

## **АНАЛИЗ ИССЛЕДОВАНИЙ ИНДУКЦИОННОГО ПЕРИОДА ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ФЛОТАЦИОННОГО КОМПЛЕКСА**

**Татарина А. В.**, студентка гр. ОПИ-13, ГОУ ВПО «ДонНТУ».

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

В настоящее время наименее исследован индукционный период. Общеизвестно, что имеется определенный промежуток времени, именуемый индукционным периодом между моментом столкновения пузырька с частицей и моментом прилипания. Однако трудно указать точный момент столкновения: начинается ли он при расстоянии между пузырьком и частицей равном 1 мм или 1 м для преодоления этой трудности имеется два пути: можно избрать некоторое произвольное расстояние, как начало столкновения или определить индукционный период в величинах некоторой гипотетической или упрощенной модели явления.

Для относительно длительных индукционных периодов эта неопределенность момента времени не имеет существенного значения. Действительно, можно получить много сведений о длительных индукционных периодах наблюдением погруженных пузырьков и подготовленных минеральных поверхностей. Для этой цели используется без всяких изменений аппарат для измерения краевых углов.

Перед тем как произойдет прилипание пузырька и частицы, должна быть удалена разделяющая их пленка жидкости, и это требует конечного времени. В этом смысле всегда имеется конечный индукционный период, даже в тех случаях, когда поверхность полностью обработана собирателем и максимально гидрофобизирована. Для поверхности парафина в чистой воде этот индукционный период очень мал. Однако Уорк показал. Что в присутствии растворенного бромистого гексадецилтриметиламмония индукционный период возрастает по мере увеличения концентрации и, наконец, становится бесконечно большим. Действительно, в концентрированном растворе

длинноцепочечного электролита пузырёк воздуха не прилипает ни к одной поверхности. По-видимому, причиной этого является существование на границе вода – воздух определенной неподвижной пленки реагента наряду с обычной жидкой пленкой. В согласии с этим объяснением установлено, что индукционный период зависит от возраста пузырька, соответственно медленному достижению минимума поверхностного натяжения, т.е. максимальной адсорбции в случае соединений с длинными углеводородными цепями. Более подвижные пленки обычных пенообразователей не вызывают подобных трудностей. Напротив, Дзенизиевич и Прайор нашли, что сосновое масло уменьшает индукционный период для системы галенит – ксантогенат.

Хассиалис и Миерс на основании исследования подвижности ионов собирателя на минеральной поверхности, пришли к выводу, что ионы стремятся двигаться к тем участкам поверхности, которые отделены от пузырька воздуха пленкой воды. По их теории пузырек воздуха вызывает движение ионов на близлежащей к нему минеральной поверхности и когда она становится достаточно гидрофобной, разделяющая их пленка жидкости разрывается. Таким образом, индукционный период согласно этой теории соответствует времени накопления плотного ксантогенатного покрытия в том месте поверхности, где пленка воды имеет наименьшую толщину.

Таггарт и Хассиалис показали, что в разбавленных растворах этилового ксантогената краевой угол на галените изменяется в зависимости от времени в течение которого пузырек был прижат к галениту (табл. 1). Эти результаты указывают на медленность распространения пузырька по поверхности галенита.

Имеется много доказательств того, что для вторичного прилипания воздушного пузырька к минеральной поверхности требуется меньший индукционный период, чем для прилипания в первый раз. Галимонд отметил, что аэрированный или однажды сфлотированный минерал флотируется быстрее, чем свежесвеженный.

Таблица 1 – Зависимость краевого угла смачивания на галените от времени

№ опыта	Время соприкосновения	Краевой угол
1	<20 мин. 20 мин.	0° Слабое прилипание
2	30 мин. 20 мин.	30° Слабое прилипание
3	30 мин. 1 час 30 мин.	45° - 50° 25° 52°

Робель изучал влияние высокого гидростатического давления на флотацию галенита в растворе ксантогената. Известно, что при высоком гидростатическом давлении растворяются и взвешенные в жидкости пузырьки и воздух адсорбированный поверхностями твердых тел. Поэтому неудивительно, что при обработке высоким давлением Робель наблюдал плохую флотацию. Следует отметить, что удаление воздуха с гидрофобных поверхностей обработкой давлением или другим методом оказалось весьма трудным.

