

В соответствии с представленной ступенчато-противоточной схемой извлечения фосфора, движение очищаемой воды и обожженного доломита реализуется на встречу друг другу. Свежий доломит используется для доочистки воды, а уже использованный на первой стадии контактирует со свежей водой. Иловая вода из илоуплотнителя и от центрифуг обезвоживания осадка собирается в емкость-накопитель. Усреднённая по составу и расходу смесь направляется в реактор первой ступени, где взаимодействует с доломитом со второй ступени обработки. После отделения отработанный доломит, подсушивается и направляется на хранение для последующего использования. После первой ступени вода направляется на доочистку в реактор второй ступени, куда дозируется свежий материал. Общая продолжительность контакта с обожженным доломитом составляет 30 минут, по 15 минут на каждой стадии. Очищенная вода, после второй ступени, направляется в приемную камеру ОСК.

Введение разработанной технологии очистки возвратных потоков от фосфора позволит уменьшить нагрузку на очистные сооружения канализации и тем самым увеличить эффективность их работы. Реализация данной технологии позволит извлечь до 20 % фосфора от общего количества, поступающего на очистные сооружения.

Таким образом, подтверждена высокая эффективность применения обожженного доломита для извлечения фосфора в процессе обработки осадков сточных вод. Установлено, что степень удаления фосфатов коррелирует с рН обрабатываемой жидкости. Получено эмпирическое уравнение, позволяющее прогнозировать степень очистки по значению рН. Определены условия, обеспечивающие наибольшую степень очистки от фосфатов обожженным доломитом возвратных потоков очистных сооружений. Предложены способы интенсификации процесса – УЗ-обработка и аэрация. На основе полученных данных предложена ступенчато-противоточная схема извлечения фосфора из возвратных потоков ОСК.

#### *Список использованных источников*

1 Ott C., Rechberger H. The European phosphorus balance //Resources, Conservation and Recycling. – 2012. – Vol. 60. – P. 159-172.

2 Withers P. J. A. et al. Stewardship to tackle global phosphorus inefficiency: the case of Europe //Ambio. – 2015. – Vol. 44. – №. 2. – P. 193-206.

3 Cornel P., Schaum C. Phosphorus recovery from wastewater: needs, technologies and costs //Water Science and Technology. – 2009. – Vol. 59. – №. 6. – P. 1069-1076.

4 Сапон, Е.Г. Перераспределение фосфора между фазами суспензии избыточного активного ила при аэробной и анаэробной стабилизации / Е.Г. Сапон, В.Н. Марцуль // Труды БГТУ. Сер. IV, Химия, технология органических веществ и биотехнология – 2015. – Вып. 177. – С. 228–294.

5 Сапон, Е.Г. Исследование очистки сточных вод от фосфатов материалами, полученными из природного сырья и отходов / Е.Г. Сапон, В.Н. Марцуль // Труды БГТУ. Сер. III, Химия и технология неорган. в-в. – 2015. – Вып. 176. – С. 20–28.

УДК 628.3:532.5

И.В. Войтов; А.Р. Цыганов; А.И. Лобов; А.Г. Капсаров; А.А. Бутурлакин  
Белорусский государственный технологический университет, г. Минск, Беларусь

## **КАВИТАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ РЕЦИКЛИНГА ПРОМЫШЛЕННЫХ ВОД**

Очистка промышленных вод, то есть вод, технологически связанных с обработкой металлов, масел и прочих загрязняющих воду операций, актуальна, как для устойчивости процессов, сопровождающих коагуляцию, седиментацию, флотацию и фильтрацию с использованием сложного спектра химикатов, коагулянтов и флокулянтов, так и экологически результаты очисток непрерывно пополняют поля фильтрации и озёра нефтешлама.

Актуальность рециклинга, в особенности на крупных предприятиях с замкнутым циклом оборота воды, необходима, поскольку применяемые химические реактивы после-

довательно накапливаются в «технической воде». Происходят качественные отклонения от регламентов и нормалей, рассчитанных на исходные концентрации. В результате – скрытый брак процессов склейки, окраски, приготовления эмульсий, и красок, загрязнение атмосферы цехов и боксов.

