время и сделаны фотографии образцов (рис. 12).

В результате проведенных опытов получено обеззараживание воды в количественном виде: уменьшение количества колоний от 63 до 3. Полученный результат базируется на том, что при вибрационной гидрокавитации происходит структуризация воды и рост рН [9] см. рис. 13.

Также при импульсном прохождении жидкости через насадок, при втягивании жидкости в емкость, образуется мгновенная зона разряжения, в которой споры бактерий разрываются, не выдерживая резкого перепада давления.

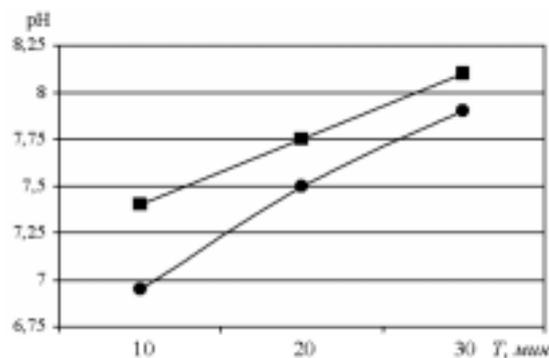


Рис. 13. Зависимость рН воды от времени кавитации: ■ – изменение рН при действии гидрокавитации и намагничивании; ● – то же при действии самой гидрокавитации

На рис. 14. показанная динамика уменьшения количества роста колоний бактерий от времени обработки воды гидрокавитацией.

Влияние гидрокавитационного воздействия на водную среду, за счет указанных эффектов, позволяет достичь существенной интенсификации химических преобразований и обеззараживании водных потоков, получать структурированную «живую» воду, свойства которой сохраняются на протяжении от 3 до 4 часов.

Таким образом, экспериментальные исследования показали целесообразность использования гидродинамической кавитации в технологии обеззараживания водных потоков в вибрационном оборудовании.

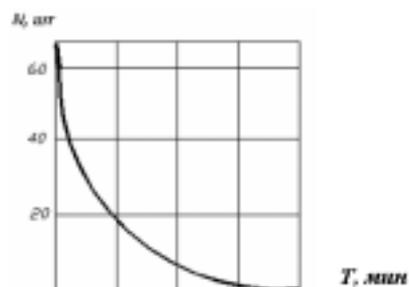


Рис. 14. Зависимость роста колоний от времени обработки при влиянии гидрокавитации

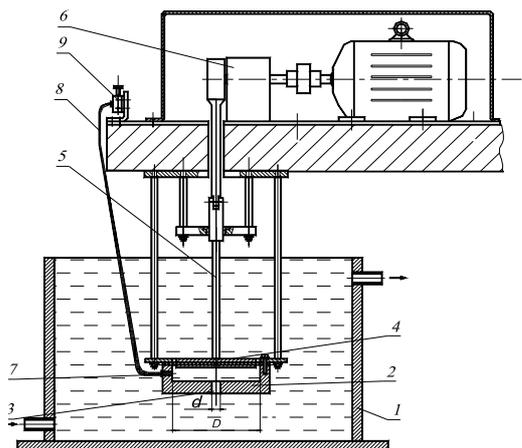


Рис. 15. Конструкция вибрационного устройства для осветления и очистки сточной воды

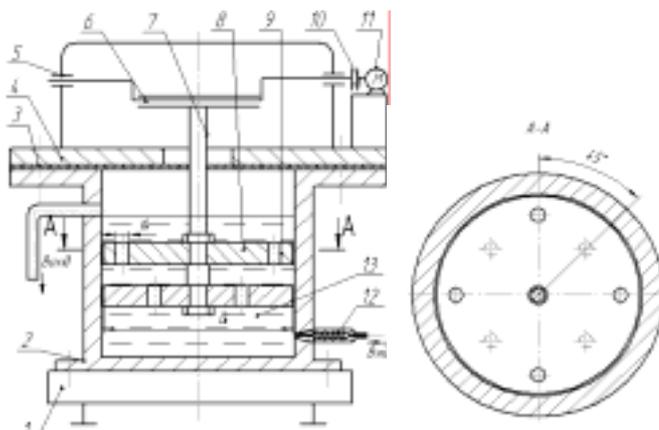


Рис. 16. Конструкция вибрационной кавитационной установки для обработки воды с насосным эффектом

В процессе исследования обработки воды получено: снижение жесткости на 22 %, повышение окисляемости на 180 %, снижение биологической потребности кислорода в 2,2 раза и ускорения обеззараживания в 20...30 раз.

В результате проведенных исследований разработан ряд конструкций вибрационных машин и оборудования на основе гидропульсатора [10-13], которые можно использовать для улучшения характеристик питьевой воды, предварительной подготовке сточных вод для дальнейшей ее обработки, осветления и насыщения кислородом прудовых вод, ускорения процессов дробления и брожения биологических частиц в водных потоках.

