

УДК 628. 35

## Кондиционирование сточных вод энергетических систем и комплексов

**О.Г. Дубровская,  
В.В. Евстигнеев, В.А. Кулагин\***  
*Сибирский федеральный университет  
Россия 660041, Красноярск, пр. Свободный, 79<sup>1</sup>*

Received 2.12.2011, received in revised form 9.12.2011, accepted 16.12.2011

---

*Изложены результаты исследования систем очистки сточных вод. На основании теоретического анализа и экспериментальных исследований предложена установка комбинированного типа, использующая кавитационную технологию, позволяющую одновременно решать проблемы физико-химической очистки воды и обеззараживания биологических примесей.*

*Ключевые слова: вода, биообращение, нефтепродукты, поверхностно-активные вещества, загрязнения, кавитационная технология.*

---

### Введение

При непрерывном увеличении водопотребления и загрязнения водоемов промышленными и бытовыми отходами острее становится проблема интенсификации очистки вод и сохранения гидросферы. Это связано с тем, что возрастание объёмов сточных вод влечет за собой необходимость увеличения площадей, занимаемых очистными сооружениями, что не всегда возможно в условиях урбанизированных территорий. Поэтому перед предприятиями и городскими службами стоит задача использования инновационного оборудования, современных материалов, технологий и оборудования.

В настоящее время кондиционирование сточных вод в большинстве своём осуществляется на морально и физически изношенном оборудовании по традиционным технологиям и методам механической и физико-химической обработки. Все большее значение приобретают задачи комплексного и рационального использования водных ресурсов, повышения качества и эффективности очистки и обеззараживания постоянно возрастающих объёмов сточных вод, применения инновационного оборудования, современных материалов, технологий и механизмов.

Одним из путей решения проблемы повышения эффективного водопользования в некоторых случаях является переход на обратное водоснабжение. Лишь на единичных очистных сооружениях сток направляют на доочистку с использованием современных способов очистки и обеззараживания (озонирование, ультрафильтрация, обработка ультрафиолетовым излуче-

---

\* Corresponding author E-mail address: vak-sfu@mail.ru

<sup>1</sup> © Siberian Federal University. All rights reserved

нием, электрохимическая обработка и др.). Каждый из перечисленных способов наряду с положительными сторонами имеет и специфические недостатки, что заставляет искать новые пути развития ресурсо- и энергосберегающих методов и технологий очистки сточных вод.

Возникающие проблемы энергоресурсосбережения и экобезопасности при очистке больших объемов воды тепловых электростанций энергетических комплексов могут быть решены с помощью эффектов кавитации. Однако вопросы изменения физико-химических свойств воды (реологических, структурных и др.) и их влияния (на макроуровне) на ход и результат технологических процессов очистки промышленных стоков на современном этапе изучены недостаточно.

Сточная вода, поступающая в оборотную систему водоочистки, содержит большое количество нефтепродуктов, поверхностно-активных веществ, взвесей. Для приведения стока к нормативным показателям оборотного водоснабжения используются традиционные методы механической и физико-химической обработки стока [1-10]. От эффективности работы очистного оборудования в значительной мере зависит объем и качество работы комплекса, расходы сырья и энергии. При подборе существующей технологической схемы не учитывается биозагрязнение, между тем эффективность работы систем оборотного водоснабжения значительно снижается в процессе эксплуатации вследствие образования различного рода отложений и обрастаний в теплообменных аппаратах, в трубопроводах и резервуарах чистой воды (РЧВ). Помимо этого, ряд случаев отказа оборудования обуславливается образованием биопленки (рис. 1) и веществ, выделяемых в процессе метаболизма обрастателей. Микроорганизмы, прикрепившиеся к стенкам трубопроводов, образуют достаточно толстый слой, обладающий высокой прочностью на разрыв, вследствие чего увеличивается площадь твердой поверхности, создаваемой самими обрастателями. Это приводит к тому, что последующие клетки могут оседать и прикрепляться к ранее поселившимся клеткам.

Таким образом, на поверхности появляются обрастатели второго, третьего и более высоких порядков. Прогрессирующая колонизация поверхности формирует на ней сообщества со сложной многоярусной структурой, благодаря чему возрастает пространственная гетерогенность и, соответственно, число потенциальных экологических ниш.