Остаточные биологические загрязнения в сельскохозяйственном производстве входят пищевые цепочки животных и человека.

Наряду с химическими и биологическими методами очистки, актуальны акусто – механические, например кавитационные и ультразвуковые методы.

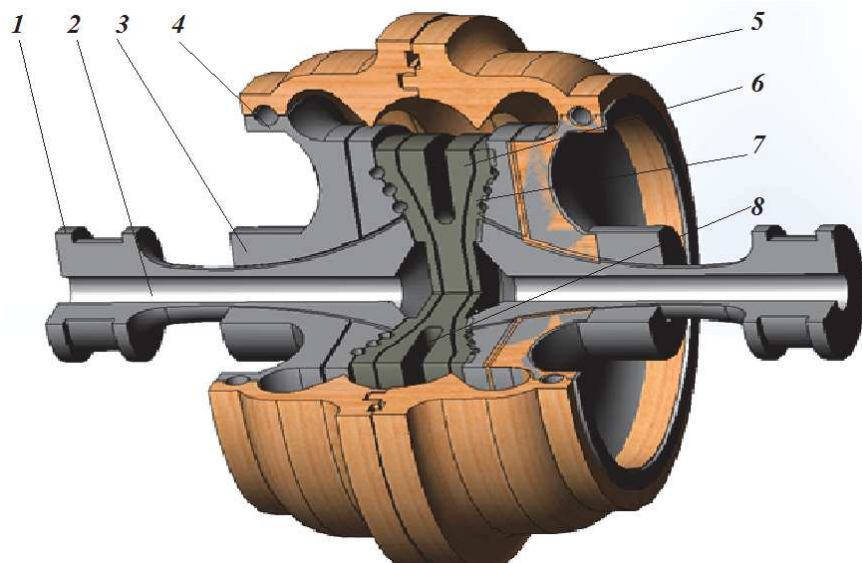
Заметим, что в кавитированной водопадом воде происходит нерест и выживание рыб. Кавитационные явления, связанные с вибрациями в воде при сравнительно небольших амплитудах, приводят к высокой плотности потока энергии, вызывают нелинейные эффекты.

Рост пузырьков газа в воде и их мгновенное схлопывание с эффектом ударной волны создаёт давление от 500 до 80 000 ати в объёмах 3 – 20 мкм.

За фронтом высоких давлений, следует резкое нелинейное разряжение, нарушающее устойчивые структуры водных кластеров молекулярных систем, связывающих молекулы в подвижный агрегат с компенсированными объёмными связями [1-5].

Реализуется метод, так называемого, «холодного кипения», поскольку температура воды, при разрушении кластера, практически, не повышается.

Кавитация в воде наступает уже при частоте колебаний 3 - 20 кГц и плотности потока энергии 0,3 Вт/см. кв. Вместе с тем, такой уровень удельной мощности недостаточен для эффективного разложения крупных органополимерных молекул на основе мазута, клеевых масс, застарелых отложений бытовых отходов, крупных микроорганизмов, активного ила.



1 – муфта; 2 – канал входа реагента; 3 – внутренний корпус;  
4 – симметричные каналы обработки жидкости, 5 – внешний корпус;  
6 – центральный сборник; 7 – симметричная лопасть диспергирующая; 8 – канал выхода реагента

**Рисунок 1 – Кавитационный реактор**

Метод предлагаемый нами, усиливает эффект кавитации, организуя её непосредственно в узком динамическом щелевом канале, либо развивают кавитационный процесс непосредственно за счёт динамического контакта шероховатых тел, вызывающих кавитационные явления путём параметрического возбуждения.

Отличительной характеристикой предлагаемого процесса, является возможность расхождения дисков на расстояния, не превышающие характерных толщин молекул и других остаточных биологических загрязнений с эффектом их последующего расщепления, в следствии кавитационного удара, концентрированного в узких щелях, а также термических

флуктуаций фононов. Последнее объясняется концентрированным на выходе энергии в микро выступах рельефа, площадь которых на 1-3 порядка меньше, чем макро контакт сопряжения дисков.

