

УДК 622.7

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФЛОТАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФЕНОМЕНОЛОГИЧЕСКОГО ПОДХОДА

**Серафимова Л. И.**, доцент каф. ОПИ ГОУВПО «ДОННТУ», к.т.н., доцент,

**Науменко В. Г.**, доцент каф. ОПИ ГОУВПО «ДОННТУ», к.т.н.,

**Кузнецов В. А.**, студент группы ОПИ-16, ГОУВПО «ДОННТУ»,

**Дороговозов К. Ю.**, студент группы ОПИ-16, ГОУВПО «ДОННТУ».

эл. адрес: serafimova.mila@mail.ru

**Аннотация:** Одним из методов исследований является феноменологический подход при исследовании процессов очистки сочных вод от загрязнений. Феноменология по своему смыслу означает совокупность знаний о взаимосвязях между различными явлениями и наиболее часто используется в естествознании, в частности в физике. Ясно, что во всех технологических процессах происходят физические процессы или химические взаимодействия, которые описываются средствами математики.

**Ключевые слова:** методы, процессы, флотация, моделирование, феноменология.

**Annotation:** The purpose of this work is to study the flotation process using a phenomenological approach. The process of flotation extraction of pollution from wastewater is divided into stages. The formation of the bubble-particle flotation complex is decisive. The forces acting at each stage are determined. Revealed the most significant forces.

**Keywords:** Flotation, wastewater, phenomenological an approach, stages, formation, dehydration, core forces, pollution.

В современной науке используются самые разнообразные методы исследований различных процессов с использованием натуральных экспериментов, имитационного компьютерного моделирования, математического аппарата.

При значительных объёмах фактического материала исследователь сталкивается с необходимостью систематизации полученных данных, их упорядочивания для исключения ошибок в результате хаотичности данных. Правильная организация исследований предполагает выбор и обоснование их методики ещё до сбора и накопления фактического материала. В качестве исследовательских подходов наиболее часто используется комплексный подход, систематический, аналитический, применяется планирование экспериментов и другие методы в зависимости от поставленных исследователем задач и сложности изучаемого процесса. В последнее время активно развивается моделирование самых разнообразных технологических процессов – адаптационное, эвристическое, математическое. Современной методологии в экологических исследованиях, как и в любой отрасли знания, присущи поиск новых, нехарактерных для неё методов и совершенствование уже известных, которые чаще используются в другой сфере. Одним из методов исследований является феноменологический подход при исследовании процессов очистки сточных вод от загрязнений. Феноменология по своему смыслу означает совокупность знаний о взаимосвязях между различными явлениями и наиболее часто используется в естествознании, в частности в физике. Ясно, что во всех технологических процессах происходят физические процессы или химические взаимодействия, которые описываются средствами математики. Феноменологический подход подразумевает разбиение технологического процесса на несколько элементарных подпроцессов (актов), которые происходят в пространстве и времени последовательно или параллельно. С помощью такого подхода можно создать схему (феноменологическую модель), показывающую последовательность всех элементарных процессов, происходящих в данной технологии или отдельно взятом аппарате. На рисунке показана феноменологическая схема процесса флотационного улавливания загрязнений при очистке сточных вод.

В свою очередь каждый из указанных процессов можно разбить на подпроцессы с целью оптимизации их исследования и определения рациональных режимов. С позиций повышения эффективности улавливания загрязнений фло-

тационным физико-химическим способом наибольший интерес представляет взаимодействие частиц загрязнений и воздушных пузырьков с образованием флотационных комплексов, который разбивается на следующие этапы (рис. 2). Поведение частиц при флотации определяется суммарным эффектом, возникающим от адсорбции воды с образованием гидратных слоёв и адсорбции реагентов поверхностью и их взаимного влияния друг на друга. Взаимодействие поверхности с водой и реагентами зависит от вида и количества ненасыщенных связей на поверхности частиц. Гидратные слои образуются как у границы раздела воды с твёрдой фазой, так и с газообразной или жидкой фазами. Взаимодействие воды и находящихся в ней ионов с частицами загрязнений изменяет не только их поверхностный состав, но и электрическое состояние поверхности. На ней могут адсорбироваться из раствора ионы определённого знака, в результате чего образуется двойной электрический слой (ДЭС).