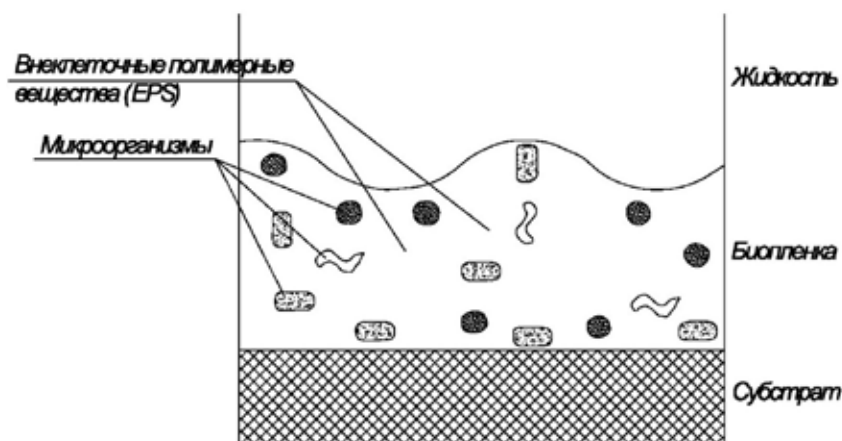


Рис. 1. Структура биопленки

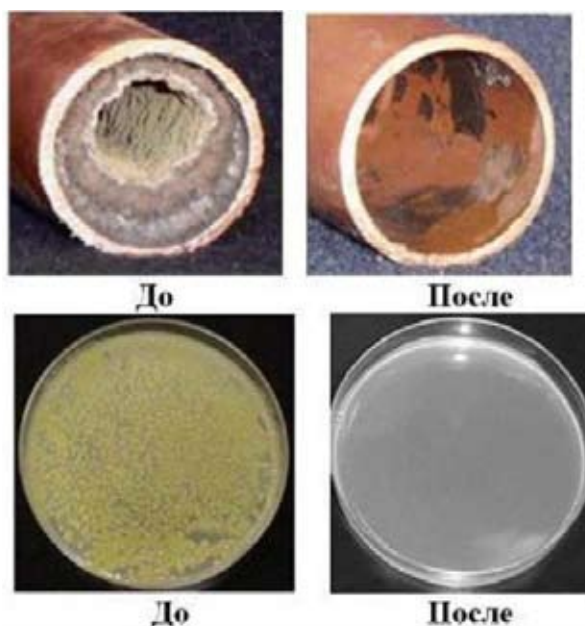


Рис. 2. Негативное влияние микроорганизмов и нефтесодержащих веществ на окружающую среду и трубопроводы (показана картина биообрастания до и после применения кавитационной обработки)

Негативное влияние биообрастаний достаточно полно рассмотрено в [11-13]. Известно, что в результате биообрастания уменьшается проходное сечение трубопроводов (рис. 2). Снижение пропускной способности при этом достигает 20-60 % в течение 10-15 лет, а в некоторых случаях даже в течение первых 4-6 лет эксплуатации. Изменение гидравлического режима работы водопроводов внутренней сети, вызванное деятельностью микроорганизмов, по мнению ряда авторов, обуславливает от 50 до 80 % коррозионных повреждений трубопроводов и внутренних поверхностей очистного оборудования, резервуаров чистой воды (рис. 2). При этом следует учитывать тот факт, что при традиционных технологиях кондиционирования воды нельзя добиться полной стерилизации и в воде могут оставаться единичные сохраняющие жизнеспособность микроорганизмы.

### Методы исследования

Стоки энергетических комплексов содержат большое количество кремнийорганических веществ, взвешенных веществ, хлоридов, сульфатов, солей жесткости и тяжёлых металлов и других вредных микрокомпонентов. Это обстоятельство ставит под вопрос возможность очистки стоков традиционными методами. Альтернативным методом очистки является безреагентный способ, основанный на гидродинамической кавитационной технологии [14-18]. Внедрение кавитационных технологий в уже существующие схемы очистки сточных вод позволит увеличить эффективность процесса биологической и химической очистки сточных вод, а также улучшить показатели воды на заключительном этапе очистки. Использование кавитационной технологии способствует механотермолизу структур воды с появлением свободных водородных связей, диспергации и гомогенизации твердых и органических включений без об-

разования побочных продуктов реакции, опасных для жизнедеятельности человека и высших гидробионтов.

Возможности кавитационной технологии по преобразованию характеристик воды иллюстрируют рис. 3 и 4. Под действием кавитации в водном растворе, содержащем различные инертные и активные газы, возможно осуществление разнообразных химических реакций. Кавитационное инициирование этих реакций сводится к ионизации и возбуждению молекул воды, благородных и активных газов, а также к диссоциации молекул  $H_2O$ . Каждый из этих процессов идет  $10^{-14}$  с. В связи с тем, что продолжительность конечной стадии схлопывания кавитационного пузырька составляет  $10^{-9}$ – $10^{-8}$  с, становятся возможными процессы передачи энергии и перезарядки с участием молекул инертных газов, идущие в газовой фазе. Наряду с указанными в кавитационной полости протекают реакции трансформирования радикалов с участием химически активных газов и рекомбинации радикалов за время  $10^{-7}$ – $10^{-6}$  с. В результате этих процессов после схлопывания кавитационного пузырька в раствор переходят продукты радикального разложения молекул  $H_2O$ , обнаруженные с помощью метода спиновых ловушек, и рекомбинации радикалов, что приводит к накоплению в воде молекулярного кислорода, перекиси водорода и других соединений.

