

1/70. 09.

Г. П. Славнин

Экземпляр
чит. зала

**ИЗУЧЕНИЕ ФЛОТАЦИИ
МИНЕРАЛЬНЫХ ЧАСТИЦ
МЕТОДОМ СКОРОСТНОЙ
КИНОСЪЕМКИ**

44-90

ГОСГОРТЕХИЗДАТ — 1960

Г. П. СЛАВНИН

НА ДОМ НЕ СДАЕТСЯ

Экземпляр

кит. экз.

ИЗУЧЕНИЕ ФЛОТАЦИИ МИНЕРАЛЬНЫХ ЧАСТИЦ МЕТОДОМ СКОРОСТНОЙ КИНОСЪЕМКИ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
ЛИТЕРАТУРЫ ПО ГОРНОМУ ДЕЛУ
Москва 1960

ГОС ПУБЛИЧНАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ
БИБЛИОТЕКА СССР

381 $\frac{6}{60}$

11

14332

АННОТАЦИЯ

В брошюре изложены основные положения флотационного процесса, принципы скоростной киносъемки для изучения явлений, протекающих при флотации полезных ископаемых.

Брошюра предназначена для читателей, работающих в угольной и горнорудной промышленности, а также для студентов горных вузов и учащихся горных техникумов.

119
~~60-2~~
C470

ВВЕДЕНИЕ

Решения XXI съезда КПСС определили дальнейшее широкое развитие и совершенствование процессов обогащения полезных ископаемых.

Из существующих методов обогащения полезных ископаемых наибольшее значение имеет флотация.

Флотацией называется метод обогащения относительно мелких минеральных частиц, основанный на различии в смачиваемости их поверхности водой. Все минералы условно можно разделить на хорошо смачиваемые водой — гидрофильные и плохо смачиваемые водой — гидрофобные.

Разные минералы имеют различную степень смачиваемости. При смачивании происходит вытеснение воздуха с твердой минеральной поверхности водой. В случае прилипания воздушного пузырька имеет место вытеснение воды воздухом с твердой поверхности.

Во флотационной машине, заполненной пульпой, т. е. смесью воды с частицами измельченной руды, при энергичном перемешивании пульпы образуется огромное количество пузырьков воздуха. Частицы одних минералов плохо смачиваются водой, но хорошо прилипают к пузырькам воздуха и выносятся ими на поверхность пульпы, образуя слой минерализованной пены. Частицы других минералов хорошо смачиваются водой, не прилипают к воздушным пузырькам и остаются в пульпе, или выпадают на дно камеры машины.

Работами И. С. Громеки, М. Г. Гурвича и других были заложены основы теории смачиваемости. П. А. Ребиндер обосновал понятие об избирательном смачивании, как количественном показателе гидрофильности и гидрофобности поверхностей минеральных частиц.

Степень смачиваемости минеральных частиц обуславливается их составом и структурой и зависит от того, как связаны атомы твердого тела между собой. Если атомы связаны друг с другом всеми силами, которыми они обладают, то на поверхности минеральной частицы не остается свободных сил, которые могли бы притягивать молекулы воды, и такая поверхность

имеет неполярный характер и плохо смачивается водой, т. е. гидрофобна. Наоборот, если имеются избыточные междоатомные силы на поверхности минеральной частицы, то происходит активное притяжение молекул воды и такая поверхность носит полярный характер, хорошо смачивается водой, т. е. гидрофильна. Таким образом, как только в воде появляется минеральная частица, вокруг нее мгновенно происходит активное группирование молекул воды и образование более или менее устойчивой гидратной оболочки.

Образование связи иона или молекулы минерала с молекулами воды называется гидратацией. Последняя зависит от полярности молекул поверхностного слоя минерала.

Гидратация отдельных участков минеральной поверхности связана с микроструктурой поверхности, характером распределения на ней реагентов и т. д.

Основным актом флотации является соединение пузырьков воздуха с минеральной частицей. Согласно представлениям Б. В. Дерягина, А. Н. Фрумкина и др., при приближении пузырька воздуха к твердой минеральной поверхности разделяющая их устойчивая оболочка воды начинает противодействовать дальнейшему сближению пузырька и частицы. Это сопротивление прилипанию пузырька к частице тем значительнее, чем гидрофильнее поверхность частицы, т. е. чем прочнее происходит присоединение молекул воды к поверхности твердого тела. Поэтому, в случае гидрофильной поверхности частицы, пузырек не может приблизиться настолько, чтобы вытолкнуть воду и прилипнуть к поверхности минеральной частицы. Если же воздушный пузырек приближается к гидрофобной поверхности, то молекулы воды сравнительно легко раздвигаются и воздушный пузырек прилипает к минеральной частице.

Заслуживает внимания явление гистерезиса смачивания, под которым понимают задержку передвижения периметра капли жидкости или пузырька воздуха по твердой поверхности.

Гистерезис зависит от микрорельефа поверхности, распределения реагентов, направления перемещения и т. д.

Изменение степени смачиваемости поверхности минеральных частиц достигается путем применения специальных флотационных реагентов.

Реагенты являются весьма важным средством, обеспечивающим флотацию не только мономинеральных частиц, но и селективную флотацию сложных руд.

Взаимодействие реагентов с минеральной поверхностью часто бывает весьма сложным и носит специальный характер для разных случаев практики.

Некоторые реагенты химически фиксируются на минеральной поверхности, другие создают тончайшие пленки, иные вступают в особого рода взаимодействия с минеральными частицами.

Флотация минеральных частиц может происходить при ув-

лечении их в пену одним пузырьком воздуха, а также при образовании сложных флотационных комплексов — аэрофлокул, состоящих из минеральных частиц и нескольких пузырьков воздуха.

При флотации относительно крупных частиц наиболее благоприятным будет захватывание их несколькими пузырьками достаточного размера.

Существенными факторами, определяющими эффективность флотации минеральных частиц, особенно крупных, являются: расход реагента-собирателя, степень аэрации, плотность пульпы, турбулентность потока и т. д.

В процессе флотации наблюдается: образование и слияние воздушных пузырьков, их вибрация, взаимодействие реагентов и газов с поверхностью минеральных частиц, падение частиц, встреча частиц с пузырьками воздуха, минерализация воздушных пузырьков, присоединение пузырьков к относительно крупным минеральным частицам с образованием аэрофлокул, отрыв пузырьков, движение флотационных комплексов — восходящее, наклонное, вращательное и по различным сложным траекториям.

Раскрытие механизма и кинетики указанных явлений представляет одно из главных направлений в изучении флотационных процессов. Современным методом такого изучения может и должна быть скоростная киносъемка и микрокиносъемка.

Скоростная киносъемка для изучения флотационных явлений была использована О. С. Богдановым, а также Следденом и Ханнаном, Сезерлендом, Филипповым, Шиу-Чуан-Сун и Циммермалом, Уилэном и Брауном и др. В последние годы автором брошюры проводилось в ИГД АН СССР изучение процессов флотации и флотогравитации крупнозернистого материала с использованием скоростной киносъемки.

1. СКОРОСТНАЯ КИНОСЪЕМКА

Для исследования быстро протекающих процессов во многих областях науки и техники в СССР и за рубежом широко применяется скоростная киносъемка, представляющая фотографирование последовательных, быстро сменяющихся фаз движущегося объекта.

Она дает возможность изучать процессы, недоступные обычному наблюдению. Скоростная киносъемка является объективным методом исследования. Однажды заснятый на кинолентку процесс может быть воспроизведен на экране любое количество раз, что обеспечивает тщательное его изучение.

Каждая отдельная фотография объекта на кинолентке называется кинокадром. Количество кинокадров в одну секунду называется частотой киносъемки.

Современная кинотехника позволяет производить киносъемку с частотой от нескольких сот до несколько тысяч и более кадров в секунду.

Киносъемка, в результате которой образуется большое количество снимков изучаемого процесса, представляет лишь первую стадию исследования, после которой производится научная обработка кинофильмов.

Обработка кинофильмов может быть различной. Иногда начинают с последовательного анализа отдельных кадров путем пропускания киноленты на руках, или на монтажном столе, или проецируя увеличенные изображения на экран при помощи кинопроектора, приспособленного для просмотра индивидуальных кадров. В процессе просмотра сравнивают предыдущие и последующие кадры, устанавливают характерные изменения в пространственном положении объекта и в его физическом состоянии и делают соответствующие выводы и обобщения. Во многих случаях проведение такого качественного анализа изучаемого процесса бывает недостаточным и тогда производят количественные измерения по отдельным кадрам фильма или непосредственно по негативу, или при проекции кадров на экран.

На основе полученных измерений изображают снятый процесс движения графически.

Определение скорости движения изучаемого объекта в Т0Т или иной момент может быть произведено путем измерения координат положения изображаемого объекта или его характерных точек на соседних кадрах и вычисления их разности. Точность определения скорости будет зависеть от точности определения промежутка времени между съемкой двух последовательных кадров.

Если данный отрезок кинофильма снят с равномерной скоростью, т. е. отдельные его кадры сняты через равные промежутки времени, то для построения графика движения изучаемого объекта (путь — по оси ординат, время — по оси абсцисс) бывает достаточным измерить путь, пройденный объектом в промежутки времени между съемкой двух соседних кадров фильма, или определить разницу в положении изображения объекта на двух смежных кадрах.

Возможно обработку кинофильма производить следующим путем. Отдельные кадры фильма проецируются последовательно (или через определенный интервал) на укрепленный лист бумаги (миллиметровки), на котором при этом отмечают последовательные положения отдельных характерных точек движущегося объекта. Затем, соединив одноименные точки получают кривые, характеризующие траекторию движения различных точек движущегося тела или объекта в целом. Для облегчения точной установки изображения на экране каждого кадра бывает полезным при киносъемке зафиксировать в поле кадра контрольные, базовые точки (реперы).

Под методом кинопроекции понимается воспроизведение на экране всего процесса в том виде, как он протекал при киносъемке.

Кинопроекция является единственным способом, при помощи которого возможно неоднократно воспроизвести на экране уже совершившийся процесс. Вместе с тем представляется возможность для более углубленного анализа значительно замедлять ход процесса. Снимая процесс, например с частотой 2400 кадров в секунду и проецируя пленку с частотой 24 кадра в секунду, наблюдаем процесс, протекающий с замедлением в 100 раз. Возможно еще более «замедлить» процесс путем, например, проецирования не с нормальной частотой — 24 кадра в секунду, а с частотой — 12 или даже 4 кадра в секунду.

Приступая к скоростной киносъемке процесса или движущегося объекта, необходимо провести значительную подготовительную работу. Прежде всего следует четко определить конкретную задачу данной киносъемки, затем решить вопрос о масштабе изображения, частоте съемки, освещении и освещенности объекта, окраске объекта, фоне и др. Масштабом изображения называют отношение размеров изображения объекта на снимке к его действительным размерам. Если интересует изучение отдельных деталей какого-либо процесса, то, как правило, киносъемку осуществ-

входят в более крупном масштабе. При изучении весьма мелких объектов следует прибегать к специальным увеличивающим устройствам или переходить к микрокиносъемке.

