

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ ФАЗ,  
ВЗАМОДЕЙСТВУЮЩИХ ПРИ ФЛОТАЦИОННОЙ ОЧИСТКЕ  
СТОЧНЫХ ВОД**

**Серафимова Л. И.**, доцент, к.т.н., ГОУ ВПО «ДонНТУ»,

**Науменко В. Г.**, доцент, к.т.н., ГОУ ВПО «ДонНТУ»,

**Волкова А. А.**, студентка гр. ОПИ-15, ГОУ ВПО «ДонНТУ»,

**Потяко В. Р.**, студент гр. ОПИ-15, ГОУ ВПО «ДонНТУ».

E-mail: andiline.mail@gmail.com

**Аннотация.** Целью данной работы является исследование параметров движения фаз при флотационной очистке сточных вод, содержащих гидрофобные загрязнения. Для исследования использовано численное имитационное моделирование образования флотационного комплекса. Получены траектории движения воздушного пузырька и частиц загрязнения при разных углах контакта. Показана связь времени существования комплекса с величиной угла контакта. Установлено критическое значение этого угла.

**Ключевые слова:** сточные воды, очистка сточных вод, методы очистки, численное моделирование, пузырек, частица, траектория движения, угол контакта, флотационный комплекс

**Abstract.** The purpose of this work is the research of parameters of phase's movement at flotation treatment of sewage containing hydrophobic pollution. Numerical imitating simulation of flotation complex forming is used for research purpose. Trajectories of the movement of an air bubble and particles of pollution at the different angles of contact are received. Dependence of time of a complex existence with the size of contact angle is shown. Critical value of this angle is established.

**Key word:** waste water, sewage, hydrophobic pollution, numerical simulation, bubble, particle, movement trajectory, contact angle, flotation complex.

Значительные объемы недостаточно очищенных сточных вод промышленных, сельскохозяйственных и коммунальных предприятий, транспорта и других отраслей являются источниками загрязнения водоемов.

Только 1% от объема всей воды на Земле является приемлемым в качестве питьевого ресурса. Тем ответственное наша задача очистить используемую человеком воду до параметров, являющихся допустимыми для сброса стоков в водоемы. Длительное отсутствие работающих промышленных предприятий привело к значительным изменениям концентраций ингредиентов в сточных водах.



Рисунок 1 - Загрязнение водоемов

Например, уменьшилось содержание анионных поверхностно-активных соединений в связи с закрытием прачечных комбинатов, резко сократилось количество нефтепродуктов, так как прекращали работу автотранспортные предприятия, и если в 90-е годы на территории очистных сооружений экскаваторами рыли ямы для складирования приплывшего нефтеносного

загрязнения, то на сегодняшний день пробы на нефтепродукты на последней стадии очистки намного ниже значений предела допустимых сбросов.

При этом увеличился процент супермаркетов, осязаемое загрязнение сточных вод которых выявляется за счет отделов для садово-огородных работ с продажей земли и растений, высаженных в горшки. Растения пересаживаются, горшки отмываются от земли, соответственно увеличивается количество перегнивающих остатков земли в сточных водах.

Вырос процент работающих ресторанов, что увеличивает количество биохимического потребления кислорода, кислородного эквивалента степени загрязненности сточной воды органическими веществами. Тяжелые металлы попадают в канализацию со стоками машиностроительных, электротехнических, приборостроительных, химических промпредприятий.

Велико содержание хлоридов в сточных водах города из-за хлорирования питьевой воды во избежание инфекций и в водах пищевых предприятий, а также в промывных водах котельных после отопительного сезона. В связи с этим проблематично использование очищенных сточных вод для полива, так как при норме ПДС  $300\text{мг/дм}^3$  содержание хлоридов в стоках предприятий может достигать  $4000 - 5000\text{мг/дм}^3$ . Тяжелые металлы попадают в канализацию со стоками машиностроительных, электротехнических, приборостроительных, химических промпредприятий. Из-за закрытия большого количества промпредприятий в течение тридцати лет резко снизилось содержание в сточных водах тяжелых металлов. Содержание железа на сбросе с очистных сооружений остается в пределах  $0,01 - 0,13\text{мг/дм}^3$ , что связано с регулярным отключением подачи питьевой воды в некоторых районах города. Трубы при такой эксплуатации ржавеют, что и является основным источником железа в сточных водах.

В Постановлении Правительства РФ от 29.07.2013г. №644 «Об утверждении Правил холодного водоснабжения и водоотведения и о внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации» по сравнению с допустимыми концентрациями загрязняющих веществ,

действующими на Украине, заметно увеличилось значение предельно допустимых концентраций по сумме азота органического и азота аммонийного – 64,35 мг/дм<sup>3</sup>, что на Украине составляло 9,40 мг/дм<sup>3</sup>. В результате доля предприятий, нарушающих нормы сброса сточных вод, заметно снизилась по сравнению с 2015 г.