Изменение pH воды в результате обработки в кавитационном поле происходит за счет образования различных химических соединений, выход которых зависит от режима обработки, наличия в воде примесей, ее газосодержания. Разложение молекул воды на радикалы  $H\cdot$  и  $OH\cdot$  приводит в дальнейшем к синтезу перекиси водорода, наличие которой способствует понижению pH воды. Например, кавитационное воздействие на воду в среде азота сопровождается образованием  $HNO_2$  и  $HNO_3$ , повышающих кислотность системы. Существенное влияние на кислотно-щелочные свойства водного раствора оказывает концентрация в нем  $CO_2$ , величина которой может изменяться в результате обработки воды в ГДК-реакторе [19, 20].

Полученные экспериментальные результаты позволяют сделать следующие основные выводы:

1. Обработка воды в ГДК-реакторе приводит к росту концентрации молекулярного кислорода, одним из механизмов образования которого являются химические процессы, инициируемые кавитацией, и связана с разложением молекулы  $H_2O$  на радикалы в кавитационной полости.
2. При кавитационной обработке воды в условиях контакта с воздухом основным механизмом повышения ее кислородосодержания является растворение  $O_2$  в процессе кавитационного аэрирования.
3. С увеличением концентрации  $O_2$  в необработанной воде роль химического действия кавитации в процессе повышения кислородосодержания возрастает.
4. Качественное сходство в зависимости процессов образования  $O_2$  и  $H_2O_2$  от присутствующих газов указывает на параллельность их протекания.
5. Изменение pH водного раствора в результате его обработки в ГДК-реакторе при прочих равных условиях зависит от концентрации в растворе  $CO_2$  и от газовой среды, в которой производится кавитационная обработка.

Определение количественного и качественного содержания органических веществ проводилось с помощью жидкостного хроматографа Agilent 1200 с масс-селективным детектором на

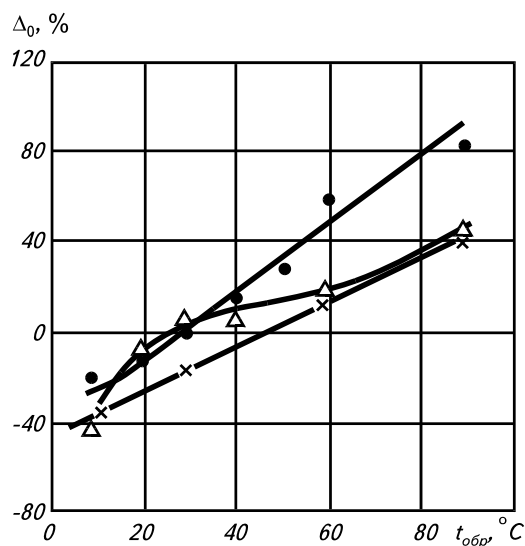


Рис. 3. Зависимость относительного изменения концентрации  $O_2$   $\Delta_0$  от длительности обработки водопроводной неотстоявшейся воды в атмосфере газов: ● – Ar; Δ –  $N_2$ ; + – He. Исходная концентрация кислорода в воде  $C_0 = 40 \%$

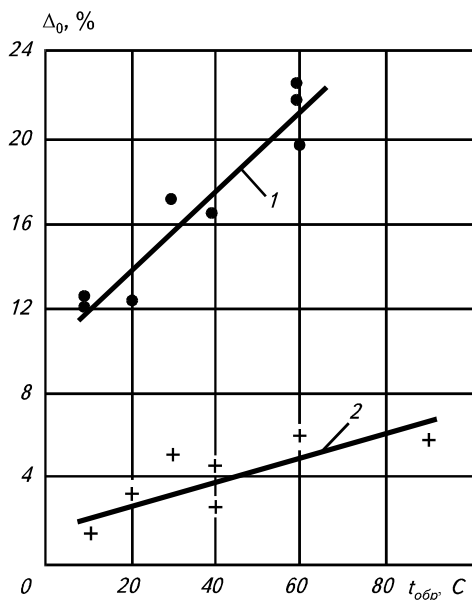


Рис. 4. Зависимость  $\Delta_0 = f(t_{обр})$  в атмосфере воздуха:  $C_0 = 100 \%$ : 1 – бидистиллят,  $pH_0 = 5,4$ ; 2 – неотстоявшаяся водопроводная вода,  $pH_0 = 7,0$

основе трех квадрупольей 6410 при длине волны 256 нм, газового хроматографа Agilent 7890А с квадрупольным детектором Agilent 5975С, а также на анализаторе жидкости «ФЛЮОРАТ-02». Вспомогательное и измерительное оборудование обеспечило возможность исследования влияния гидродинамической кавитации на следующие показатели воды: температуру, концентрацию растворенного кислорода, показатель pH, электропроводность и др.

