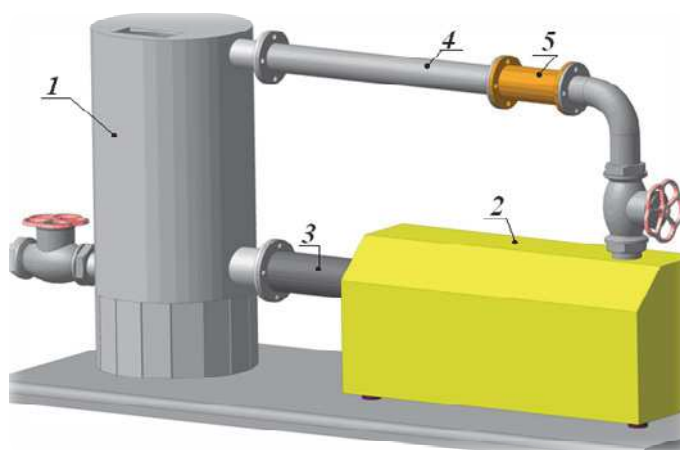


О.А. Петров, доц., канд. техн. наук  
Белорусский государственный технологический университет, г. Минск, Беларусь

## ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СВЕРХКАВИТИРУЮЩИХ АППАРАТОВ В ТЕХНОЛОГИЯХ ОЧИСТКИ ПРОМСТОКОВ

Изучение конструкций кавитирующих аппаратов, гидродинамики кавитационных течений, а также практического использования такого оборудования в различных технологических процессах являлось предметом наших исследований довольно долгое время [1, 2]. Проведем анализ возможностей использования сверхкавитирующих аппаратов (СКА) для гидродинамической обработки отходов в жидких средах с получением коагулянтов и флокулянтов.

Для проведения экспериментальных исследований была создана гидродинамическая установка (рисунок 1). Она, в своем базовом варианте, состоит из центробежного насоса, который нагнетает жидкость по трубопроводу в так называемый сверх- или суперкавита́тор (СК-аппарат), представляющий собой сменную вставку.



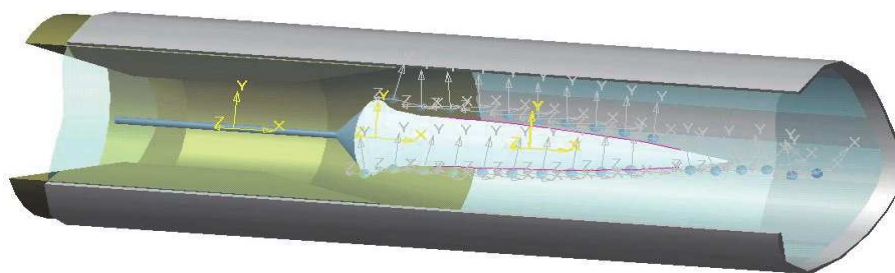
1 – емкость; 2 – центробежный насос; 3 – всасывающий участок трубопровода; 4 – нагнетательный участок трубопровода; 5 – кавитатор

**Рисунок 1 – Гидродинамическая установка**

Принцип работы статических СК-аппаратов (ССКА), в общем случае, сводится к следующему. При резком понижении давления из-за появления больших местных скоростей в потоке жидкости образуются разрывы сплошности (каверны), заполненные газом, паром или их смесью. При схлопывании каверн происходят микровзрывы, образуются ударные волны и кумулятивные микроструи, приводящие к разрушению материала, находящегося вблизи. Например, при сужении поперечного сечения трубопровода с последующим расширением или при обтекании потоком жидкости разнообразных препятствий (конусы, сферы, пластины и т.д.). В последнем случае за обтекателем образуется полость больших размеров – сверх- или суперкаверна, по периферии которой, в основном в хвостовой части, образуется поле коллапсирующих кавитационных пузырьков (рисунок 2).

Для интенсификации очистки сточных вод широко применяются природные и синтетические флокулянты и коагулянты. Использование синтетических флокулянтов в процессах очистки сточных вод и осветления тонкодисперсных суспензий, хотя и дает значительный практический эффект, но их стоимость достаточно высока. Поэтому в отдельных случаях целесообразно использовать природные флокулянты, полученные из биомассы микро-

организмов. В первую очередь практический интерес представляет использование биомассы тех микроорганизмов, которые получают как отходы производства или побочный продукт, например избыточный активный ил (ИАИ) при биологической очистке сточных вод.



**Рисунок 2– Модель 3Дсверхкавитации в ССКА с осевым расположением конического обтекателя**

В результате проведенных экспериментов выяснено, что после гидродинамической обработки в суперкавитирующем аппарате избыточного активного ила его можно эффективно использовать в качестве биофлокулянта для интенсификации процесса отстаивания при первичной очистке сточных вод [3], снижая тем самым нагрузку на последующие стадии очистки. Известно, что в составе ИАИ имеется большая группа микроорганизмов, которые в процессе своей жизнедеятельности образуют и выделяют внеклеточные биополимеры, которые и являются флокулирующими агентами. В результате обработки агломераты микроорганизмов разрушаются до отдельных клеток или сегментов клеток, что приводит к резкому увеличению поверхности контакта между биофлокулянтom и частицами примесей. Разрушение клеточных агломератов, а также отдельных клеток до их сегментов может быть достигнуто созданием в зоне микроорганизмов высоких скоростных градиентов. Применение на этом этапе исследуемых гидродинамических ССКА может значительно интенсифицировать данные процессы. Сущность гидродинамической кавитационной обработки активного ила состоит в создании условий, обеспечивающих непрерывное выделение микроорганизмами биополимеров до истощения запасных жировых веществ клеток.