Загрязнения воды водохранилищ Донецкого региона состоят из гидрофобных и гидрофильных органических и минеральных коллоидных частиц, а также нерастворимых и недиссоциированных форм гумусовых веществ, детергентов бактерий. Грязные промывные воды после обработки воды из водохранилищ содержат не только хлорорганические соединения, но и остаточный алюминий. В воде из водохранилищ обнаруживают яйца токсокарид и энтерококки, что свидетельствует о ее загрязнении

Сточные воды представляют собой сложные гетерогенные системы, содержащие загрязняющие вещества, которые находятся в растворенном, коллоидном и нерастворенном состоянии. К таким объектам чаще применяют физико-химические методы очистки, одним из которых является флотация.

Этот метод используется для извлечения из жидкости ионов тяжелых металлов, диспергированных и коллоидных включений и основан на способности гидрофобных частиц прилипать к газовым пузырькам.

При этом образуются флотационные комплексы, агрегаты «частица-пузырьки газа», которые всплывают во флотаторе, вынося различные виды загрязнений в пенный слой на его поверхности. Но при любом виде флотации в основе процесса лежит элементарный акт флотации – столкновение частицы с пузырьком и образование (или его отсутствие) флотационного комплекса. За счет выноса с пузырьками происходит удаление загрязнений из объема очищаемой воды. Одним из современных способов изучения различных сложных взаимодействий является численное имитационное моделирование с помощью метода дискретных элементов

При решении задачи в применении к флотации рассматривалось взаимодействие всплывающего вверх пузырька со взвешенной в жидкости

частицей при разных углах столкновения. Текущее положение частицы (показано пунктиром) при ее перемещении по поверхности пузырька определяется углом.

Анимационные фрагменты и цифровые данные свидетельствуют о том, что флотационный комплекс образуется, и гидрофобная частица загрязнения находится на поверхности воздушного пузырька определенное время. Но при увеличении угла встречи это время все больше снижается.

Время существования флотокомплекса резко снижается при углах встречи более  $38^\circ$ . Этот свидетельствует о том, что угол встречи  $\Phi_0 = 38^\circ$  является критическим с точки зрения существования флотационного комплекса. При этом характер взаимодействия элементов изменяется, что связано с возникновением других значений равнодействующей силы, вызывающей разрушение флотационного комплекса.

**Выводы.** Таким образом, в результате имитационных исследований установлена связь между углом столкновения взвешенной в жидкости гидрофобной частицы с всплывающим вверх в камере флотатора воздушным пузырьком и возможностью формирования комплекса «гидрофобная частица-воздушный пузырек», а также временем существования образовавшегося флотационного комплекса.

### **Литература:**

1. Ксенофонтов, Б.С. Доочистка жиросодержащих сточных вод мыловаренных производств флотацией / Б.С. Ксенофонтов [и др.] // Экология и промышленность России. – 2014. - №10. – С. 4-7.

2. Хромышева, Е.А. Флотационное извлечение ионов тяжелых металлов из гальванических стоков / Е.А. Хромышева, А.Э. Жигирь, Л.Г. Попова // Биол. вестн. Мелитопольского гос. пед. ун-та. - 2009. - №1. - С. 123-129.

3. Физико-химические основы теории флотации. – Москва: Наука, 1993. – 264с.

4. Назимко, Е.И. Применение флотации при очистке сточных вод / Е.И. Назимко, Г.В. Чудаева // Научные механизмы решения проблем инновационного развития. Сб. ст. Междунар. науч.-практ. конф. Уфа. - 2016. - С. 254-259.

5. Nazimko, L.I. Kinetics of Phases Interaction during Mineral Processing Simulation / L.I. Nazimko [et al] // Proceedings of XV Int. Congr. of CP. – China, Vol. 2. – P. 785-798.

6. Назимко, Е.И. Численные методы моделирования в приложении к экологическим проблемам / Е.И. Назимко [и др.] // Мат. Междунар. научн. конф. «Окружающая среда и человек» памяти чл.-кор. РАН Д.Г. Матишова – Р-н-Д. - 5-8 сент 2016. - С. 305-307.

7. Cundall, P.A. A discrete numerical model for granular assemblies / P. A. Cundall, O. D. L. Strack // Geotechnique. - Vol. 29. - Issue 1. – P. 47–65.

8. Гарковенко, Е.Е. Особенности флотации и обезвоживания тонкодисперсных углесодержащих материалов / Е.Е. Гарковенко [и др.] // Донецк: Норд-Пресс, 2002. – 266с.

9. Nazimko, Ye.I. Simulation of coal separation and dehydration processes / Ye.I. Nazimko [et al] // Proceedings of XVII Int. Congr. of CP. – Turkey. – P. 495-501.

10. Nazimko, L. Modelowanie elementarnego aktu flotacji / L. Nazimko, A. Nad, N. Zviagintseva// Inżynieria Mineralna – Journal of the Polish Min. Eng. Society. – Rocznik XIV. - №1(31). - P. 43-48.