Для обеспечения точности и достоверности результата использовались две параллели исследований и обработки результатов в ЦКП СФУ по двум независимым методикам:

1. Определение загрязнений в воде флуориметрическим методом (Методика М 01–05–2007; ПНД Ф 14.1:2:4.128-98; МУК 4.1.1262-03).

2. Определение загрязнений в воде хроматографическим методом на газовом хроматографе Agilent 7890А с квадрупольным детектором Agilent 5975С и жидкостном хроматографе Agilent 1200 с масс-селективным детектором на основе трех квадрупольей 6410.

Изменение условий проведения технологических процессов также может существенно влиять на интенсивность кавитационного воздействия, а следовательно, и на скорость протекания соответствующего процесса. Например, присутствие твердых частиц обеспечивает дополнительные зародыши кавитации, увеличивая кавитационную активность.

Эксперименты с использованием суперкавитационного миксера [19] проводились на модельных и реальных стоках энергетических комплексов. В качестве рабочего органа была применена двухлопастная крыльчатка с клиновидным профилем с различными углами раскрытия клина. Рабочие числа оборотов регулировались до 12000 об/мин, что обеспечило получение чисел кавитации до  $\chi = 0,05$ .

### Результаты и их обсуждение

Предметом исследования являются физико-химические и бактериологические характеристики оборотной воды на примере одной из автомоечных станций г. Красноярска, имеющей сходный со стоками энергетических систем состав сточных вод.

Для предложения реконструкции действующей схемы был проведён анализ исследуемого стока по трём основным критериям: содержание органических и неорганических соединений, рН, взвешенные вещества и биообрастания. Исходные концентрации стока комплекса представлены в табл. 1.

Результаты экспериментальных исследований и метод регрессивного анализа позволили установить рациональную продолжительность кавитационной обработки. Наиболее интенсивным участком изменения скорости, изменения общей концентрации органических веществ является кавитационное воздействие в диапазоне 15-30 с; этот же диапазон оказался наиболее эффективен при обеззараживании воды (рис. 5).

В течение этого времени общая концентрация органических веществ снижается на 55 %, а содержание биоорганизмов – на 95 %, т.е. скорость протекания реакций при кавитационном воздействии в диапазоне 15-30 с существенно выше скорости протекания реакций при воздействии в диапазоне 30-150 с.

Определение качественного и количественного состава биообрастаний водоводов, фильтров, стенок РЧВ и распылительной части автомоечного оборудования Karcher соответствует ГОСТ 18963-73 «Методы санитарно-бактериологического анализа». Анализ полученных результатов с использованием методики прямого подсчёта количества клеток биообрастаний на камерах Горяева отражён в табл. 2. Подсчет клеток проводился в соответствии с формулой

$$N = \frac{nB}{kV}, \quad (1)$$

Таблица 1. Исходные концентрации стока

Параметр	Расход сточных вод, м <sup>3</sup> /сут.	Взвешенные вещества		рН	Органические соединения		Биообрастания клеток в мл
		кг/сут	мг/л		кг/сут	мг/л	
Количественный состав	5,52	4,28	777	10	1,5	100	1155133