При проведении киносъемки необходимо добиваться наиболее отчетливого выявления тех особенностей и деталей процесса, которые представляют наибольший интерес для исследования. Полезно предварительно провести ряд пробных съемок для выбора наилучших параметров. Важным моментом киносъемки является выбор экспозиции, представляющей произведение освещенности на время.

Для получения четкого изображения и выявления максимальной выразительности формы и характера поверхности объекта большое значение имеет степень освещенности объекта во время съемки. Необходимое освещение достигается различным расположением осветительных приборов, их силой, разным фокусированием световых лучей на объекте.

Наблюдение за яркостью освещения объекта производят через матовое стекло кинокамеры и двухкратную лупу; при этом кинооператор вместе с кинокамерой накрывается плотным черным покрывалом. Для более точной наводки в непосредственной близости от объекта укрепляется какой-либо индикатор, например, вычерченный тушью на белой бумаге. При выборе освещенности объекта необходимо иметь в виду, что слабая освещенность не обеспечивает четкого изображения, не дает «проработки» деталей, а чрезмерная вызывает блики, от которых четкость изображения теряется. Окончательное определение освещенности следует установить на основе нескольких пробных съемок, во время которых возможно подобрать и частоту киносъемки. Надо иметь в виду, что выбор диафрагмы, частоты съемки и освещенности в значительной степени зависит от светочувствительности применяемой киноплёнки и выявляется в процессе пробных киносъемок.

Съемка с высокой частотой, благодаря очень малой выдержке, требует обычно значительной освещенности объекта. В отличие от силуэтных снимков, которые получаются при контурном освещении, возможна киносъемка при переднем освещении, когда получается на снимке ясное изображение всех деталей основного снимаемого объекта и окружающей среды. Иногда бывает целесообразным применение комбинированного метода освещения объекта от нескольких источников, расположенных спереди, сзади и с боков.

Для получения хорошего изображения снимаемого объекта большое значение имеет окраска объекта, фона и окружающих предметов. В ряде случаев бывает полезным осуществлять специальный подбор окраски объекта или среды для максимальной контрастности изображения.

Для киносъемки и изучения процессов, происходящих внутри действующих машин и аппаратов, устанавливают специальные окна из стекла или другого прозрачного материала. Для изуче-

ния движения потока газа или жидкости полезно применение особых индикаторов в виде легких непрозрачных частиц или красителей, благодаря которым движение потока становится отчетливо видимым.

При проведении скоростной киносъемки очень важен правильный выбор ее частоты, которая должна быть установлена конкретно, применительно к отдельным случаям исследования. Иногда частоту киносъемки подбирают с тем расчетом, чтобы в дальнейшем, при проекции фильма на экран, получить нужную степень замедления процесса, чтобы сделать доступным человеческому глазу протекание слишком быстрых (или слишком медленных) явлений. Однако стремиться к чрезмерному повышению частоты киносъемки не следует.

Многие исследуемые научные и технические вопросы для своей расшифровки требуют большого количества кадров. Если предполагается проводить количественные измерения, то киносъемку следует осуществлять с точно определенной равномерной частотой или в процессе съемки точно фиксировать время на фильме.

При осуществлении скоростной киносъемки необходимо:

- а) определить продолжительность изучаемого процесса;
- б) определить траекторию движения объекта и его частей;
- в) определить изменение скорости движения объекта и его частей;
- г) зафиксировать изменения, происходящие в окружающей среде.

Для научного анализа явлений важно фиксировать протекание их не только в пространстве, но и во времени. С этой целью необходимо организовать в процессе киносъемки точную регистрацию времени. Для этого применимы два метода: 1) фиксация отметок времени в поле кадра, например, путем съемки часов, маятника, прерывистого источника света и т. д.; 2) нанесение отметок времени на пленку вне поля кадра, например, по краю пленки вдоль перфорации. В последнем случае поле кадра полностью сохраняется, не загромождается, что гораздо удобнее.

Общий принцип нанесения отметок состоит в следующем. На равномерно движущуюся пленку вне зоны изображения одновременно со съемкой изображения прерывисто проецируется точечное изображение источника света. В результате на негативе фильма получается ряд точек или штрихов, расположение которых по отношению друг к другу или расстояние друг от друга зависит от частоты перерывов экспонирования источника света и от скорости движения ленты. Если известна точная частота экспонирования световых отметок, то, измерив в каждом отдельном случае расстояние между полученными на негативе темными точками или штрихами, можно определить скорость движения пленки, а отсюда и частоту киносъемки.

Приспособления с лампами тлеющего разряда обеспечивают большую точность и более высокую частоту отметок, чем лампы накаливания. Обычно, при скоростной киносъемке нанесение отметок времени на движущуюся пленку производится при помощи неоновой лампы, перемежающийся свет которой посредством несложной оптической системы отбрасывается на край пленки.

Неоновая лампа МН-7 при питании переменным током с частотой 50 гц дает 100 вспышек в секунду. Свет от этой лампы попадает на пленку и засвечивает ее вдоль края вне кадров съемки.

После проявления пленки отметки времени выглядят в виде полосок шириной 0,8 мм. Длина каждой отметки будет меняться в зависимости от скорости пленки, а время определится расстоянием между двумя отметками. Например: промежуток времени между двумя отметками (от начала одной до начала другой) в случае переменного тока с частотой 50 гц равен 1/100 сек. Если на этой длине пленки расположено 30 кадров, то интервал времени между соседними кадрами равен $\frac{1}{100} : 30 = \frac{1}{3000}$ сек.

Правильный выбор типа кинопленки в значительной степени определяет качество и режим киносъемки. Как известно, изображение на пленке образуется вследствие почернения зерен серебра в светочувствительном слое. Чем крупнее зерна серебра, тем более расплывчатым получается изображение, что особенно заметно при получении увеличенного изображения на экране. Качество пленки, ее пригодность для данной съемки зависят от способности ее воспроизводить мелкие детали снимаемого объекта.

Обязательными условиями являются негорючесть и свежесть пленки. Употребление пленки, усохшей более чем на 0,25%, недопустимо.

После съемки пленку следует без задержки направлять на обработку.

Реагенты для обработки пленок рекомендуются следующего состава:

Вещество	Проявитель		Фиксаж	
	негативная пленка	позитивная пленка	негативная пленка	позитивная пленка
Метол, г	8,0	2,0	—	—
Сульфит натрия безводный, г . .	125,0	25,0	3,0	—
Сода безводная, г	5,75	—	—	—
Бромистый калий, г	2,5	2,5	—	—
Вода холодная, г	1000,0	10000,0	1000,0	1000,0
Гидрохинон, г	—	6,0	—	—
Сода кальцинированная, г	—	30,0	—	—
Гипосульфит, г	—	—	240,0	250,0
Уксусная кислота (ледяная), см ³ . .	—	—	5,0	—
Квасцы калиевые, г	—	—	6,0	—

Обработка негативной пленки производится в полной темноте.

Перед печатанием глянцевитую сторону пленки, полезно протереть фланелью, смоченной в спирте.

Продолжительность проявления — 15—20 мин.

Для проведения скоростной киносъемки и анализа ее материалов необходимо соответствующее оборудование. Обычно используется камера СКС-1 отечественного производства для съемки на 16-миллиметровую пленку.

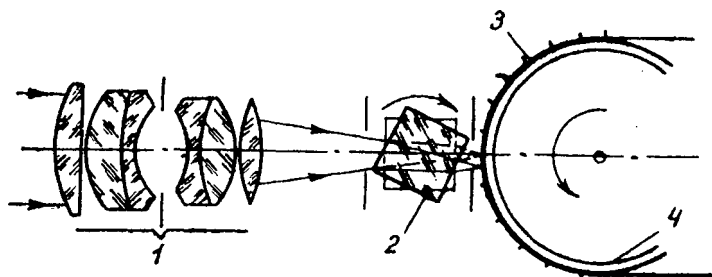


Рис. 1. Оптическая схема скоростной кинокамеры с четырехгранной компенсационной призмой:

1 — объектив; 2 — призма; 3 — пленка; 4 — барабан

Скоростные камеры СКС-1 выпускаются заводом в двух вариантах: с частотой 150—4000 и 300—8000 кадров в секунду. Эти камеры конструктивно отличаются узлами компенсационной призмы (рис. 1). В первом варианте имеется четырехгранная призма, во втором — восьмигранная. При вращении призмы изображение, образованное объективом в плоскости пленки, движется со скоростью движения пленки. По ширине позитивной пленки, полученной при съемке этими камерами, первая названа 16-миллиметровой, вторая — 8-миллиметровой.

Основные данные, характеризующие скоростные кинокамеры, следующие:

1. Скорость работы камеры 150—4000 кадров в секунду в 16-миллиметровой камере, 300—8000 кадров в секунду — в 8-миллиметровой камере.

2. Кинопленка — стандартная в 16-миллиметровой камере и специальная в 8-миллиметровой камере.

3. Размер кадра 7,5×10,4 мм в 16-миллиметровой камере, 3,75×5,1 в 8-миллиметровой камере.

4. Емкость бобины — 30 м пленки.

5. Продолжительность транспортирования пленки — 1½ — 25 сек.

6. Объектив типа «Гелиос», $\Phi = 50$, светосила 1 : 2.

7. Экспозиции при максимальной скорости:

20 000 сек. при 4000 кадр/сек.;

50 000 сек. при 8000 кадр/сек.

8. Оптический видоискатель — увеличение 10,1, поле зрения 10,4×7,5 мм.

9. Электродвигатели — универсальные. Напряжение 30—127 в при переменном токе; 10—120 в при постоянном токе. Мощность на валу 184 вт. Число оборотов в минуту 12000 при полной нагрузке.

10. Неоновая лампа — типа МН-7. Напряжение 127 в. Переменный ток с частотой 50 гц с дополнительным сопротивлением 1500 ом.

11. Габарит аппарата с подставкой: длина 382 мм, ширина 280 мм, высота 354 мм.

Скоростная киносъемочная камера (рис. 2) состоит из двух основных частей: 1) корпуса, на котором смонтированы: подающий шпиндель, придерживающий ролик, лентопротяжной барабан, компенсационная призма, кадровое окно, съемщик пленки, направляющий ролик, фильмоградитель, принимающий шпиндель, объектив, приводной двигатель, двигатель намотки, штепсель для проводки тока, выключатель и отметчик времени; 2) дверцы, на которой смонтированы видоискатель и диск.

Подающий шпиндель несет на себе бобину с неэкспонированной негативной пленкой. Придерживающий ролик направляет пленку от подающей бобины на лентопротяжной барабан, который протягивает пленку мимо кадрового окна. Лентопротяжной барабан приводится в движение непосредственно двигателем. С лентопротяжного барабана пленка попадает на направляющий ролик, который выравнивает и удерживает на данном участке пленку в одной плоскости и направляет ее в окно фильмоградителя на принимающий шпиндель. Выравнивание и удержание планки в одной плоскости необходимо для нормальной работы отметчика времени.