В пульпе флотатора образование ДЭС осложняется ещё и присутствием различных ионов с разными зарядами и размерами в зависимости от состава загрязнений, наличием ионов солей в воде и ионами реагентов.

Существует несколько гипотез об этапах прилипания, которые разбивают при феноменологическом исследовании сложный процесс образования флотационного комплекса в виде пузырька воздуха с закрепившейся на нем частицей (частицами) загрязнений.

1. Сближение частицы и пузырька до расстояния, на котором начинают интенсивно действовать поверхностные силы, проявляющиеся межфазовых границах. Сближение фаз определяется направлением их движения в гравитационном поле. Чем больше количество воздушных пузырьков и частиц в единице объёма и чем больше размер пузырька, тем больше число столкновений этих фаз. При этом принимается, что частицы не отклоняются потоками пульпы, обтекающими пузырьки. Водная прослойка между пузырьком и частицей состоит из ориентированного гидратного слоя, смачивающего частицу, и объёмной фазы. Началом сближения считают момент, когда поток пульпы, несущий частицу, начинает изменять направление движения, огибая пузырёк. Крае-

вой угол, определяющий прочность прилипания, при этом ещё не образуется. Конец этапа сближения и переход к закреплению частицы на пузырьке определяется моментом, когда поверхностные силы начинают играть заметную роль. Вероятность соприкосновения частицы и пузырька определяется соотношением их размеров, массой частицы, скоростью и направлением движения, турбулентным движением пульпы, формой пузырька и её изменениями (вибрациями), формой частиц. Учесть все эти параметры довольно сложно. Обычно рассматривают два варианта встречи пузырька и частицы - ударом и скольжением. Считается, что более крупные частицы сталкиваются ударом, тонкие частицы с малой массой сносятся потоком и скользят вдоль пузырька. Имеет место и промежуточная форма встречи частиц и пузырька - удар и последующее скольжение вместе с обтекающим пузырёк потоком.

2. Закрепление (прилипание) частицы происходит в результате утончения промежуточной водной прослойки между частицей и пузырьком до толщины, обеспечивающей первоначальное слипание частицы и пузырька. После достижения этой толщины гидратный слой скачкообразно прорывается полностью или до меньшей толщины. При этом, чем гидрофобнее поверхность частицы, тем быстрее происходит прилипание к ней пузырька газа.

Исследованиями установлено, что под прилипшим к твёрдой поверхности пузырьком воздуха остаётся остаточный гидратный слой толщиной от 3 до  $400\text{Å}$ . Он расположен по всей площади основания пузырька и не препятствует прилипанию, что объясняется особым состоянием молекул воды в нем. Устойчивость тонких водных слоёв и связанная с ней скорость их утончения до критической толщины имеет определяющее значение. Этот этап заканчивается образованием трёхфазного периметра смачивания и минимального краевого угла, необходимого для первоначального закрепления, что обеспечивается действием сил, среди которых поверхностные оказывают наибольшее влияние.

Прилипание в условиях флотационного процесса может быть только кратковременным. При этом между частицей, тонким гидратным слоем и пузырьком воздуха действуют следующие основные силы.

1. На этапе прилипания основная роль принадлежит поверхностным силам, но продолжают действовать механические силы, вызывающие сближение фаз. К ним примыкают силы капиллярного давления, возникающие в связи с деформацией воздушного пузырька.

2. Имеют место дальнедействующие силы притяжения Ван-дер-Ваальса (дисперсионные), зависящие от расстояния между частицей и пузырьком и не зависящие от заряженности их поверхности.

3. При перекрытии двойных ионных слоёв частицы и пузырька проявляются силы электрического взаимодействия. Радиус действия этих сил зависит от толщины диффузной части ДЭС, от потенциала поверхностей и расстояния между контактирующими фазами.

4. Возникают силы, определяющие сопротивление утончению (выдавливанию) смачивающего частицу гидратного слоя, которое прямо пропорционально связано с расстоянием между сближающимися фазами. Эти силы зависят от взаимодействия дипольных молекул воды с ионами или атомами поверхностного слоя частицы и друг с другом (силы Ван-дер-Ваальса), а также от энергии смачивания. При достижении краевым углом величины, достаточной для уравнивания сил отрыва твёрдой частицы, завершается закрепление и начинается третий этап – упрочнение прилипания.