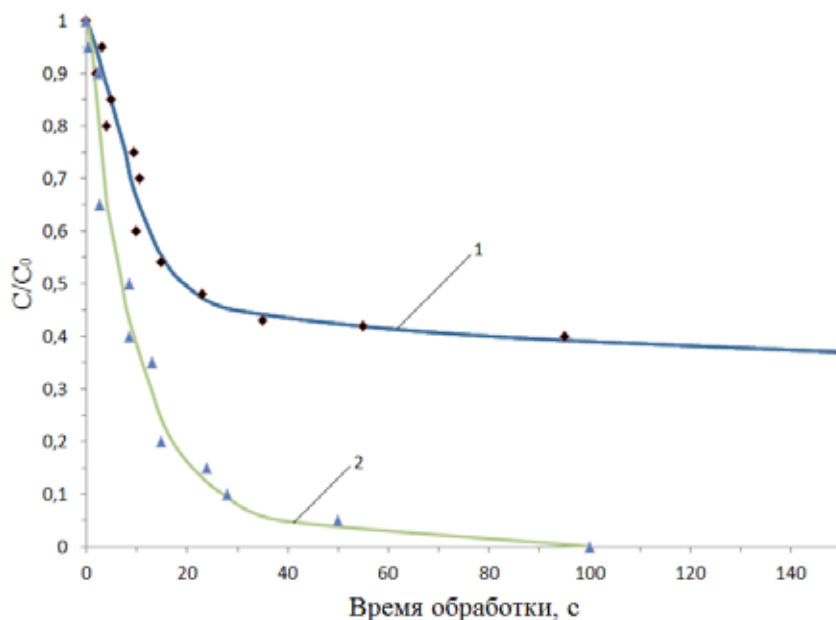


Рис. 5. Зависимость безразмерной концентрации  $C/C_0$  от времени кавитационной обработки: 1 – обработка стоков, содержащих органические вещества; 2 – обработка стоков, содержащих биоорганизмы

где  $N$  – количество организмов в 1 мл воды исследуемой пробы;  $n$  – количество организмов, обнаруженных на просмотренных дорожках (квадратах);  $B$  – количество дорожек (квадратов), на которых производили подсчет водорослей;  $k$  – первоначальный объем отобранной пробы, см<sup>3</sup>;  $V$  – объем сгущенной пробы, см<sup>3</sup>.

Произведён первоначальный перерасчёт на количество клеток во взрослой особи. Для субстратных прикреплённых водорослей таких, как *Melozira*, расчёт производится по формуле

$$N = n \cdot 10 \cdot V / S \cdot 10, \tag{2}$$

где  $N$  – количество организмов на 10 см<sup>2</sup> поверхности субстрата;  $n$  – число организмов в просчитанной капле воды объемом 0,1 см<sup>3</sup>;  $V$  – объем пробы, см<sup>3</sup>;  $S$  – площадь сечения трубки в микробентометре (для бентосных проб) или площадь поверхности субстрата, с которого смыты водоросли (для проб обрастания), см<sup>2</sup>.

Анализ полученных на существующем очистном комплексе результатов натуральных исследований позволяет сделать вывод, что этот комплекс не в состоянии эффективно бороться со

Таблица 2. Качественный и количественный анализ биообрастаний оборотной системы автомоечной станции

Схемы	Состав загрязнителей	Количество клеток в 1 мл	Наносимый ущерб системе
Действующая технология очистки	Chlorella	105000	Образует биокomплекс с бактериями-спутниками, продукты метаболизма которых способствуют биокоррозии внутренних поверхностей оборудования
	Draparnaldia glomerata var. remota	133	Образует стойкие обрастания распыляющей части автомоечного оборудования, стенок РЧВ и кольцевых трубопроводов. В случае попадания на фильтры вызывает полное их засорение. Вызывает повышение давления в трубопроводах оборудования, что приводит к последующему их порыву
	Heterothrix exilis	150000	
	Nostoc	420000	
	Nostoc Geosiphon	15000	
	Uronema terrestre	15000	
	Melozira	450000	Образует стойкие обрастания фильтрующих кассет, содержащих керамическую загрузку. Снижается скорость фильтрации и степень очистки стока
Предлагаемая технология кавитационной обработки	Все выше обнаруженные группы водорослей не выявлены	-	Снижение ущерба, вызываемого биообрастаниями (стойкий дезинфицирующий эффект)

всем спектром загрязнений, возникающим при его работе, например с биологическим обрастанием трубопроводов и различных водонакопительных камер.

Следует отметить, что качественный и количественный состав сточных вод энергетических систем, промпредприятий (например, автомоек и т.п.) и их свойства, в том числе и наличие клеток вышеприведенных групп водорослей, зависят от времени года, состояния дорог и территории, типа дорожного покрытия, обработки дорожного покрытия и территории реагентами, технического состояния автотранспорта и мн. др. При заданном количестве воды на мойку одного автомобиля в 50 л состав стоков может значительно колебаться по концентрации взвешенных веществ, эфирорастворимых примесей, показателям цветности и жесткости. Учитывая данное положение, система очистки должна обладать большими резервами для достижения необходимого качества при экстремальных значениях загрязнения стоков.

Анализ хроматограмм различных проб исследуемой воды свидетельствует о том, что в режиме кавитации 30 с, 12000 об/мин в воде не обнаруживаются растворённые нефтепродукты, а хроматограмма (рис. 6 б) представляет собой пики фона, наблюдается удаление вредных веществ из начального стока.

Активность кавитации как катализатора химических процессов зависит не только от характеристик работы кавитатора или его конструкции, но и от состояния среды, в которой возникает кавитация.