Фильмоградитель крепится к корпусу на байонете, что делает его легкоъемным. Конструкция узлов фильмоградителя и направляющего ролика устраняет рубление пленки после ее прохождения через пленкопротяжной механизм.

Принимающий шпиндель несет принимающую бобину, на которую наматывается экспонированная пленка. Принимающий шпиндель приводится в действие вторым электродвигателем. Компенсационная призма перемещает изображение со скоростью, равной скорости пленки. Она представляет собой призму из оптического стекла, заключенную в специальную оправу. Отверстия оправы расположены против каждой из сторон призмы. Скорость вращения призмы согласована со скоростью вращения лентопротяжного барабана.

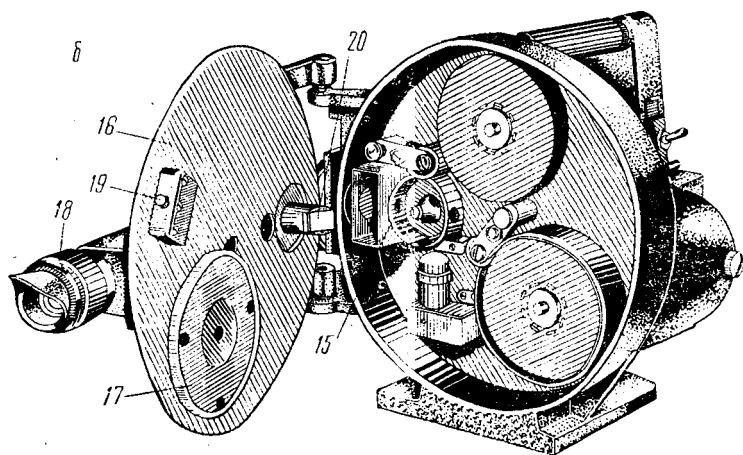
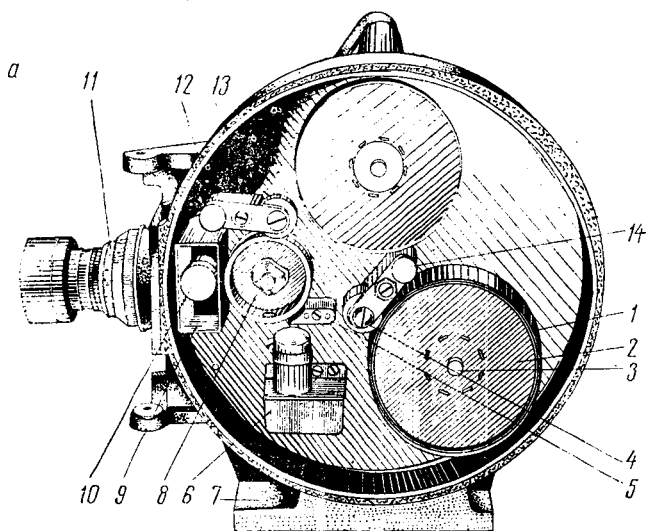


Рис 2. Общий вид скоростной кинокамеры:

а — без дверцы; *б* — с дверцей;

1 — фильмоградитель; 2 — бобина; 3 — принимающий шпиндель; 4 — направляющий ролик; 5 — пленкосниматель; 6 — отметчик времени; 7 — корпус камеры; 8 — барабан; 9 — диафрагма; 10 — оправка компенсационной призмы; 11 — объектив; 12 — замок придерживающего ролика; 13 — придерживающий ролик; 14 — замок направляющего ролика; 15 — смотровое окно в барабане; 16 — дверца; 17 — диск; 18 — оптический видоискатель; 19 — замок; 20 — призма оптического видоискателя.

Оптический видоискатель позволяет рассматривать визуально изображение предмета, даваемое объективом камеры в плоскости пленки.

Призма оптического видоискателя, крепящаяся на дверце, на ходится внутри лентопротяжного барабана позади пленки (при закрытом положении дверцы), оптический видоискатель снабжен светозаслонкой, которая открыта, когда рукоятка ее расположена параллельно дверце.

При работе с камерой СКС-1 следует иметь в виду, что первые 12—15 м пленки идут «на разгон» с возрастающей скоростью до стабилизации движения электродвигателя. Поэтому при 30-метровой пленке желательно, чтобы изучаемый процесс был снят на последних 15 метрах.

Необходимая скорость съемки достигается изменением напряжения при помощи автотрансформатора ЛАТР-1 при переменном токе, или при помощи реостата при постоянном токе. В процессе съемки нужно стремиться к равномерному движению пленки. Во всех случаях показание вольтметра должно проверяться непосредственно перед съемкой.

Перед съемкой камера должна быть закреплена на штативе, подставке или другой опоре достаточно надежно для предотвращения вибраций или смещений.

Перед работой камеру необходимо осмотреть и вычистить, особенно тщательно следует освидетельствовать объектив.

Одно из четырех отверстий лентопротяжного барабана следует установить в одну линию с парой поверхностей компенсационной призмы, перпендикулярных оптической оси системы. Затем устанавливается дверка, открываются диафрагма объектива и светозаслонка.

Наводка на резкость изображения производится визуально фокусировкой объектива камеры. Необходимо убедиться в том, что поле зрения полностью охватывает снимаемую площадь, и что эта площадь по величине достаточна для всего пути, который должен пройти снимаемый объект при своем движении.

Окончательная наводка на резкость, проверка поля действия объекта путем реперирования процесса и установка света должны быть сделаны до зарядки камеры. Желательно произвести генеральную репетицию с действием объекта, освещением, работой камеры без пленки.

При зарядке камеры необходимо принять меры от попадания света и придерживаться следующей последовательности операций: 1) закрыть светозаслонку; 2) задиафрагмировать объектив (если это необходимо); 3) открыть дверцу камеры; 4) отвести от барабана и от фильмооградителя придерживающий и направляющий ролики; 5) надеть бобину с пленкой на подающий шпиндель; 6) убедиться, что пленка сходит с бобины в сторону лентопротяжного барабана; 7) вытянуть примерно 0,5 м пленки с подающей бобины для зарядки камеры, завести пленку под придержи-

вающий ролик и на левую сторону лентопротяжного барабана эмульсионной стороной наружу; 8) убедиться, что пленка прилегает вплотную к окружности барабана, затем поставить придерживающий ролик в рабочее положение; 9) снять со шпинделя принимающую бобину и вставить конец пленки в щель. При этом эмульсионная сторона должна прилегать к сердечнику бобины.

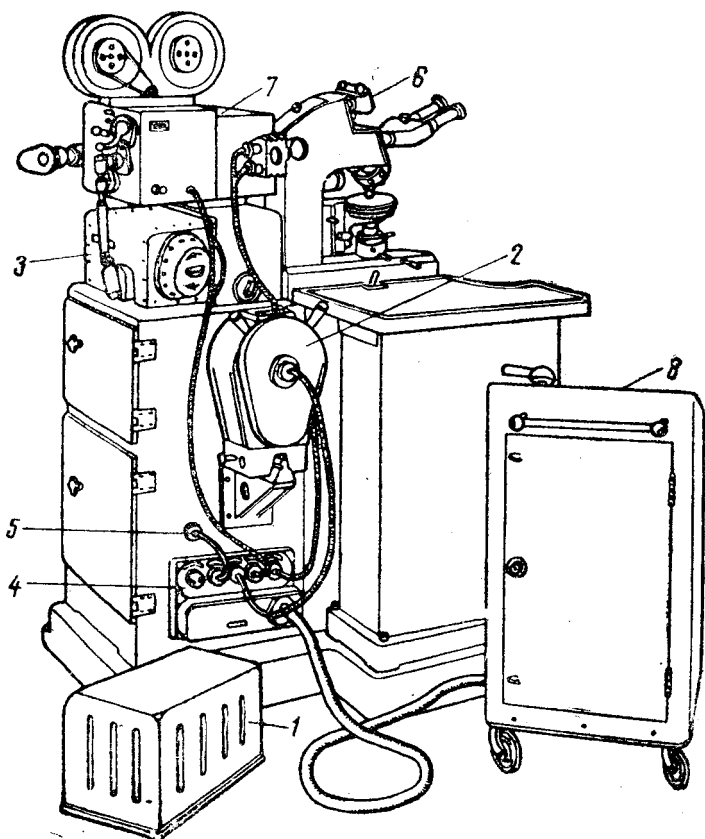


Рис. 3. Микрокиноустановка МКУ-1:

1 — стабилизатор напряжения; 2 — осветитель лампы накаливания; 3 — механизм масштаба времени; 4 — токораспределительная коробка; 5 — розетка заслонки осветителя; 6 — микроскоп; 7 — киносъемочная камера; 8 — пульт управления

Затем надеть бобину на принимающий шпиндель; 10) закрыть дверцу; 11) убедиться, что силовой провод подключен к штепселю камеры.

Камера запускается нажатием включателя и действует пока он нажат.

Разрядку камеры не следует производить на прямом свете. Микрокиноустановка МКУ-1 (рис. 3) является стационарным

прибором, предназначенным для киносъемки, визуального наблюдения и фотографирования под микроскопом различных процессов. Киносъемка производится на кинолентку шириной 35 мм (ГОСТ 4896—49). Размеры кадра 18×24 мм. Емкость кассет 120 м ленты.

На микрокиноустановке с помощью механизма времени можно производить непрерывную съемку быстро протекающих процессов с частотой до 75 кадров в секунду. Увеличение может быть получено от 25 до 950.

Микрокиносъемка требует тщательной и большой подготовительной работы. Хороших результатов микрокиносъемки можно достигнуть только при условии тщательной подготовки объекта, правильного выбора освещения, экспозиции, частоты съемки и оптики.

Порядок работы при киносъемке на установке МКУ-1 следующий: 1) настроить микроскоп и подготовить препарат к съемке; 2) зарядить кинокамеру; 3) соединить кинокамеру с механизмом масштаба времени приводным валиком и установить необходимую скорость съемки; 4) поставить рукоятку контроллера пульта в требуемое положение и начать съемку.

В качестве осветительных приборов применяется кинопржекторы КПД-15 Киевского завода КИНАП. Это дуговые прожекторы, питающиеся постоянным током от селеновых выпрямителей ВС-60А. Могут также применяться линзовые прожекторы типа КПЛ-250 (2 квт), КПЛ-350 (5 квт) и КПЛ-150 (0,5 квт), или дуговая лампа от кинопржектора СКП-26.

Для проектирования кинофильмов на экран применяют кинопржектор УП-2, устанавливаемый в затемненной комнате. Эта комната может служить одновременно лабораторией для обработки пленки.

Зарядка бобины киносъемочной камеры производится в полной темноте. Зарядка камеры бобиной производится после наводки камеры на объект съемки, так как конструкция камеры не позволяет наводить ее на объект съемки с заряженной пленкой. При зарядке и разрядке камеры следует надевать на нее специальный чехол из плотной черной материи. Для перемотки пленки служит специальное приспособление.