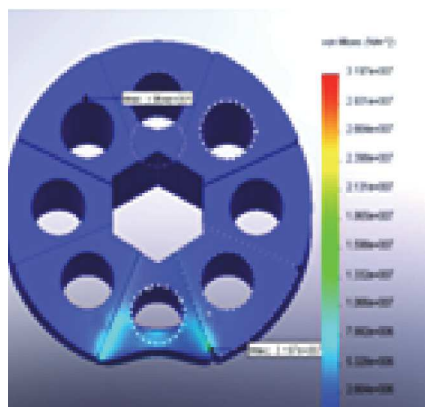


Рисунок 2

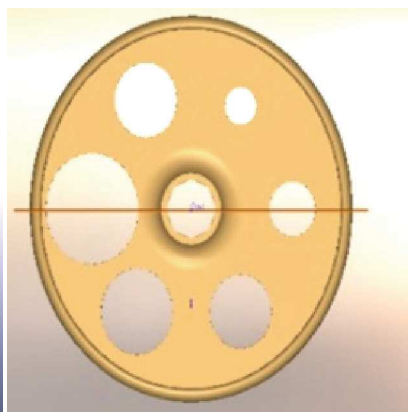
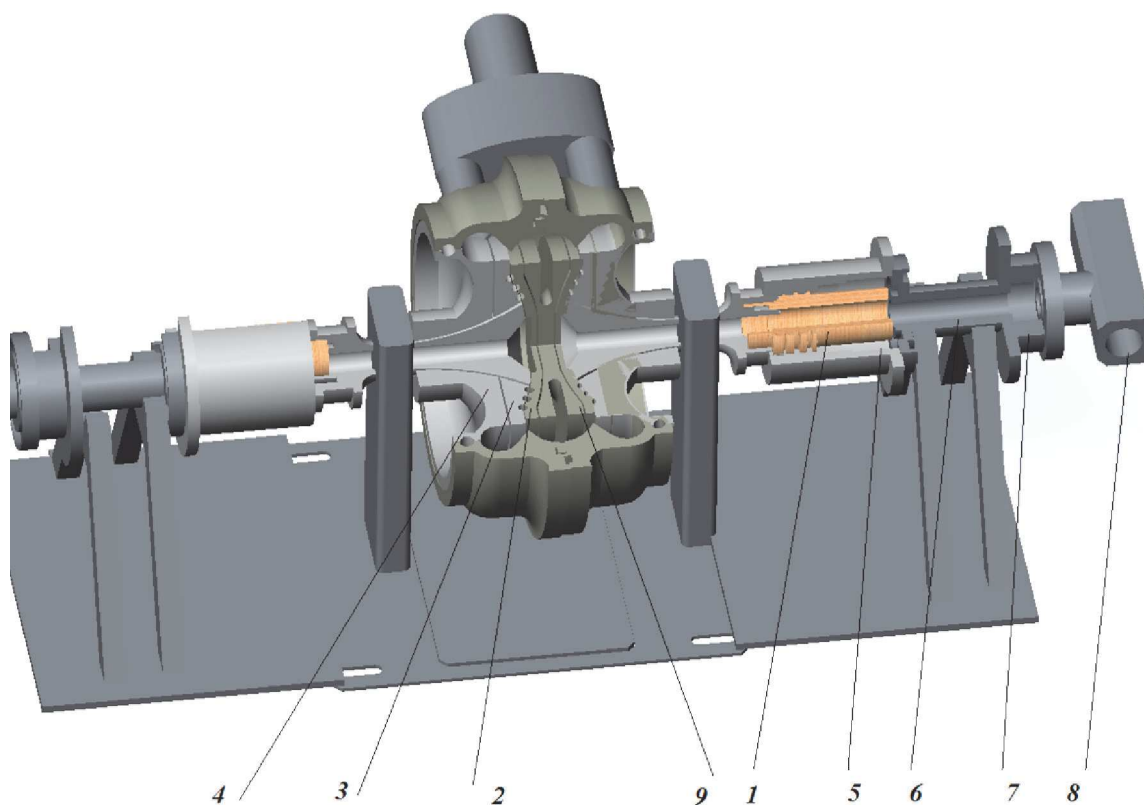


Рисунок 3

**Рисунки 2, 3 – Диаграммы испытываемого клинообразного волновода в комбинации с диском параметрического возбуждения**



1 – специальный вибропривод; 2 – трибосфера пористая; 3 – отбойник пористый; 4 – щека; 5 – корпус вибратора (шнек, экструдера, вибратора,); 6 – стойка реактивная; 7 – камера ввода добавок и микрокомпонентов; 8 – канал ввода основного продукта; 9 – реактор

**Рисунок 4 – Общая компоновка устройства**

Представленные симметричные элементы движителей:–лопасти и стенки канала прохода реагента обеспечивает высокочастотное изменение давления в газах, растворённых в воде, вызывающих кавитационные эффекты. Под действием центробежных сил из щелевых каналов потоки переходят на сборник и далее на пользователя.