3. Упрочнение прилипания связано с дальнейшим утончением промежуточной водной прослойки и ростом краевого угла. Это обеспечивает удержание частицы на воздушном пузырьке при действии отрывающих сил.

Упрочнение прилипания происходит в том случае, когда скорость роста сил притяжения больше возможных скачков сил отрыва. При движении комплекса пузырёк-частица в турбулентно движущейся пульпе пульсационные ускорения и удары встречных частиц создают дополнительные силы отрыва. Поэтому достаточная прочность прилипания является необходимым условием сохранения флотационного комплекса.

Исследования показали, что величина краевого угла тем больше, чем тоньше остаточная водная плёнка между пузырьком газа и твёрдой частицей.

Это привело к гипотезе о дальнейшем утончении остаточного гидратного слоя после его первоначального прорыва и закрепления пузырька.

Принятое деление является условным, так как имеет место непрерывность перехода от одного этапа к другому. В основу такого деления положено различие преобладающих на отдельных этапах действующих сил.

Каждый из этапов может быть разбит в свою очередь на ещё более мелкие стадии, различающиеся по интенсивности действия сил.

На этапе сближения преобладают механические и гидродинамические силы. На этапе закрепления продолжают действовать механические силы.

При этом вступают в действие силы притяжения Ван-дер-Ваальса и силы электростатического взаимодействия диффузных частей ДЭС у твёрдой и газовой поверхностей. Действуют и силы, обуславливающие смачивание частицы. На этапе упрочнения действуют те же силы, что и на этапе закрепления. Происходит постепенное удаление молекул воды из остаточного гидратного слоя. Устойчивое сохранение комплекса частица-пузырёк соответствует минимуму потенциальной энергии этой термодинамической системы.

### **Вывод:**

Таким образом, с помощью феноменологического подхода проведено исследование процесса флотационной очистки сточных вод от загрязнений в виде тонкодисперсных твёрдых частиц. Условное разделение процесса образования флотационного комплекса на более тонкие подпроцессы позволяет выделить основные действующие силы и параметры, определяющие процесс. Это даёт возможность выявить направления оптимизации каждого этапа, что в целом способствует повышению эффективности флотации.

### **Список литературы**

1. Степин В.С. Теоретическое знание. Структура, историческая эволюция / В.С. Степин. – М., 2000.
2. Каргин В. Р. Методология научных исследований. [Электронный ресурс]: / URL: [http://www.ssau.ru/files/education/metod\\_1/](http://www.ssau.ru/files/education/metod_1/) Кар-

гин%20В.Р.%20Методология%20научных.%20.pdf (дата обращения 28.06.2017).

3. Завьялова М. П. Методы научного исследования: Учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2007. – 160 с.

4. Математическое моделирование процессов обогащения полезных ископаемых: Монография / Под общ. ред. проф. Павлыш В.Н. - Донецк: «ВИК», 2014. – 463 с.

5. Назимко Е.И. Численные методы моделирования в приложении к экологическим проблемам / Е.И. Назимко, А.Н. Корчевский, Г.В. Чудаева, Малько С.В. // Мат. Междунар. научн. конф. «Окружающая среда и человек» памяти чл.-кор. РАН Д.Г. Матишова – Ростов-на-Дону. - 5-8 сент. 2016, С. 305-307.

6. 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.

7. Физико-химические основы теории флотации. –М.: Наука, 1993. –264 с.

УДК 622.7.01

## **ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ И ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПРИ ОСВОЕНИИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ**

**Науменко В. Г.**, доцент каф. ОПИ ГОУВПО «ДОННТУ», к.т.н.,

**Медведев Д. А.**, студент группы Шск-16 ГОУВПО «ДОННТУ».

эл. адрес: [andiline.mail@gmail.com](mailto:andiline.mail@gmail.com)

**Аннотация.** Проведен анализ схем экологической и промышленной безопасности при освоении месторождений полезных ископаемых.

**Ключевые слова:** экология, экологическая безопасность, промышленная безопасность, окружающая среда.