Заснятая пленка в темной комнате перематывается с приемной бобины на специальную рамку, которая затем поочередно опускается в сосуды с проявителем, водой, фиксажем, а затем окончательно промывается над водопроводной раковиной в проточной воде. После промывки пленка перематывается на особый барабан для сушки.

При обрыве пленки или монтаже фильма рекомендуется пользоваться клеем следующего состава: ацетон — 45 см³; уксусная кислота — 30 см³; амилацетат — 10 см³; нитропленка — 12 г; ацетатная пленка — 2 г.

2. КОНТАКТ МИНЕРАЛЬНЫХ ЧАСТИЦ С ПУЗЫРЬКАМИ ВОЗДУХА

Для присоединения минеральной частицы к воздушному пузырьку между ними необходим контакт в течение определенного промежутка времени и соответствующая подготовленность поверхности минеральной частицы.

Изучением присоединения частиц к пузырькам воздуха с помощью скоростной киносъемки занимались О. С. Богданов, Спедден и Ханнан, Сезерленд, Уилан и Браун и др.

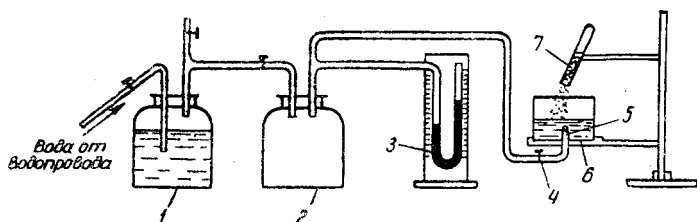


Рис. 4. Установка для образования пузырьков воздуха:

1—сосуд для подачи воздуха; 2—резервуар сжатого воздуха; 3—рутутный манометр; 4—зажим для пуска пузырьков воздуха; 5—капилляр; 6—кювета; 7—пробирка для смеси минеральных частиц с жидкостью

О. С. Богданов проводил исследования процесса минерализации воздушного пузырька. Он изучал поведение минеральных частиц при их соприкосновении с пузырьком (в условиях, близких к динамическим), скольжение частиц по пузырьку, начиная от момента соприкосновения до отрыва включительно, а также падение минеральных частиц на неподвижный и на всплывающий пузырек воздуха.

Для проведения наблюдений применялся метод ускоренной киносъемки с последующим замедленным проектированием кинофильма на экран. Причем в опытах с неподвижным пузырьком киносъемка производилась с увеличением, а в опытах с поднимающимся пузырьком — без увеличения.

Опыты осуществлялись в установке, схема которой показана на рис. 4. Использовались частицы галенита, халькопирита и кварца крупностью 0,14—0,3 мм, а также дистиллированная вода или водный раствор этилового ксантогената концентрацией 22 и 100 мг/л, а также сосновое масло в количестве 50 мг/л.

Эксперимент протекал следующим образом. Пузырек воздуха диаметром 1,5—3 мм закреплялся на капилляре 5 в плоскопараллельной кювете 6 размером 5×6×1 см, наполненной водой или водным раствором реагентов. В кювету загружались минеральные частицы с водой или реагентами, а иногда в сухом виде.

В момент приближения частичек к неподвижному пузырьку воздуха производилась ускоренная киносъемка с частотой 150—600 кадров в секунду и с линейным увеличением в 2—4 раза; при освещении на просвет. При съемке применялся киноаппарат

«Лука времени» фирмы Цейс-Икон. Заснятая пленка проецировалась на экран размером $1,8 \times 2$ м с частотой 16 кадров в секунду. Таким образом, имелась возможность изучать процесс минерализации и закрепления частиц на пузырьке с большим замедлением и при увеличении до 300 раз.

Наблюдения, проведенные при скоростной киносъемке, дали возможность сделать следующие выводы.

1. Минеральные частицы, попадая на пузырек воздуха, скользят по нему, начиная закрепляться в нижней части сферы. Последующие частицы при скольжении доходят до частиц, успевших уже закрепиться, и останавливаются; часть частиц при этом отрывается.

Таким образом, для последующих частиц ранее закрепленные частицы служат препятствием для дальнейшего продвижения, что облегчает им закрепление. В опытах со свинцовым блеском и халькопиритом в водном растворе реагентов этот процесс продолжается до тех пор, пока вся поверхность пузырьков не покроется сплошной коркой из минеральных частиц. В чистой воде полной минерализации не наблюдается.

В опытах с кварцем только единичные зерна закрепляются в нижней части пузырька.

2. В опытах с галенитом в водном растворе реагентов были замечены случаи закрепления частиц при скольжении по пузырьку в верхней его части в условиях, когда эти частицы не имели под собой опоры из других частиц.

3. Время, необходимое для закрепления скользящих частиц в среде водного раствора этилового ксантогената измеряется несколькими сотыми долями секунды для частиц галенита крупностью 0,25 мм, халькопирита крупностью 0,15 мм и кварца крупностью 0,13 мм при диаметре пузырька 1,5—2 мм.

В тех случаях, когда частицы минерала не закреплялись на воздушном пузырьке, отрыв, как правило, происходил в нижней части пузырька.

Процесс отрыва при скольжении частиц зависит от их формы и положения центра тяжести.

4. Неподвижный пузырек воздуха, сильно нагруженный частицами, деформируется (сплющивается) вследствие неодинакового давления сверху и снизу на оболочку пузырька.

Наблюдения над процессом минерализации поднимающегося пузырька воздуха проводились на той же установке, что и в опытах с неподвижным пузырьком, но кювета была заменена более высокой, размером $40 \times 0,6$ см. Опыты проводились с сухими частицами галенита крупностью 0,14—0,3 мм в водном растворе ксантогената (100 мг/л) и соснового масла (50 мг/л).

Опыты проводились следующим образом.

При открывании зажима 4 (рис. 4) через каждые 0,3—0,6 сек. поднимались пузырьки воздуха со скоростью примерно

16 см/сек. Навстречу движущимся пузырькам падали частицы минерала, и в момент их встречи производилась съемка в натуральную величину со скоростью 400—500 кадров в секунду (увеличения не производилось, так как при этом поле съемки соответственно уменьшается и становится весьма трудным уловить момент встречи пузырька воздуха с минеральной частицей при пребывании пузырька в поле съемки 0,1—0,15 сек.). Пленка проецировалась на экран с частотой 16 кадров в секунду.

По материалам киносъемки можно сделать следующие выводы:

1. Не нагруженный частицами пузырек воздуха при движении принимает эллиптическую форму.

2. Мало и неравномерно нагруженный пузырек поворачивается на некоторый угол.

3. Минерализация поднимающегося пузырька происходит таким же образом как и неподвижного. Но в данном случае условия для минерализации пузырька менее благоприятны, в особенности для частиц с малой силой прилипания, так как относительная скорость движения частичек по отношению к пузырьку больше.

4. Скорость подъема пузырьков зависит от степени их минерализации; в случае, когда нагрузка пузырьков частицами превышает подъемную силу пузырьков, последние опускаются вниз, при этом условия их минерализации изменяются.

Киносъемка показала, что частицы при соприкосновении с воздушным пузырьком начинают скользить по нему, причем одни частицы закрепляются на оболочке пузырька, другие под влиянием действующих сил отрываются от пузырька. На основании экспериментальных данных по киносъемке (рис. 5), можно получить определенные зависимости, например, между значениями углов φ , проходимых частицей, и временем. Для этого (при проецировании на экран) можно замерять величины углов $(\varphi_0 + \varphi)$, где φ_0 — начальный угол, отсчитываемый сверху от вертикали до точки попадания частицы на поверхность пузырька, и φ — угол, проходимый частицей при ее скольжении от момента времени, равного нулю, до данного момента t .

Характер движения частиц по воздушному пузырьку относительно мало отличается от равномерного. Установлено, что скорость скольжения частиц непрерывно растет со временем, хотя это увеличение убывает, т. е. ускорение со временем уменьшается, приближаясь к нулевому значению.

Данными наблюдениями не подтвердилось предположение некоторых исследователей о том, что частицы флотируемых ми-

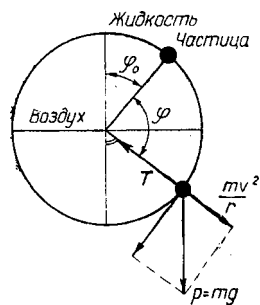


Рис. 5. Схема скольжения частицы на поверхности пузырька

нералов имеют меньшую скорость скольжения по пузырьку, чем депрессируемых минералов и минералов пустой породы. Общеизвестно, что подавители оказывают существенное влияние на ход флотации, поэтому явление скольжения не может служить основным показателем флотационного акта минерализации пузырька воздуха. М. А. Эйгелес установил, что вероятность прилипания при скольжении тем больше, чем меньше время контакта, необходимое для разрушения гидратной прослойки.

Зная величину средней скорости, возможно определить силу отрыва скользящей минеральной частицы от воздушного пузырька.

В момент отрыва частицы от пузырька сила отрыва T равна алгебраической сумме центробежной силы и составляющей силы тяжести $P = mg$, нормальной к перемещению

$$T = \frac{\Delta d^3}{r} \cdot v^2 + (\Delta - 1)d^3 \cdot g \cos(\varphi_0 + \varphi),$$

где Δ — удельный вес минеральной частицы, $г/см^3$;

r — радиус пузырька, $см$;

d — диаметр частицы, $см$;

v — линейная скорость скольжения частицы, $см/сек$;

g — ускорение силы тяжести, $см/сек^2$.

Проводя, по данным наблюдений, соответствующие расчеты для частиц галенита, халькопирита и кварца, падающих в чистой воде и в растворах ксантогената, исследователи пришли к выводу, что:

1. Сила отрыва в воде для данного минерала меньше, чем в растворе ксантогената.

2. Сила отрыва для одинаковых по размеру частиц меняется с флотируемостью, т. е. чем лучше флотируемость минерала, тем большая требуется сила отрыва.

Например, для отрыва частиц галенита размером 0,16—0,17 $мм$ сила отрыва в воде составила — 0,042 $дин$, а в растворе ксантогената — 0,054 $дин$, для отрыва частицы кварца в воде потребовалась сила 0,004 $дин$.

Следует заметить, что в действительности продолжительность контакта частицы с пузырьком определяется не столько продолжительностью скольжения частицы по пузырьку, сколько продолжительностью соударения и величиной нормальной составляющей силы удара.

Время соударения можно рассчитать, рассматривая столкновение пузырька и частицы как удар двух упругих тел. Такие расчеты были сделаны Филипповым на основе материалов, полученных при скоростной киносъемке. Близко к этому направлению находились и выводы Эванса.