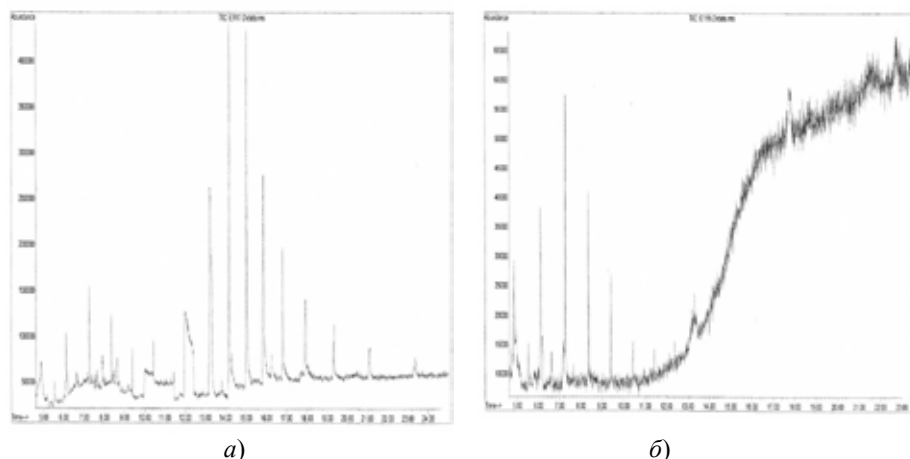


Рис. 6. Хроматограммы: *а* – обработка при скорости 9000 об/мин; *б* – 12000 об/мин

Одним из таких параметров является солевой состав среды. Присутствие таких солей, как NaCl, KSO<sub>4</sub>, CaCO<sub>3</sub>, изменяет распределение водной и органической фаз, изменяя коэффициент распределения, увеличивает интенсивность схлопывания кавитационных пузырьков, а также инициирует сильные окислительные реакции.

Влияние солевого состава водной среды на процесс очистки стока изучали проведением очистки на растворах, приготовленных на водопроводной воде с добавлением солей, включающих катионы Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, и дистиллированной воде. Кинетическая кривая, характеризующая степень очистки, представлена на рис. 7. Из графика можно сделать вывод, что при отсутствии ионов солей окисление органических соединений идёт медленнее.

Основными задачами внедрения кавитационной установки в оборотную систему водоснабжения комплекса являлись: доведение стока до норм ПДК по нефтепродуктам, удаление всех живых микроорганизмов и водорослей, возможность многократного использования воды.

Влияние pH среды определяли путем подщелачивания модельного раствора, приготовленного на водопроводной водой с нейтральным pH. Как показали эксперименты, при увеличении значений pH скорость реакций падает, кавитация также снижает свою активность. Лучшие результаты окисления достигаются в слабощелочной среде (pH 7,2-8,5). Кинетические зависимости, характеризующие степень очистки, представлены на рис. 8. В щелочной среде при кавитационной обработке идёт быстрое образование гидроксидов кремния, который, образуя коллоид, «блокирует» реакции ионизации и возбуждения молекул воды, а также диссоциации молекул H<sub>2</sub>O.

На базе оборудования лаборатории очистки природных и бытовых сточных вод СФУ была полностью воспроизведена существующая схема водоподготовки, включающая все этапы очистки. Исходя из полученных данных, предлагаем в качестве решения проблем оборотной системы водоснабжения ряд технологических и технических решений, направленных на реконструкцию уже существующей схемы очистки оборотного стока. Необходимо дополнить процесс водоподготовки ступенью на основе установки комбинированного типа, сочетающей в себе несколько методов очистки одновременно на базе кавитационной технологии [20], по-

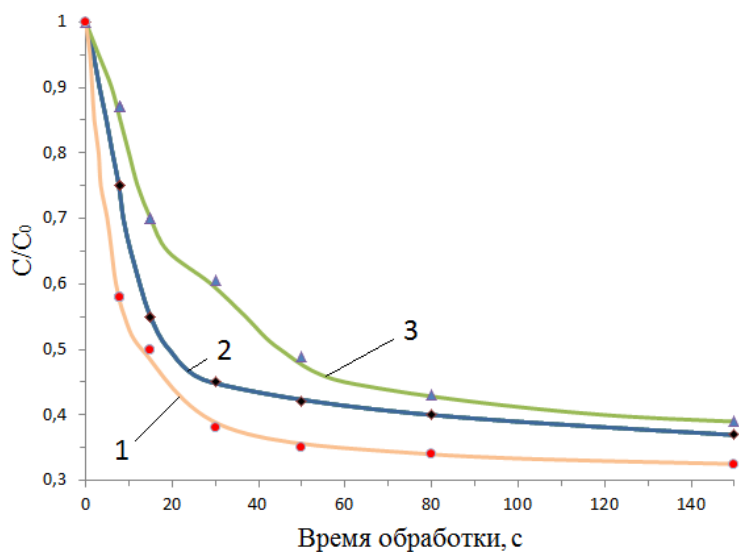


Рис. 7. Влияние соледержания на процесс очистки: 1 – с добавлением солей; 2 – на водопроводной воде; 3 – на дистиллированной воде