В результате гидродинамической кавитационной обработки, за счет деструкции межклеточных структур, достигается еще один положительный эффект – повышение степени растворения тяжелых металлов, содержащихся в твердой фазе ИАИ. Выбор способа обезвреживания всех осадков зависит от состава и свойств веществ, которые определяют его токсичность, вредность для окружающей среды. Главным направлением обезвреживания является перевод указанных веществ в другие нетоксичные соединения, связывание их в виде практически нерастворимых и нелетучих соединений. Во многом способы обезвреживания сточных вод и осадков подобны. В настоящее время одним из основных методов обезвреживания ИАИ, содержащего тяжелые металлы, является химическое извлечение этих металлов перед складированием осадка на иловых площадках.

Нами проведены эксперименты по исследованию влияния гидродинамической кавитационной обработки на свойства ИАИ. В ходе экспериментов были исследованы пробы ИАИ после различного времени обработки в ССКА и изменение характеристик активного ила вследствие обработки. Проведены исследования по применению активного ила в качестве биофлокулянта на стадии механической очистки сточных вод. Был проведен ряд опытов по определению оптимального времени обработки активного ила, а также по исследованию флокулирующих свойств этого материала. Вместе с этим было проверено предположение о повышении растворимости тяжелых металлов, содержащихся в осадке, после такой обработки, а также о применимости гидродинамической кавитации и аппаратов на ее основе для стабилизации биомассы и обеззараживания воды.

Проведенные опыты, заключающиеся в определении времени капиллярного впитывания, илового индекса, удельного сопротивления осадка фильтрованию, оптической плотности для различных проб, позволили выявить оптимальное время кавитационной обра-

ботки активного ила при использовании его в качестве флокулянта, а также дозу, при которой наблюдается наибольший эффект очистки. Оптимальная доза составила 1 % от объема сточной воды. Оптимальное время обработки – около 1 минуты или 1 цикл при последовательном использовании нескольких аппаратов, то есть при необходимости непрерывности процесса. При меньшем времени обработки снижается количество выделяемых клетками биополимеров, т.к. запасные резервы клеток не исчерпываются полностью. При большем времени обработки дальнейшее механическое воздействие на клетку, уже лизированную и разрушающуюся, приводит к ухудшению дальнейшего процесса флокулирования смеси исходной сточной жидкости и обработанного активного ила. При повышении степени механического воздействия клеточные оболочки немедленно разрушаются, жизнедеятельность клеток прекращается, а значит, естественно прекращается и выделение ими биополимеров.

После определения оптимального времени кавитационной обработки активного ила и его дозировки в глинистой суспензии, выбранной в качестве модельной, была оценена эффективность очистки суспензии. Таким образом, при исследовании кинетики осаждения глинистой суспензии использовали активный ил, подвергнутый кавитационной обработке в течение 1 минуты. Доза обработанного АИ составляла 1 % об. Исследования проводили для глинистой суспензии концентрации 500 и 1000 мг/л. Измерялась оптическая плотность в зависимости от времени отстаивания суспензии, активного ила и суспензии с активным илом. Оказалось, что после 20 минут отстаивания эффективность очистки для суспензии концентрацией 500 мг/л составляет до 80 %. При увеличении концентрации суспензии в два раза, этот показатель снижается до 50 %.

На следующих этапах исследовалось влияние гидродинамической обработки на интенсификацию процессов обезвреживания, стабилизации и обеззараживания осадков промышленных сточных вод.

В ходе исследований установлено, что наблюдается стабильная взаимосвязь между обобщенным показателем фильтруемости осадка (удельным массовым сопротивлением фильтрованию) и степенью растворения содержащихся в нем тяжелых металлов. Таким образом, степень растворения металлов определяется степенью механической деструкции структур АИ в процессе обработки и может контролироваться по изменению удельного массового сопротивления осадка фильтрованию.

В результате исследования обработки осадков сточных вод в ССКА, установлено, что за счет деструкции межклеточных структур осадка растворяется от 17 до 70 % содержащихся в твердой фазе осадка металлов (Ni, Zn, Cu, Pb, Cd). Степень растворения зависит от металла, что объясняется различными формами связывания тяжелых металлов, в частности, активным илом. Достигнутая степень растворения тяжелых металлов, не всегда достаточна по ПДК для самостоятельного использования такой обработки для окончательного обезвреживания осадков, однако в сочетании с традиционными способами гидродинамическая кавитационная обработка позволит значительно интенсифицировать процесс и уменьшить объемы используемых реагентов.