Филиппов наблюдал и фиксировал (при помощи скоростной киносъемки при частоте 1000 кадров в секунду) падение гидрофильных цилиндриков определенного веса с определенной высо-

ты на пузырьки воздуха. По фотографиям можно было определить продолжительность соударения и отталкивания от пузырька после удара. Было установлено, что для тонких частиц условия прилипания хуже; продолжительность соударения очень мала, необходимо большее значение динамических краевых углов, чем для более крупных частиц. Кинетическая энергия мелких частиц при ударе очень мала, и она недостаточна для прорыва устойчивой водной пленки.

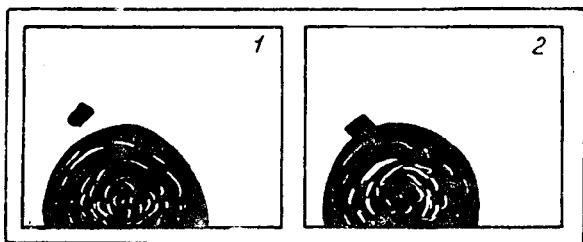


Рис. 6. Встреча частицы галенита с поднимающимся пузырьком:

1 — до контакта; 2 — после контакта

Спедден и Ханнан изучали контакт пузырька и минеральной частицы при их встрече, применяя скоростную кино съемку на 16-миллиметровой пленке с частотой до 3000 кадров в секунду. Киносъемка проводилась через микроскоп с увеличением в 16 раз. Восходящий поток пузырьков образовывался в специальной кювете посредством капиллярной трубочки. Диаметр пузырька воздуха был около 2 мм. Частицы галенита крупностью 0,15—0,3 мм находились до начала опыта в растворе этилового ксантогената калия при концентрации 25 мг/л. Раствор в кювете также содержал 25 мг/л ксантогената. Частицы галенита вводились в кювету в виде пульпы, добавляемой ниже поверхности жидкости.

Таким образом восходящий поток пузырьков воздуха встречался и смешивался с падающими частицами галенита, причем неизбежно возникали многочисленные контакты, которые фиксировались при помощи скоростной кино съемки. На рис. 6 показана частица галенита крупностью около 0,3 мм до и после контакта с поднимающимся пузырьком воздуха размером 2 мм. Спедден и Ханнан также наблюдали сильную вибрацию (колебание) пузырька после выхода его из капиллярной трубки (рис. 7). Частота колебаний достигала 1000 в секунду.

Колебания пузырьков оказывают влияние на контакт их с минеральными частицами. При этом некоторые частицы отталкиваются пузырьком, другие, наоборот, втягиваются поверхностью пузырька (рис. 8). Наблюдались ламинарные потоки вокруг пузырьков, которые мешали мелким частицам контактировать

с пузырьками и в конечном счете — их флотации. Было отчетливо видно, как пузырьки воздуха, поднимающиеся в пульпе, подхватывают минеральную частицу, обработанную соответствующим реагентом. Проведенные наблюдения показали, что чем больше объем всасываемого воздуха во флотационной камере, тем больший эффект флотации может быть достигнут.

Сезерленд, Линтон и Лугтон проводили наблюдения по контакту минеральных частиц с пузырьками воздуха, используя скоростную киносъемку с частотой до 2000 кадров в секунду.

На рис. 9 и 10 представлены кадры, показывающие столкновение между неподвижным пузырьком и падающими частицами галенита и всплывание воздушных пузырьков с частицами галенита.

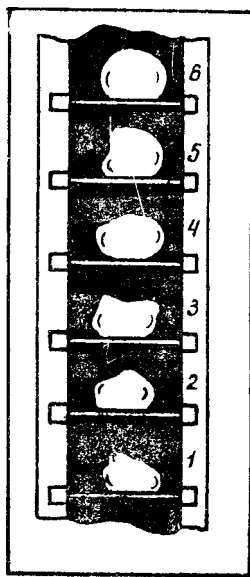


Рис. 7. Колебания пузырьков, зафиксированные скоростной киносъемкой



Рис. 8. Захватывание и отбрасывание частицы при колебании пузырька

Шиу-Чуан-Сун и Циммерман путем применения скоростной киносъемки изучали механизм пенной флотации относительно

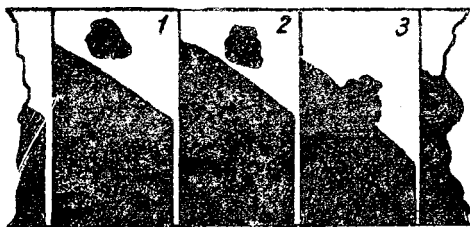


Рис. 9. Столкновение между неподвижным пузырьком и падающими частицами галенита

крупных частиц угля и минералов. Они установили необходимость значительного количества пузырьков воздуха для образования и всплывания устойчивых флотационных комплексов.

Скоростная киносъемка была осуществлена по методике, подобной описанной Спедденом и Ханнаном, но с отсутствием микроскопа и использованием камеры Истмен Д-П, обеспечивающей получение 1080 кадров в секунду.

На рис. 11 представлены части киноплёнок *a* и *б*. Анализ кадров показывает, что инерция движения частиц галенита крупностью $2,4 \times 1,7$ мм в растворе калиевого этилового ксантогената

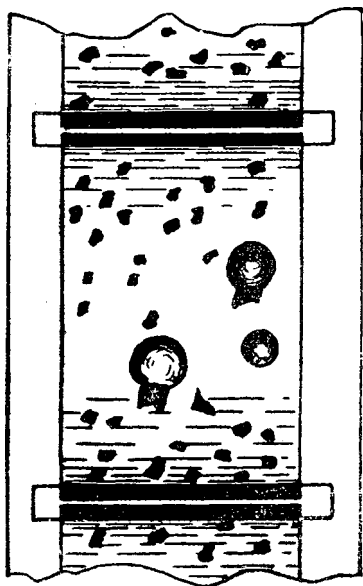


Рис. 10. Всплывающие воздушные пузырьки с частицами галенита

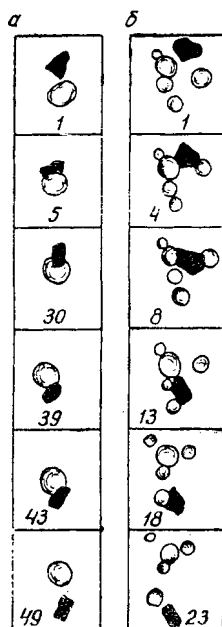


Рис. 11. Столкновение между поднимающимися воздушными пузырьками и падающими частицами галенита

(20 мг/л) вероятно больше, чем связывающая сила одного или двух приставших пузырьков, так как присоединение было нарушено за долю секунды. Соединение частицы с пузырьком образуется при уменьшении размера частиц галенита до $0,15 \times 0,1$ мм и при увеличении в то же время размера пузырьков, проходящих в аналогичном растворе.

Шиу-Чуан-Сун и Циммерман считают, что:

1) подъем очень крупных частиц с удовлетворительной скоростью для успешной флотации требует присоединения более чем одного воздушного пузырька к поверхности частицы;

2) присоединение многих воздушных пузырьков к крупной частице требует надлежащей скорости аэрации, чтобы обеспечить густую сеть из нескольких слоев близко расположенных воздушных пузырьков по пути движения частицы, и достаточной агитации для поддержания частицы во взвешенном состоянии:

3) сильная турбулентность пульпы, обычно являющаяся результатом чрезмерной скорости перемешивания или сильной агитации, или того и другого вместе, действует отрицательно на появление многих пузырьков на крупной частице.

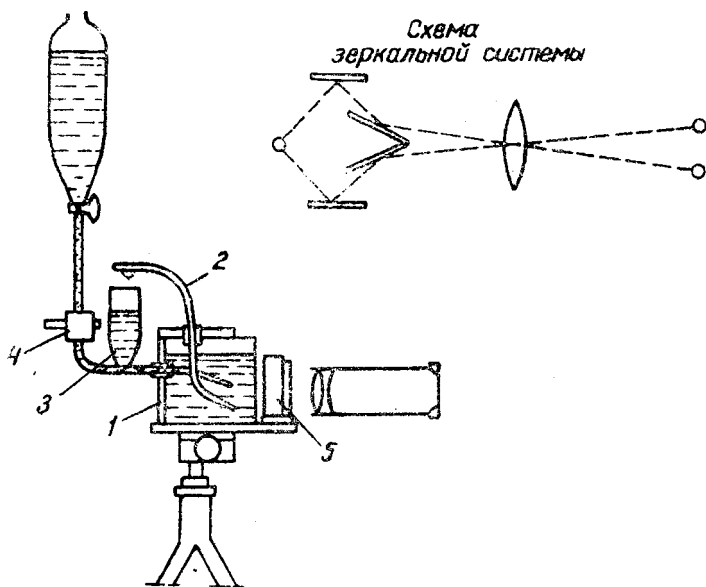


Рис. 12. Расположение аппаратуры при киносъемке:
1 — кювета; 2 — капиллярная трубка; 3 — инжектор; 4 — вращающийся вентиль; 5 — зеркальная система

Уилэн и Браун изучали присоединение минеральных частиц к пузырькам воздуха с помощью скоростной киносъемки. Была применена скоростная кинокамера Истмен-Кодак со 102-миллиметровыми линзами. Частота киносъемки колебалась в пределах 500—2500 кадров в секунду. Особое расположение системы зеркал давало возможность фотографировать события с двух взаимно-перпендикулярных направлений и получать на одной и той же 16-миллиметровой ленте два изображения, позволяющие определять и вычислять взаимное положение частиц и пузырьков в любое время. Общее расположение аппаратуры показано на рис. 12. Основной частью является кювета 1 из оптического стекла объемом 6 см³, снабженная капиллярной трубкой 2, при помощи которой образуются пузырьки воздуха в растворе, находящемся в кювете. При помощи инжектора 3 водная суспензия

минерального порошка подается навстречу поднимающимся пузырькам. Частицы устремляются в кювету вместе с потоком воды, регулируемым вращающимся от электродвигателя вентилем 4. Четыре оптические стеклянные пластинки с алюминиевой поверхностью смонтированы на основной площадке оптической кюветы, которая в свою очередь опирается на металлическую подставку и может изменять свое положение в вертикальном и горизонтальном направлениях.

Зеркальная система 5 дает возможность фотографировать пузырьки и частицы при увеличении 1:1 на 16-миллиметровой пленке с двух направлений под прямым углом.

Изучали присоединение к пузырькам воздуха частиц галенита, пирита и каменного угля.

Кусочки галенита или пирита измельчали в агатовой ступке с раствором этилового ксантогената (25 мг на 1 л дистиллированной воды). Путем мокрого просеивания получали материал крупностью 0,21—0,25 мм, который сохранялся под раствором ксантогената в течение 24 час., после чего использовался при опытах также в растворе ксантогената той же концентрации.

Кусочки угля измельчали до крупности 0,21—0,25 мм и сохраняли в течение 24—48 час. в дистиллированной воде. При проведении некоторых опытов с углем применяли флотационные реагенты.

Параллельно определяли физические свойства минералов: удельный вес, объем, а также скорость падения единичных зерен и агрегатов зерен, краевые углы смачивания в растворах флотационных реагентов и т. д.

