

МАГАДАНСКИЙ СОВЕТ НАРОДНОГО ХОЗЯЙСТВА

— 0 —

ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ЗОЛОТА И РЕДКИХ МЕТАЛЛОВ

ВНИИ-1

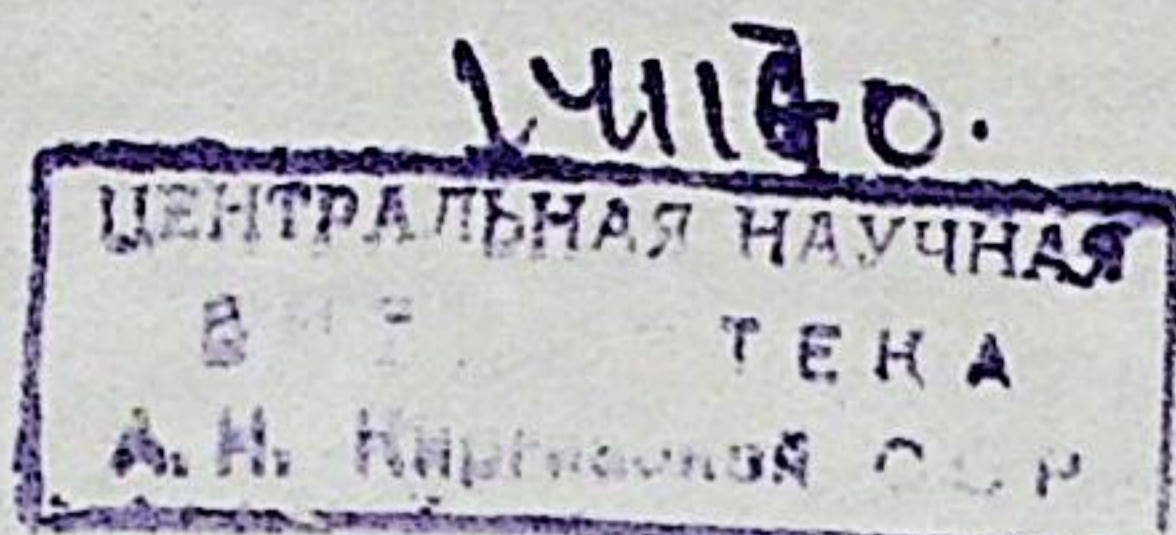
НА ПРАВАХ РУКОПИСИ

Г. Г. КУЗНЕЦОВ

ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ОТСАДКИ
ТОНКОГО ОЛОВОНОСНОГО МАТЕРИАЛА

*Автореферат диссертации
на соискание ученой степени
кандидата технических наук*

МАГАДАН 1958



ВВЕДЕНИЕ

Все возрастающие темпы развития народного хозяйства нашей страны ставят перед горнодобывающей промышленностью новые и большие проблемы.

Одной из актуальных проблем в области обогащения является эффективное и экономичное обогащение тонкоизмельченных рудных материалов методом отсадки.

Успешное разрешение этой проблемы должно опираться на глубокое знание истинной физической сущности этого сложного процесса и на внедрение в практику новейших достижений науки и техники.

Повышение эффективности отсадки тонкоизмельченных материалов и внедрение в промышленность столь высокоэкономического способа гравитационного обогащения руд может быть осуществлено только на основании глубоких и широких экспериментальных исследований основных факторов данного процесса, влияющих на производительность аппарата, на полноту извлечения тонких частиц полезного рудного компонента и на эффективность процесса в целом.

Несмотря на многовековую длительность применения способа отсадки в практике обогащения руд и на попытки почти в течение столетия теоретически обосновать этот процесс, теории отсадки вообще и отсадки тонкоизмельченных материалов в частности до сих пор не существует.

Поэтому для установления истинной физической сущности отсадки и развития теории данного процесса необходимы теоретические обобщения данных широких экспериментальных исследований влияния комплекса действующих факторов и вызываемых их действием явлений в отсадочной камере машины.

Впервые экспериментальные исследования нами выполнены путем непрерывных опытов с большими навесками на моделях промышленных отсадочных машин, полностью воспроизводящих процесс промышленной отсадки.