Свел-Нильсон впервые предпринявший изучение индукционного периода, предложил метод оценки относительно коротких индукционных периодов. В этом методе можно было вызывать колебания пузырька (находящегося в держателе) относительно погруженной минеральной поверхности с различной и измеримой частотой. При высоких частотах колебаний пленка воды, отделяющая пузырек от поверхности, не успевала достаточно утоньшиться и разорваться, но при колебаниях низкой частоты эта пленка удалялась, и происходило прилипание. Свел-Нильсон принимал, что индукционный период был меньше или равнялся периоду колебания той частоты, при которой впервые обнаруживалось прилипание. Обычно индукционный период, определенный этим методом для минерала, подготовленного к флотации, был в пределах от 0,01 до 0,1 с. Можно было получить индукционные периоды величиной в несколько минут, но они соответствовали плохой флотиремости.

Свен-Нильсон нашел, что величина индукционного периода, определяемая его методом, зависела от концентрации присутствующих в растворе подавителей. Имелась зависимость и от размера пузырька – индукционный период возрастал в десять раз при увеличении диаметра пузырька в пять раз. Степень деформации пузырька во время прижимания к поверхности не имела значения.

Можно предполагать, что последние наблюдения были характерны не столько для природы явления, сколько для метода измерения.

Применяя исходную методику, но используя вместо плоской поверхности слой частиц, М.А. Эйнгеле обнаружил для загрязненных (омасленных) частиц флюорита, барита и кальцита большие различия в величинах индукционного периода – от 0,04. до 1800 с. При этом наблюдалась некоторая зависимость от размера частиц, но сомнительно, чтобы она сохранилась для очень коротких индукционных периодов. Введение растворимого собирателя олеата натрия уменьшало индукционный период до величины около 0,01 секунды.

Для изучения коротких индукционных периодов О.С. Богданов и М.И. Филановский и позднее Спедден и Ханнанпровели киносъемки столкновения и слипания пузырьков и частиц. Эти исследования выяснили порядок величины видимого времени соприкосновения между сталкивающимися пузырьками и частицами. Если они прилипают друг к другу, то можно сказать, что индукционный период не может превышать видимого времени соприкосновения, которое, согласно этим исследованиям, варьирует от одной тысячной до нескольких сотых секунды.

А.Н. Фрумкин и А. Городецкая использовали для изучения прилипания другую методику, состоявшую в том, что пузырек водорода прижимали к поверхности ртути, предварительно очищенной использованием её в качестве катода. К такой поверхности пузырек прилипал, но если ей сообщали электроположительный заряд, прилипания не происходило. При изменении электрического потенциала поверхности индукционный период возрастал при увеличении размера пузырька. Толщина пленки между пузырьком и ртутью

определялась по интерференционным полосам, образующимся при отражении света от верхней и нижней поверхности жидкой пленки.

Исследователи пришли к заключению, что на некоторой стадии утоньшения пленка разрывается, образуя новую пленку толщиной в несколько молекул с большим числом капель на ней. Отсюда не следует что и в тех случаях, когда вода свободно стекает с гидрофобной поверхности, должна образовываться такая же пятнистая структура (капли на пленке).

Выводы А.Н. Фрумкина были основаны главным образом на работе Б. Дерягина и М. Кусакова. Перед рассмотрением их работы необходимо отметить, что индукционный период состоит из трех различных стадий. Первая стадия – уменьшение толщины слоя жидкости между минералом и пузырьком. Вторая стадия – разрыв пленки в какой-нибудь точке и третья стадия – распространение воздуха по остальной поверхности (или удаление воды с нее). Можно предполагать, что неровности поверхности облегчают вторую стадию, но шероховатость поверхности, вызывающая заметный гистерезис, увеличивает время распространения. Б. Дерягин и М. Кусаков изучали уменьшение толщины слоя жидкости между пузырьком воздуха и гидрофильной поверхностью. По мере утоньшения возникали различия в толщине жидкой пленки. Эльтон продолжил эти наблюдения, тщательно изучая приближение пузырька к чистой поверхности кремнезема. Эванс проверил наблюдения Эльтона и изучил утоньшение пленки над гидрофобной поверхностью.

Пленка, удержанная между пузырьком и поверхностью, сначала рвется на тонком внешнем кольце, и части жидкости центральной линзы, не успевшая вытечь через кольцевую щель на периферии, разрывается на капли. Этот процесс разрушения сходен с разрывом мыльной пленки в воздухе; распространение разрыва происходит наиболее быстро по наиболее тонким участкам пленки.

Из результатов этих авторов можно сделать вывод, что в различных точках поверхности наблюдается различная величина индукционного периода: она сильно зависит от небольших неправильностей контура смачивания, от

степени загрязнения или реакций на поверхности, от наличия адсорбированного воздуха или прилипших мелких пузырьков и вероятно, от многих других факторов. Эти различия не удалось устранить полностью, их можно было лишь уменьшить. Поэтому неудивительно, что частицы во флотационной пульпе ведут себя по-разному. Пока не удалось получить убедительные доказательства значения индукционного периода при формировании флотационного комплекса.