Результаты экспериментов по стабилизации и обеззараживанию активного ила в исследуемом сверхкавитирующем аппарате показали, что уже за один проход общее микробное число (ОМЧ) сократилось на порядок и составило около  $3 \cdot 10^5$  колоний/мл (ОМЧ в начальной пробе составляло более 3 млн. колоний/мл). Через 10 минут циркуляции жидкости в установке ОМЧ уменьшилось практически до  $6 \cdot 10^4$  колоний/мл.

Кавитация способна не только убивать микробы. Она способна диспергировать и крупные молекулы органики, поскольку именно они являются центрами образования кавитационных пузырьков (ядрами кавитации) и точно так же, как и микроорганизмы являются центрами «схлопывания» кавитационных пузырьков. По размеру микроорганизмы и крупные молекулы органики примерно одинаковы, приближаются к ним по размерам и молекулы тяжелых нефтепродуктов.

Кроме того, исследовалась возможность использования ССКА для получения коагулянтов/флокулянтов из отходов отработанных синтетических ионитов. Отработанные синте-

тические иониты близки по составу и свойствам к применяемым в настоящее время флокулянтам и характеризуются значительной остаточной обменной емкостью. В качестве одного из способов получения таких материалов может рассматриваться измельчение (степень измельчения должна быть близкой к дисперсным частицам гидроксокомплексов, образующихся при гидратации коагулянтов). Выбор условий измельчения, обеспечивающих получение продукта с заданными свойствами, проводили по результатам пробного коагулирования контроля сорбционной емкости, дзета-потенциала, распределения функциональных групп [4].

Выбор механохимического способа переработки отработанных синтетических ионитов определяется в основном характеристиками исходного материала и требованиями к качеству продукта. Для механического измельчения (помола) применяются самые разнообразные конструкции мельниц: роторные, дисковые, пальцевые, барабанные, планетарные, вибрационные, струйные и др. Однако их использование зачастую рационально для получения материала с размерами более 20 мкм, поскольку для получения частиц меньшего размера существенно увеличиваются затраты энергии. Для дальнейшего уменьшения размеров частиц предлагается использовать кавитационное воздействие. В настоящее время такую обработку можно осуществлять в ультразвуковых и гидродинамических аппаратах. Применение такого оборудования также помогает снизить влияние повышенной температуры (которая сильно заметна при сухом способе) на количество функциональных групп.

Возможность применения ССКА исследовали на 1 %-ной водной суспензии анионита. Обработку проводили в течение 10, 20, 30 мин. В итоге, фракционный состав измельченного анионита характеризуется следующим распределением по фракциям более 20 мкм, 5–20 мкм и менее 5 мкм в мас. %: для 10 мин – 46,2:23,7:30,1, 20 мин – 32,2:28,7:39,1 и 30 мин – 23,6:24,5:51,9 соответственно.

Факторами, определяющими технологический эффект, являются количество и размеры образующихся кавитационных пузырьков за сверхкавернами. Чтобы получить кавитационные пузырьки оптимальных по технологическому воздействию размеров, необходимо создавать каверну с определенным характером нестационарного движения в ее хвостовой части. При этом возникает возможность избежать разрушения рабочих поверхностей аппарата, а всю энергию кавитационного воздействия направить именно на обрабатываемый материал. В этом и заключается одно из принципиальных отличий исследуемых гидродинамических аппаратов.

В заключении необходимо отметить, что исследованный способ воздействия на активный ил может найти применение и как способ стабилизации биомассы и частичного обеззараживания воды, который в сочетании с последующей стадией извлечения тяжелых металлов позволяет также существенно повысить общую степень удаления тяжелых металлов из обработанного осадка. Кроме того, использование СК-аппаратов позволяет проводить обработку отработанных синтетических ионитов для повторного их использования в качестве коагулянтов и/или флокулянтов.

#### *Список использованных источников*

1 Петров, О.А. Исследование и моделирование гидродинамических кавитаторов / О.А. Петров, П.Е. Вайтехович // Химическая промышленность сегодня. – 2003. – № 12 – С. 52–56.

2 Петров, О.А. Математическая модель расчета параметров каверны / О. А. Петров // Весці НАН Беларусі. Серыя фіз.-тэхн. навук. 2004. – № 2. – С. 35–37.

3 Петров, О.А. Применение гидродинамического аппарата для обработки активного ила / О.А. Петров, О.В. Гурьян, П.Е. Вайтехович // Новейшие достижения в области импортозамещения в хим. промышленности и производстве строительных материалов: Материалы докладов Междунар. Науч.-техн. конф. – Мн.: БГТУ, 2003. – С. 493–495.

4 Петров, О.А., Романовский, В.И. Применение суперкавитирующих аппаратов для обработки ионитов / О.А. Петров, В.И. Романовский // Новейшие достижения в области импортозамещения в химической промышленности и производстве строительных материалов: материалы докл. международной науч.-тех. конф. БГТУ, Минск, 25–27 ноября 2009 г. / Белорус. гос. техн. ун-т; редкол.: И.М. Жарский [и др.]. – Минск, 2009. – С. 123–126.