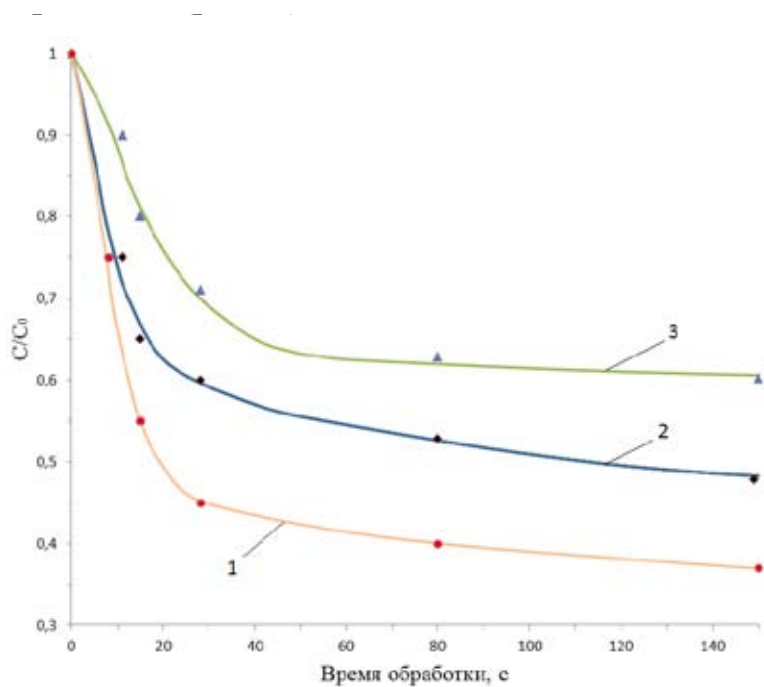


Рис. 8. Влияние pH на процесс очистки: 1 – pH = 7,2; 2 – pH = 8,5; 3 – pH = 11

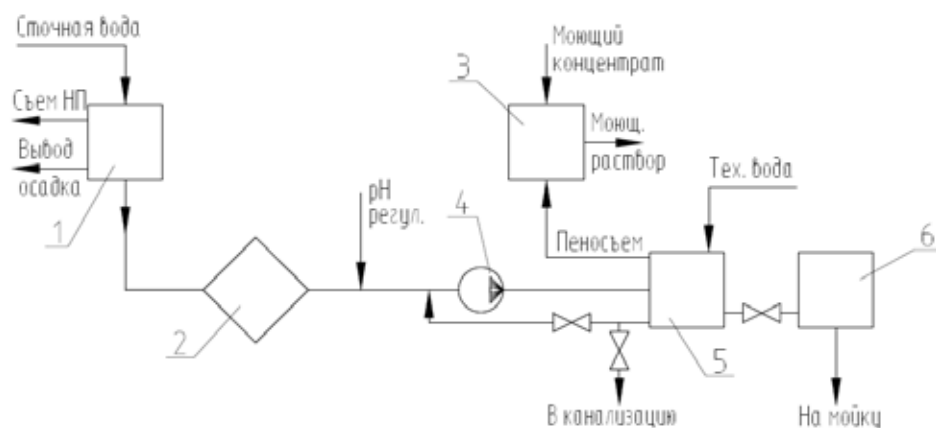


Рис. 9. Блок-схема очистки сточных вод: 1 – отстойник со встроенной песколовкой; 2 – скорый фильтр; 3 – емкость моющего концентрата; 4 – насос; 5 – емкость с кавитирующей установкой; 6 – резервуар чистой воды

звляющей решать проблемы физико-химической очистки воды и обеззараживания биологических примесей (рис. 9).

Преимущества данной системы: предлагаемая схема оборотного водоснабжения является замкнутой, следовательно, сброса в централизованную канализационную сеть города не осуществляется; рекомендуемая к применению кавитационная установка позволяет достичь 100 %-й очистки оборотной воды.

### Заключение

В экспериментальных исследованиях был получен результат 100 %-го обеззараживания с пролонгированным эффектом до 6 месяцев. На эффективность кавитационной обработки не влияет ни мутность, ни солевой состав обрабатываемой воды, ни ее цветность. При сравнении экономических затрат на обеззараживание условной единицы объема воды различными методами кавитация оказывается наиболее эффективной [11]. Рекомендуемый метод обеззараживания не только пригоден для рассматриваемой системы водопользования, но и может применяться на других объектах, имеющих схожие проблемы в системе водоподготовки.