Процесс присоединения минеральных частиц к всплывающим пузырькам воздуха показан на двойных кадрах фильма скоростной киносъемки (рис. 13).

Исследователи пришли к выводу, что продолжительность контакта частицы и пузырька согласуется с расчетными данными Филиппова.

На рис. 14 показаны траектории минеральных частиц, падающих на поверхность неподвижного пузырька. Точки на линиях траекторий соответствуют интервалам в 0,5 миллисекунды. Исследование указанных траекторий дает возможность определять местонахождение точки контакта.

Время контакта определено для угля 0,4—0,8, пирита — 0,4—1,5, галенита 0,8—1,5 миллисекунды при крупности частиц 0,21—0,25 мм и диаметре пузырьков около 1,4 мм.

При ударе происходит потеря энергии и нормальная скорость движения частицы относительно поверхности пузырька за время контакта уменьшается; после отрыва частицы от пузырька для галенита, пирита и угля, конечная скорость составляет около половины начальной скорости.

Тангенциальная скорость остается сперва постоянной, а за-

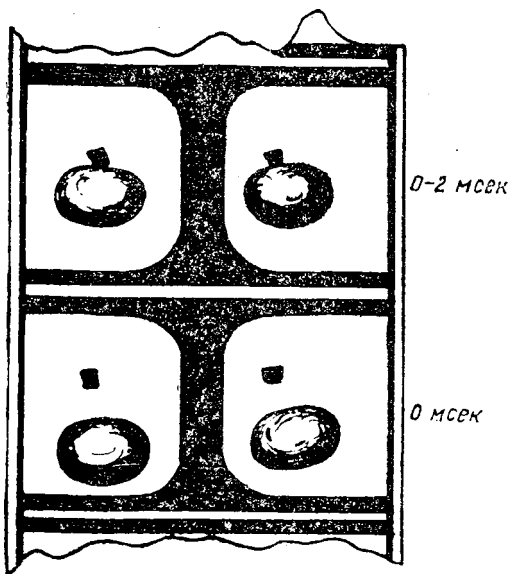


Рис. 13. Кадры скоростной киносъемки, показывающие присоединение минеральных частиц к всплывающим пузырькам воздуха

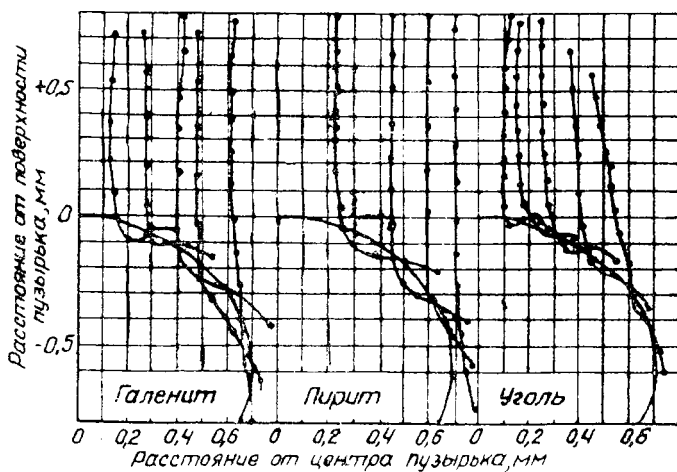


Рис. 14. Траектории минеральных частиц, падающих на поверхность пузырька

тем по мере удаления точки контакта от вертикальной оси возрастает.

Вертикальная составляющая зависит от массы частиц. При тангенциальной скорости, равной нулю, процент прилипших частиц одинакового объема прямо пропорционален их удельному весу.

Процент прикрепления частиц минерала уменьшается с увеличением тангенциальной скорости, которая пропорциональна массе частиц и тем больше, чем дальше от вертикальной оси находится точка удара — точка встречи частицы с пузырьком.

На рис. 15 показан график зависимости количества присоединений от положения точки контакта. Количество присоединений частиц к пузырьку воздуха уменьшается по мере удаления точки контакта от вертикальной оси пузырька, от центра пузырька.

Установлено, что на поверхности пузырьков удерживается 11% высокосортного угля, 26% пирита, 49% галенита и до 60% обработанного реагентом среднесортного угля.

Сделан вывод о том, что закрепление является функцией удельного веса частиц одного и того же объема и одной и той же степени гидрофобности.

Большое значение имеет степень гидрофобности поверхности частиц. Например, неомасленный уголь почти не прилипал, в то время как омасленный уголь закреплялся на пузырьке даже при большой тангенциальной скорости.

3. ФЛОТАЦИЯ ОТНОСИТЕЛЬНО КРУПНЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ ЧАСТИЦ

В ИГД АН СССР автором изучались методом кино съемки механизм и кинетика некоторых явлений, связанных преимущественно с флотацией относительно крупных минеральных частиц.

Флотационные явления наблюдались в прозрачной плоскопараллельной кювете и в стеклянной лабораторной флотационной машине.

Для съемки использовалась скоростная кинокамера СКС-1 и 16-миллиметровая киноплёнка. Частота кино съемки находилась

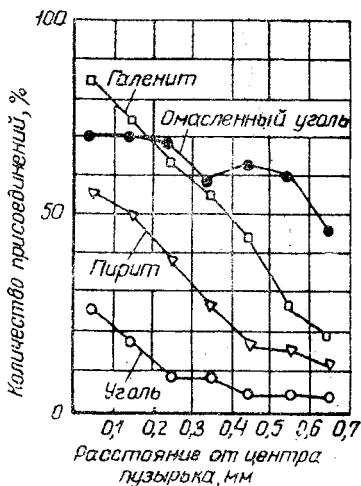


Рис. 15. Зависимость количества присоединений минеральных частиц к пузырьку воздуха от расстояния точки контакта до центра пузырька

в пределах 500—3500 кадров в секунду. Диафрагма устанавливалась в пределах 3,5—6, чаще 4,5—5,6. При работе главным образом применялся метод съемки на просвет (теневой) с сильной боковой подсветкой осветителями направленного света.

В зависимости от напряжения лампы на негативе получают гамму тонов от черного до белого.

Для выявления рельефа кристаллов и получения эффекта объема применялось сильное боковое освещение лампами направленного света мощностью до 3 кВт (прожекторами).

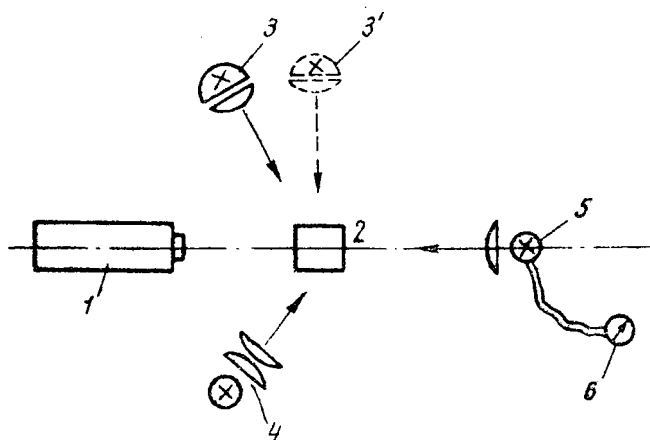


Рис. 16. Схема расположения аппаратуры при киносъемке:
1 — киноаппарат; 2 — кювета или флотационная машина; 3 — прожектор 3000 вт; 4 — точечный источник света 500 вт или прожектор 3000 вт; 5 — лампа 500 вт; 6 — латр

В случае необходимости концентрировать световой поток до точки, создавая максимальную яркость, применялась лампа точечного света с передвижным конденсатором.

Обычно при скоростной киносъемке используется схема (рис. 16), которая может быть изменена или упрощена при удалении тех или иных источников света.

Нами изучались с помощью скоростной киносъемки следующие явления: образование и слияние воздушных пузырьков, перемещение трехфазного периметра смачивания, деформация и вибрация пузырьков, присоединение пузырьков к минеральным частицам, отрыв пузырьков от частиц, избирательное присоединение пузырьков к минеральным частицам; образование, изменение и разрушение флотационных комплексов — аэрофлокул, движение флотационных комплексов в восходящем, наклонном и вращательном потоках и пр.

Кроме того, изучалось влияние концентрации собирателя и степени аэрации на образование устойчивых флотационных комплексов.

Далее приводятся некоторые материалы наблюдений, дающие представление о возможности использования скоростной киносъемки для изучения различных флотационных явлений.

1. Слияние (коалесценция) и деформация пузырьков. Устранение преждевременного слияния пузырьков представляет важную задачу при осуществлении процесса флотации в практических условиях. С этой целью применяют пенообразователи, при помощи которых можно регулировать степень дисперсности и устойчивости пузырьков воздуха.

На рис. 17 показаны зарисовки кадров скоростной киносъемки слияния пузырьков воздуха, а на рис. 18 — характер кривых кинетики слияния пузырьков (кривые А).

Наблюдения подтверждают, что процесс слияния состоит из: прорыва гидратных слоев, отделяющих пузырьки с образованием единой оболочки, и деформации общей оболочки до образования формы, близкой к сферической.

Скоростная киносъемка позволяет не только качественно, но и количественно изучать кинетику слияния, зависящую от силы взаимного соприкосновения пузырьков, степени адсорбции на них реагента-пенообразователя и других факторов.

Деформация поверхности пузырьков, их вибрация, колебания стенок особенно заметны у относительно крупных пузырьков.

Наши наблюдения этого явления дают примерно те же результаты, что и наблюдения Спеддена и Ханнана, описанные выше.

2. Гистерезис смачивания. Гистерезис или закрепление периметра смачивания на определенный период времени вызывается неровностями поверхности, ее микрошероховатостью, неравномерной адсорбцией реагентов, а в конечном итоге неравномерной гидратацией поверхности.

Если гистерезис смачивания вызывает закрепление периметра смачивания на период времени, достаточный для осуществления прочного присоединения в процессе всплывания пузырька и частицы, то этим обеспечивается надежная флотация.

На рис. 19 представлены зарисовки кадров скоростной киносъемки, отражающие закрепление периметра пузырька на минеральной частице при значительной деформации пузырька.

Скоростная киносъемка позволяет изучать влияние на гистерезис смачивания свойств минеральной поверхности, реагентов, гидроаэродинамических факторов и т. д.

3. Присоединение пузырька воздуха к минеральной частице является основным актом флотации. Этот вопрос рассматривался О. С. Богдановым и другими исследователями. Нами дополнительно изучалось присоединение пузырька к относительно крупной минеральной частице, что имеет место при аэрофлокулярной флотации крупнозернистого материала и при флотогравитации.

Характер кривых присоединения пузырьков воздуха к относительно крупным минеральным частицам показан на рис. 13 (кривые В).