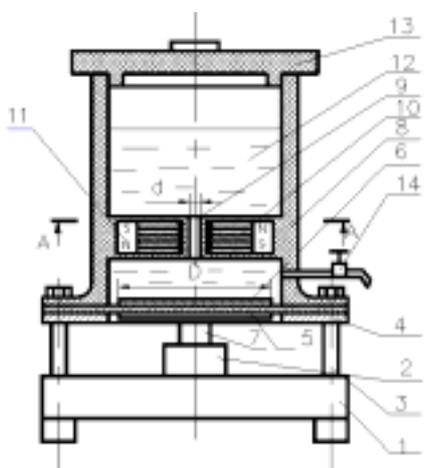


Рис. 17. Конструкция кавитационно-магнитного устройства для обработки воды

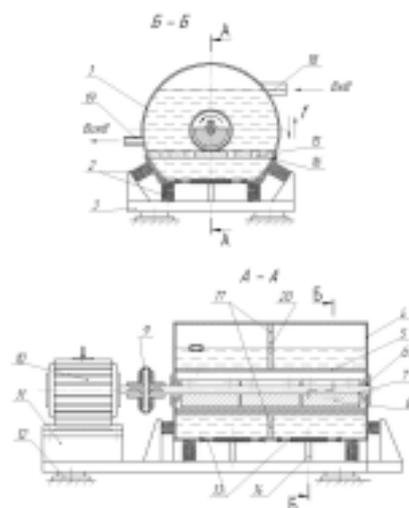


Рис. 18. Конструкция вибрационного кавитатора с дебалансным приводом

1. Сілін Р.І., Гордєєв А.І. Вібраційне обладнання на основі гідропульсатора. – Монографія. Хмельницький: ХНУ, 2007. – 386 с.
2. Сілін Р.І., Гордєєв А.І. Вібраційне обладнання для зміни властивостей води // *Машинознавство*. – 2005. – № 4. – С. 32–36.
3. Сілін Р.І., Гордєєв А.І., Сорока І.І. Вібраційне обладнання і технологія очищення та незараження водних потоків // *Вісник ХНУ. Технічні науки*. – 2006. – № 1 (78), Т.1. – С. 39–42.
4. Сілін Р.І., Гордєєв А.І. Вібраційні коливання та їх вплив на склад води // *Вибрации в технике и технологиях*. – 2004. – № 3 (35). – С. 104–108.
5. Сілін Р.І., Гордєєв А.І., Савицький Ю.В. Вібраційне обладнання та технологія для зміни складу рідини // *Машиностроение и техносфера XXI века. Сборник трудов XI междунаучно-техн. конф. в г. Севастополе*. – Донецьк: ДонНТУ, 2004. – Том 3. – С. 95–99.
6. Сілін Р.І., Гордєєв А.І., Баран Б.А. Технологія гідрокавітаційно-магнітної обробки води та вібраційне обладнання // *Вісник ХНУ. Технічні науки*. Хмельницький 3 (112) 2008. С.68-74.
7. Сілін Р.І. Кавітаційно-магнітна обробка води та вібраційне обладнання на основі гідропульсатора / Р.І. Сілін, А.І. Гордєєв // *Сб.пр.ІІ міжн.н-т. конференції «Современные достижения в науке и образовании», вересень 2008, г.Нетанія (Ізраїль)*. – Хмельницький: ХНУ, 2008. – С.46 – 49.
8. Сілін Р.І., Гордєєв А.І. Вібраційне обладнання для гідрокавітаційного впливу на склад та властивості води // *Сб.тр.УІ міжн.н-т. конф. «Повышение качества, надежности и долговечности технических систем и технологических процессов» 2-9 грудня 2007. г. Хургада, Єгипет*. С.33-35.
9. Дослідження кавітаційно-магнітного впливу на структуру води / Р.І. Сілін, А.І. Гордєєв, Б.А. Баран, Є.А. Урбанюк // *Materialy IV mezinarodni vedecko – prakticka konference «Tfektivni nastroje modernich – 2008»*. – Dil 17. *Technicke vedy: Praha. Publishing House «Education and Science»-2007*, с. 28-32.
10. Пат. 25775 Україна, МКИ В24В5/00. Кавітаційний пристрій для обробки води / Р.І. Сілін, А.І. Гордєєв, О.А. Гордєєв, В.В. Третько, Є.А. Урбанюк (Україна) – 200605443; Заяв. 30.09.2006; Опубл.17.08.2007, Бюл. № 13. – 3 с. ил.
11. Пат. 25811 Україна, МКИ В24В5/00. Вібраційний кавітатор для зміни властивостей води / Р.І. Сілін, А.І. Гордєєв, О.А. Гордєєв, В.В. Третько, Є.А. Урбанюк (Україна) – 2006054432; Заяв. 20.12.2006; Опубл.17.08.2007, Бюл. № 13. – 3 с. ил.
12. Пат. 48400 Україна, МКИ С02F1/46. Пристрій для очистки стічної води / Р.І. Сілін, А.І.Гордєєв, В.О. Павлик (Україна) – 2001064234; Заяв. 19.06.2001; Опубл.15.08.2002, Бюл. № 8. – 3 с. ил.
13. Пат. 10347 Україна, МКИ В01F5/00. Устаткування для обробки води / Р.І. Сілін, А.І. Гордєєв, В.В. Третько, І.І. Сорока (Україна) – 200503620; Заяв. 18.04.2005; Опубл.15.11.2005, Бюл. № 11. – 3 с. ил.

Надійшла 10.1.2009 р.