Таким образом, установки подобного типа позволяют создать оборотную систему водоснабжения, отличающуюся эффективной системой водоочистки, что приводит к снижению эксплуатационных затрат, экологических рисков, нагрузки на городские очистные сооружения и окружающую среду, является одним из элементов реализации программ эффективного природопользования и ресурсосбережения.

### Список литературы

- [1] Экология техносферы: учеб. пособие для вузов / В. В. Гутенев, Т. А. Кулагина, О. Н. Русак и др. М.: Маджента, 2008. 468 с.
- [2] Колесников В.А., Меньшутина Н.В. Анализ, проектирование технологий и оборудования для очистки сточных вод. М.: ДеЛи принт, 2005. 266 с.

- [3] Кулагина Т.А. Теоретические основы защиты окружающей среды: учеб. пособие; 2-е изд., перераб. и доп. Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2003. 332 с.
- [4] Кульский Л.А., Строчак П.П. Технология очистки природных вод: 2-е изд., перераб. и доп. Киев: Вища шк., 1986. 352 с.
- [5] Кульский Л.А. Теоретические основы и технология кондиционирования воды: 4-е изд. перераб. и доп. Киев: Наукова думка, 1983. 528 с.
- [6] Кульский Л.А., Сиренко Л.А., Шкавро З.Н. Фитопланктон и вода. Киев: Наукова думка, 1986. 133 с.
- [7] Рябов А.К., Сиренко Л.А. Искусственная аэрация природных вод. Киев: Наукова думка, 1982. 204 с.
- [8] Тебенихин Е.Ф., Горяинов Л.А. Обработка воды для теплоэнергетических установок железнодорожного транспорта. М.: Транспорт, 1986. 160 с.
- [9] Тебенихин Е.Ф., Гусев Б.Т. Обработка воды магнитным полем в теплоэнергетике. М.: Энергия, 1970. 143 с.
- [10] Техника защиты окружающей среды / Н. С. Торочешников, А. И. Родионов, Н. В. Кельцев, В. Н. Клушин. М.: Химия, 1981. 368 с.
- [11] Евстигнеев В.В., Кулагин В.А. Кавитация в технологиях очистки сточных вод // В мире научных открытий. 2010. №5(11). С. 87-90.
- [12] Дубровская О.Г. Технология гидротермодинамической обработки природных и сточных вод с использованием эффектов кавитации: автореферат дис. ... канд. техн. наук Красноярск, 2007. 22 с.
- [13] Дубровская О.Г. Обеззараживание и кондиционирование питьевой и сточных вод // Социальные проблемы инженерной экологии, природопользования и ресурсосбережения: Материалы Всерос. НПК; ред. Б. Ф. Турутин. Красноярск: ООО «Издательский центр «Платина», 2006. Вып. XII. С. 50–59.
- [14] Васильева Н.Б. Очистка сточных вод с использованием гидродинамической кавитации: автореферат дис. ... канд. техн. наук Новосибирск, 2008. 18 с.
- [15] Ивченко В.М., Кулагин В.А., Немчин А.Ф. Кавитационная технология / ред. акад. Г. В. Логвинович. Красноярск: Изд-во КГУ, 1990. – 200 с.
- [16] Kulagin V.A., Kulagina T.A., Kulagina L.V. Nanotechnology cavitation effects in the heat-and-power engineering and other branches of production // Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies 1 (2008) 76–85.
- [17] Кулагин В.А. Суперкавитация в энергетике и гидротехнике: монография Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2000. 107 с.
- [18] Кулагин В.А., Вильченко А.П., Кулагина Т.А. Моделирование двухфазных суперкавитационных потоков: монография / ред. В. И. Быков. Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2001. 187 с.
- [19] Кулагин В.А. Суперкавитационный миксер // Гидродинамика больших скоростей. Красноярск: КрПИ, 1992. С. 134–140.
- [20] А. с. 1755906 СССР, МКИ В01F5/00. Кавитационный смеситель / В. А. Кулагин, Т. А. Кулагина, Е. П. Грищенко (СССР). № 4760709/26; заявл. 07.08.89; опубл. 23.08.92. Бюл. № 31. 4 с.

## **Conditioning of Waste Water of Energy Systems**

**Olga G. Dubrovskaya,  
Vyacheslav V. Evstigneev and Vladimir A. Kulagin,**  
*Siberian Federal University,  
79 Svobodny, Krasnoyarsk, 660041 Russia*

---

*The results of the study water treatment systems. Based on theoretical analysis and experimental studies suggested the installation of the combined type, use cavitation technology to simultaneously solve the problems of physical and chemical water treatment and disinfection of biological contaminants.*

*Keywords: water, biofouling, oil, surface-active substances nye, pollution, cavity technology.*

---