Поперечное сечение щели меняется с вибрацией, при синхронно открывающемся и схлопывающемся квансионными пузырьками в зазоре, что сопровождается граничным трением плоских поверхностей щелеватых дисков. В случае плотного смыкания в зазоре, не превышающем высоты шероховатости, твёрдые взвеси флюида разрушаются до величин нанометров. Это позволяет дополнительно использовать термовспышки при граничном трении. Устройство в сборе представлено на рисунке 4.

Вибронагруженные элементы рассчитаны методами SOLIDVORKS и поясняются на рисунках 2 и 3, где показан принцип параметрического возбуждения колебаний щелевого диска и определение зоны предельного напряжения при квазистатических радиальных нагрузках.

#### *Список использованных источников*

1 Shestakov S., Krasulya O., Baulina T. Sonochemical Reactor with Phase Control // International Journal of Engineering Inventions, Vol. 3, No 7, 2014, pp. 3-12

2 Шестаков С.Д., Ринк Р. Сонохимический реактор с симметричной колебательной системой акустической ячейки и непараметрическим (фазовым) управлением излучателями // Труды 1-ой Всероссийской акустической конференции, Москва, 6-10 октября 2014, С. 80-93

3 Shestakov S., Smeshek E., Hydrodynamic Sonochemistry in Food Processing // IOSR Journal of Engineering Vol. 5, Issue 11, November 2015, pp. 5-11, Бюл. №26// Открытия. Изобретения. – №26.

4 А. Капсаров. The influence of frequency of longitudinal vibrations on fatigue characteristics of 10 and 40X steels at hydraulic loading // creep and coupled processes, IV th international symposium, Bialystok, Poland, September 24-26, 1992, P 53-56.

5 Капсаров А.Г., Довгялло И.Г., Бельский С.Е., Горновский Д.А. Влияние частоты механических колебаний на циклическую прочность элементов трубопроводов, дополнительно нагруженных внутренним гидростатическим давлением // Труды БГТУ, выпуск II, ЛИД, Минск, 1994, С. 150-158.

УДК 628.16

Ю.М. Аверина<sup>1</sup>, канд. техн. наук, доц. каф. ИМиЗК, предс. ОСМУСС;  
А.Ю. Курбатов<sup>1</sup>, канд. техн. наук, инж.; И.А. Швецов<sup>2</sup>, начальник конструкторского бюро  
<sup>1</sup>РХТУ им. Д.И. Менделеева, г. Москва, Россия,  
<sup>2</sup>Красногорский оптико-механический завод им. С.А. Зверева, г. Красногорск, Россия

### **СПОСОБ БЕЗРЕАГЕНТНОЙ ОЧИСТКИ ПРИРОДНЫХ ВОД**

Основными проблемами, принуждающими производить очистку природных вод, являются такие факторы как:

– повышенное содержание вредных для организма человека веществ в воде (железо, марганец, тяжёлые металлы, растворенные газы и т. д.);

– содержание в воде, так называемых «солей жесткости», приводящих к выходу из строя различного теплотехнического оборудования в процессе его работы и вредно влияющих на кожный покров человека.

– содержание в воде различных патогенных микроорганизмов (кишечная палочка и т. д.);

В последнее время в водоподготовке явно видна тенденция к применению современных, высокоэффективных и ресурсосберегающих технологий. Также стоит учитывать, что эксплуатационные затраты применяемых установок очистки воды значительно снижаются за счет применения безреагентных технологий.

Владельцы частной загородной недвижимости, малых предприятий сельского хозяйства, небольших котельных и производственных предприятий с децентрализованным во-