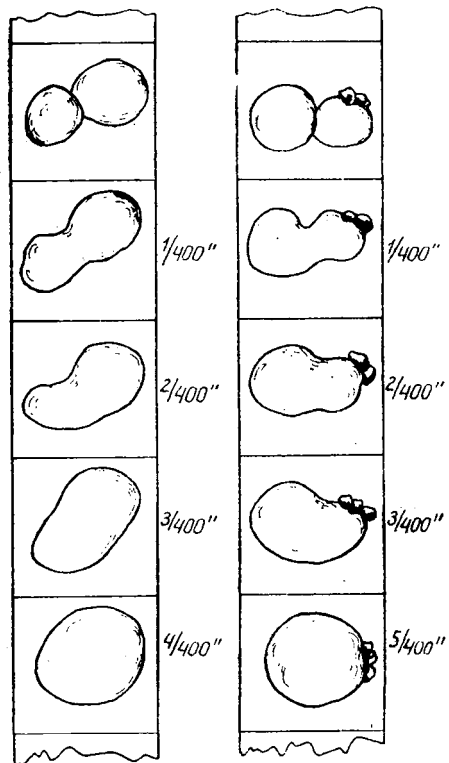


Рис. 17. Слияние пузырьков воздуха

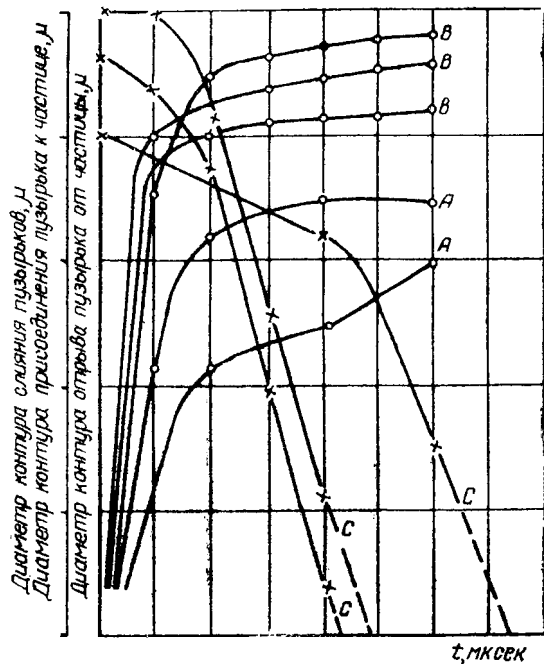


Рис. 18. Кривые кинетики:
 A — слияния пузырьков; B — присоединения пузырьков;
 C — отрыва пузырьков

Наблюдения, сопровождаемые соответствующими количественными измерениями, позволяют считать, что процесс присоединения пузырька воздуха к минеральной частице (после определенного индукционного периода) происходит путем прорыва гидратных слоев, отделяющих частицу от пузырька, с очень быстрым образованием первичного контакта. Затем имеет место распространение трехфазного периметра смачивания, увеличение в той или иной степени площади контакта между пузырьком и частицей.

Скоростная киносъемка позволяет количественно изучать кинетику прилипания мине-

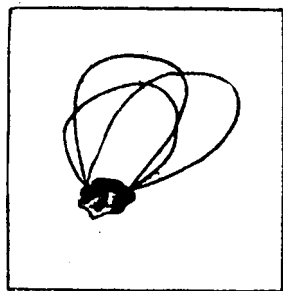


Рис. 19. Закрепление трехфазного периметра смачивания (кадры сняты через $1/500$ сек.)

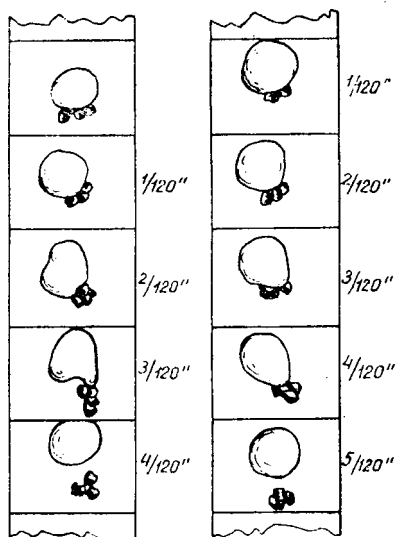


Рис. 20. Отрыв крупного пузырька от крупных частиц галенита

ральных частиц к пузырькам воздуха в зависимости от различных факторов.

4. Отрыв пузырька воздуха от минеральной частицы зависит от степени гидратированности поверхности контакта, воздействия реагентов, размера и устойчивости пузырька, массы частицы, гидроаэродинамических условий и т. д.

При осуществлении флотационного процесса необходимо, чтобы в течение определенного периода времени присоединившийся к минеральной частице пузырек не оторвался. На рис. 20 показаны зарисовки кадров скоростной киносъемки отрыва пузырьков от минеральных частиц. Крупные пузырьки легко деформируются, что ускоряет их отрыв от минеральных частиц. На рисунке видно, как от сравнительно крупных частиц галенита (до $0,5$ мм) отрывается относительно крупный (до 3 мм) непрерывно деформирующийся пузырек воздуха. Примерно за период около $1/30$ сек. происходит полное разрушение флотационного комплекса.

Результаты наблюдений показывают, что сокращение периметра контакта пузырька с частицей происходит с непрерывно увеличивающейся скоростью до момента полного отрыва.

На рис. 18 показаны кривые, характеризующие кинетику отрыва (кривые С).

5. Образование флотационного комплекса и изменение его структуры. Как известно, в основе флотации лежат физические, физико-химические и химические явления, приводящие к образованию флотационного комплекса, т. е. агрегата, состоящего из пузырьков воздуха и минеральных частиц.

В практических условиях протекания флотации, при надлежащей обработке реагентами и соблюдении режима процесса, происходит избирательное присоединение пузырьков воздуха только к определенным минеральным частицам и всплытие полученного комплекса на поверхность воды (пульпы) во флотационной машине.

Вероятность и прочность прилипания, устойчивость флотационного комплекса зависят от степени гидратированности поверхности минералов, массы частиц, их размера, формы, степени насыщенности пузырьками воздуха, степени турбулентности потока.

От этих факторов зависит также образование той или иной разновидности флотационных комплексов.

Скоростная киносъемка позволяет изучать кинетику образования, изменения и разрушения флотационных комплексов в динамических условиях флотационного процесса.

Если размер минеральных частиц значительно меньше размера пузырьков воздуха, то образуются флотационные комплексы, состоящие из пузырьков воздуха, покрытых минеральными частицами. На рис. 21 представлен такой элемент минерализованной пены, где пузырьки размером 2—3 мм покрыты частицами галенита крупностью примерно 0,1 мм. Могут образовываться и флотационные комплексы, состоящие из пузырька воздуха, несущего относительно крупные минеральные частицы.

При флотации крупнозернистого материала в ряде случаев будут образовываться особого рода флотационные комплексы — аэрофлокулы, состоящие из минеральных частиц и присоединившихся к ним пузырьков воздуха (рис. 22).

В динамических условиях флотации происходит изменение структуры флотационного комплекса путем присоединения и отрыва пузырьков (рис. 23).

Избирательное образование аэрофлокул из пузырьков воздуха и сравнительно крупных минеральных частиц определенного состава, поверхность которых первично относительно гидрофобна или гидрофобизирована путем воздействия соответствующих реагентов, создает основную предпосылку для отделения частиц одного минерала от частиц другого.

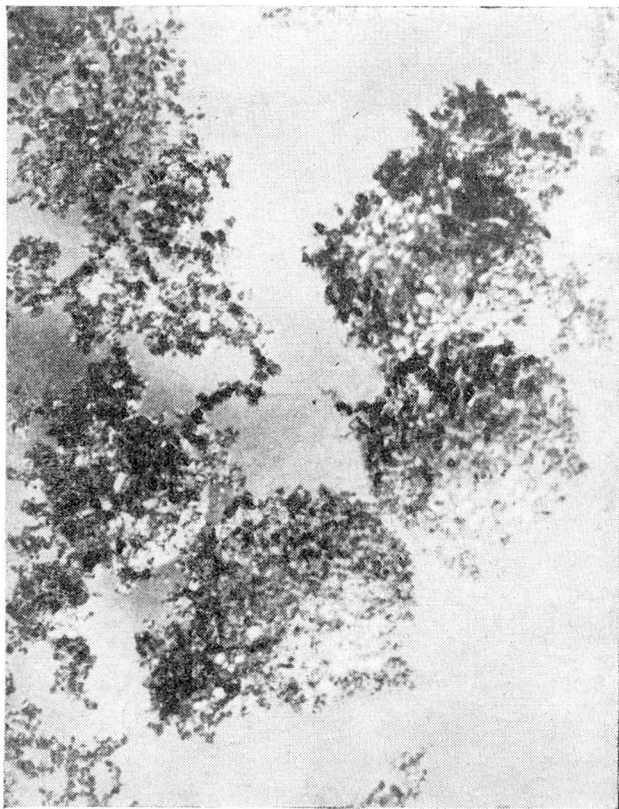


Рис. 21 Пузырьки воздуха, покрытые минеральными частицами

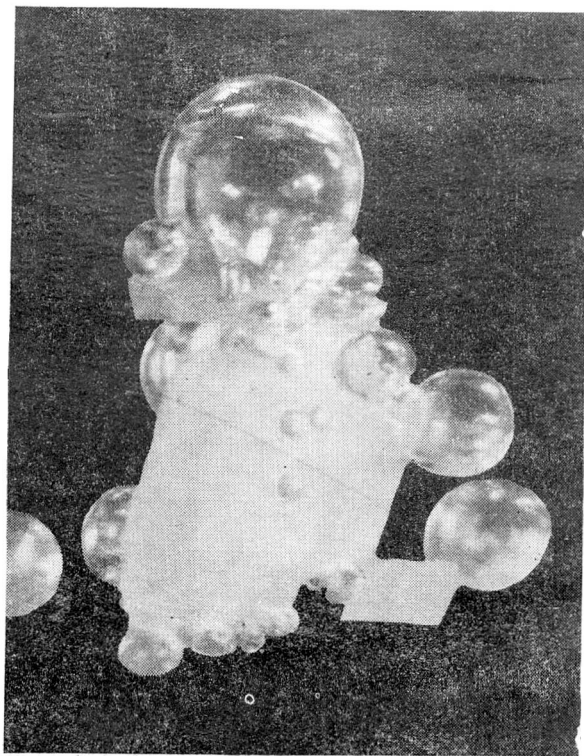


Рис. 22. Аэрофлокулы, образованные из относительно крупных минеральных частиц

На рис. 24 показана зарисовка кадров скоростной киносъемки, на которой видно активное присоединение пузырьков воздуха к частицам серы и почти полное отсутствие прилипания пузырьков к частицам кварца.

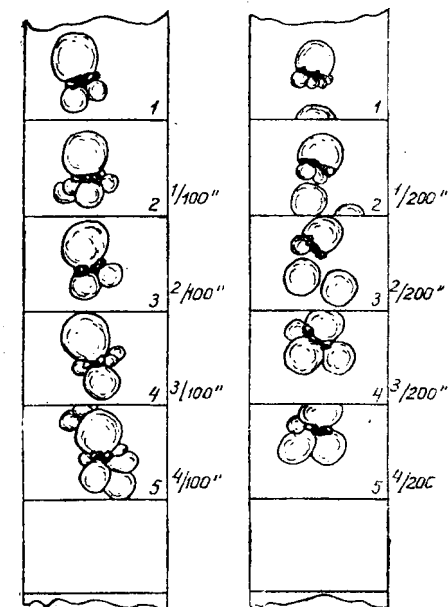


Рис. 23. Изменение структуры флотационного комплекса

концентрационного стола при флотогравитации. На рис. 27 представлен кадр скоростной киносъемки, показывающий характер

Только в некоторых случаях на ребрах и углах частиц кварца видны мельчайшие пузырьки воздуха.

Таким образом, скоростная киносъемка позволяет изучать селективное воздействие реагентов на различные минеральные частицы.

6. Движение флотационных комплексов. При пенной флотации и флотации на столах происходит передвижение флотационных комплексов на поверхность пульпы или смывание их с поверхности деки, концентрационного стола.

На рис. 25 показано всплывание флотационного комплекса в спокойной среде, на рис. 26 — передвижение флотационного комплекса через нарифление кон-

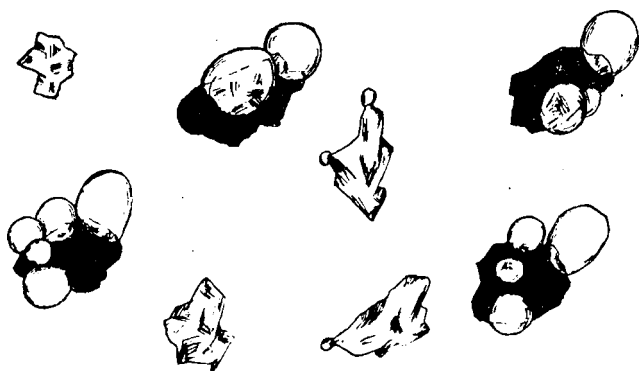


Рис. 24. Избирательное присоединение пузырьков воздуха к частицам серы и кварца:

темные частицы — сера, светлые — кварц

движения флотационных комплексов вокруг вала А флотационной машины при слабой турбулентности потоков пульпы.

Можно считать, что наиболее важным фактором, при прочих равных условиях, определяющих кинетику и характер движения флотационного комплекса, является плотность этого комплекса, зависящая от размеров и плотности пузырьков воздуха и минеральных частиц.



Рис. 25. Всплывание флотационного комплекса в спокойной среде

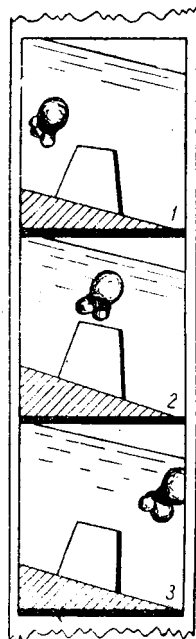


Рис. 26. Передвижение флотационного комплекса через нарифление при флотогравитации

В динамических условиях реального процесса траектория и скорость движения весьма изменчивы благодаря изменению структур флотационных комплексов, состояния среды и аэродинамических условий.

При помощи скоростной киносъемки возможно исследовать траекторию и количественно определять скорости движения флотационных комплексов.

7. Концентрация собирателя и степень аэрации. Для успешной флотации, в особенности крупнозернистого материала, существенное значение имеют концентрация реагента-собирателя и степень аэрации.

Как показали наши наблюдения при проведении скоростной киносъемки, при очень малой концентрации реагента-собирателя

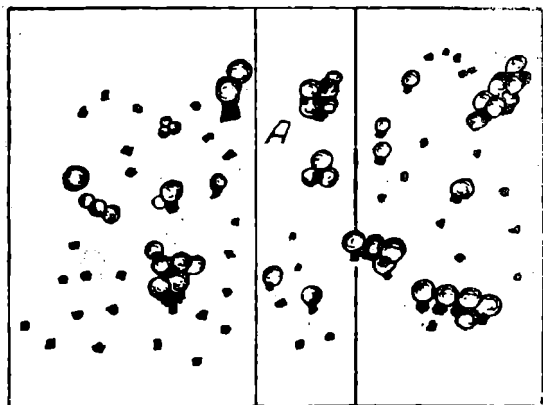


Рис. 27. Движение флотационного комплекса вокруг вала А флотационной машины при слабой турбулентности потоков пульпы

и малой степени аэрации флотация протекала слабо, размер флотационных частиц был минимальным, образования аэрофлокул почти не наблюдалось (рис. 28).

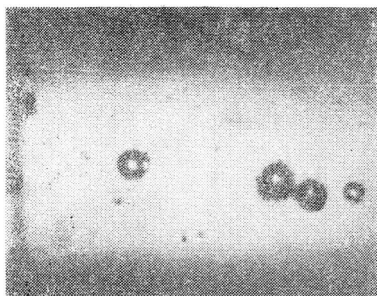


Рис. 28. Слабое образование флотационных комплексов при малой степени аэрации

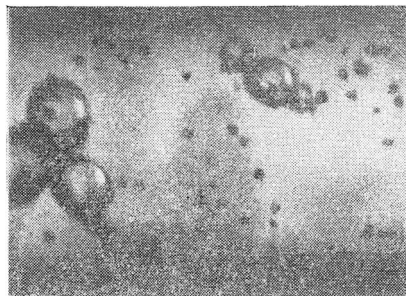


Рис. 29. Хорошее образование флотационных комплексов при оптимальной степени аэрации и высокой концентрации реагента собирателя

При оптимальных расходах собирателя и степени аэрации наблюдалась хорошая флотация даже более крупных частиц, часто встречались образования в виде аэрофлокул (рис. 29).

Для проведения количественных измерений производились зарисовки кадров скоростной киносъемки флотации минеральных частиц при различных концентрациях реагента-собирателя и степени аэрации. На рис. 30 показаны зарисовки через опреде-

ленные интервалы кадров скоростной киносъемки флотации относительно крупных частиц галенита, с помощью бутилового ксантогената при слабой и оптимальной степени аэрации. Интенсивная аэрация обеспечивает более эффективную флотацию с образованием аэрофлокул.

Количественные измерения, проведенные при анализе кадров скоростной киносъемки, позволяют построить характерные кривые распределения, которые связывают значение величины x

(числа частиц, присоединившихся к пузырькам воздуха в данном постоянном объеме пульпы в определенный момент времени) с вероятностью появления этих значений (или частотой — y).

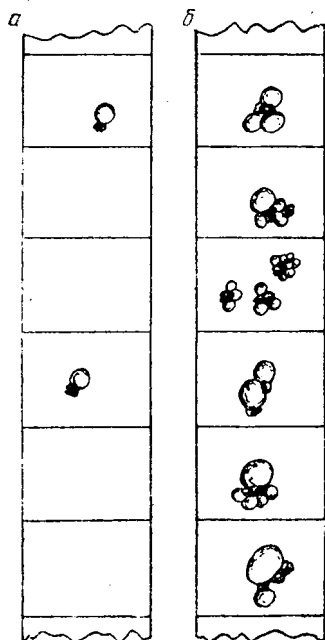


Рис. 30. Зарисовка кадров скоростной киносъемки:

а — слабая аэрация; б — оптимальная аэрация

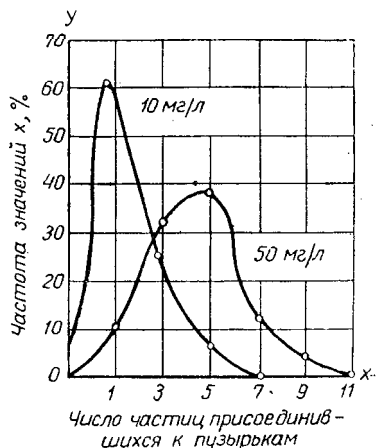


Рис. 31. Кривые распределения, показывающие зависимость числа частиц, присоединившихся к пузырькам, от концентрации реагента-собираателя

Нами были проведены подобные наблюдения, давшие определенные результаты (рис. 31).

Максимальная частота значения числа частиц, присоединившихся к пузырькам, будет приходиться на 1—2 частицы при слабой концентрации бутилового ксантогената (10 мг/л) и на 5—6 частиц при увеличенной концентрации реагента-собираателя (50 мг/л); при прочих равных условиях значительное число комплексов будет состоять также из 3—4 частиц.

Аналогичным путем могут быть построены кривые распределения и для различных степеней аэрации.

ЛИТЕРАТУРА

О. С. Богданов, С. Д. Суховольская, М. Ш. Филановский, А. Н. Поднек, Э. И. Эммануилова. Вопросы теории флотации. Металлургиздат, 1941.

Высокоскоростная киносъемка в науке и технике. Сборник переводных статей под ред. А. А. Сахарова. Изд-во иностр. лит., 1955.

Скоростная киносъемочная камера СКС-1М. Инструкция по эксплуатации и уходу, 1957.

А. А. Сахаров. Высокоскоростная киносъемка. Госкиноиздат, 1950.

К. В. Шатилов и А. И. Юрьев. Наш опыт применения скоростной киносъемки для экспериментальных исследований. 1957.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
1. Скоростная киносъемка	6
2. Контакт минеральных частиц с пузырьками воздуха .	17
3. Флотация относительно крупных минеральных частиц	27
Литература	38

Г. П. Славнин

Изучение флотации минеральных частиц методом скоростной киносъемки

Редактор издательства *Т. Н. Гарбер*

Техн. редактор *Л. Н. Ломина*

Корректор *В. П. Крымова*

Сдано в набор 15/IX 1959 г. Подписано в печать 28/XI 1959 г. Формат бумаги 60 × 92¹/₁₆

Печ. л. 2,5

Уч.-изд. л. 2,17

Тираж 2000 экз.

T-12829

Государственное научно-техническое издательство литературы по горному делу

Госгортехиздат

Москва, Грузинский вал, д. 35

Изд. № 396

Инд. 5/3

Цена 1 р. 10 к.

Заказ № 461

Московская типография Госгортехиздата. Москва, Ж-88. Южно-портовый 1-й пр., 17.

НОВЫЕ КНИГИ ГОСГОРТЕХИЗДАТА

Плаксин И. Н. и др. Атлас технологического оборудования обогатительных фабрик. Ц. 29 руб.

Обогащение и брикетирование углей. Сборники 9—12.

Всесоюзный проектно-конструкторский и научно-исследовательский институт по обогащению и брикетированию углей. Ц. 2 р.

По мере выхода из печати указанные книги поступят в продажу в магазины книготоргов.

Предварительные заказы принимаются местными магазинами книготоргов. В случае отказа магазина принять предварительный заказ, просьба сообщить об этом Всесоюзному Объединению книжной торговли по адресу: Москва, Ленинский пр. 15-а.

Δ 1
14332