Экспериментальные исследования позволили установить влияние отдельных факторов, действующих при отсадке на технологическую эффективность процесса, взаимодействие и взаимозависимость их между собой, а также рекомендовать практические мероприятия для повышения эффективности разделения тонких минеральных частиц. Данные этих исследований приведены в разделах экспериментальной части работы.

Теоретические исследования процесса проведены путем тщательного анализа всего экспериментального материала, изучения отдельных явлений процесса, возникающих под воздействием определенных факторов, обобщения результатов всех исследований и сопоставление их с наблюдаемым ходом процесса в отсадочной машине. Эти исследования позволили внести ясность в представления о физической сущности процесса отсадки и о механизме действия искусственной постели в отсадочной камере. Данные теоретических исследований изложены в разделах теоретической части работы.

В результате экспериментальных и теоретических исследований рекомендуются практические мероприятия, направленные на повышение технологической и экономической эффективности процесса отсадки. Последнее достигается путем внедрения новой «обратной» схемы отсадки с получением продуктов от бедных к богатым; путем разработки новой конструкции отсадочной машины, предложенная схема которой осуществляет новую «обратную» схему отсадки; и — путем разработки и внедрения технологических схем гравитационного обогащения руд, предусматривающих при стадийном процессе широкое использование отсадочных машин. Эти практические рекомендации нашли свое отражение в разделах практической части нашей диссертации.

Методика и техника экспериментальных исследований основных факторов, действующих в процессе отсадки

Основанный на использовании гравитационных сил процесс отсадки отличается от других гравитационных процессов тем, что имеет значительно большее число факторов, влияющих на ход технологического процесса. Эти факторы взаимодействуют между собой и зависят друг от друга, в силу чего сам процесс по своей физической сущности является весьма сложным.

В данном разделе приводится новая классификация факторов, действующих на процесс отсадки на группы, а также разделение их на регулируемые и нерегулируемые факторы процесса. Сделан выбор основных факторов процесса в качестве объектов для экспериментальных исследований и теоретических исследований. Разработана методика и техника экспериментальных исследований непрерывного процесса отсадки в лабораторных моделях промышленных отсадочных машин.

Для изучения отдельных комплексов факторов отсадки, а также факторов, слабо действующих на процесс, надо было создать не только совершенно одинаковые условия во всех опытах по физическому характеру исходного материала, но и обеспечить условия выявления влияния слабодействующих факторов. Поэтому в качестве объекта исследований принята неклассифицированная искусственная смесь кварца и касситерита крупностью $-0,2+0$ мм постоянного гранулометрического состава, с содержанием олова около 1%.

Второй принцип методики состоял в обеспечении абсолютно идентичных условий опытов на машинах с подвижным ситом и диафрагмой путем создания единого привода у этих двух аппаратов.

Третьим принципом методики было исследование непрерывного процесса на больших навесках.

Результаты экспериментов определялись путем химического анализа продуктов отсадки на олово.

Экспериментальное исследование влияния нагрузки, толщины надпостельного слоя руды и плотности питания на эффективность обогащения

Экспериментальное исследование влияния на эффективность обогащения комплекса указанных факторов проводилось при следующих условиях по сериям опытов:

Нагрузка изменялась от 16,4 до 86,9 т/сут/м² поверхности сита. Толщина надпостельного слоя руды изменялась от 0 до 40 мм через каждые 10 мм и, наконец, отношение твердого к жидкому в питании по весу было 1:1; 1:1,5; 1:2; 1:5 и 1:10. Общими условиями этих серий опытов были частота качаний 570 в минуту, размах — 1 мм, постель магнетитовая 30—40 мм, количество подрешетной воды 45,5 л/мин/м² сита.

Анализ влияния указанного комплекса факторов на результаты отсадки позволяет сделать следующие выводы.

1. Результаты отсадки находятся в обратной зависимости от величины нагрузки исходного питания. Увеличение нагрузки в 5 раз снижает извлечение на 10%.

2. Увеличение нагрузки «утяжеляет» постель, так как она аккумулирует зерна тяжелого компонента расслоившейся смеси. Уплотнение и «утяжеление» постели за счет тяжелых и тонких частиц полезного компонента изменяет характер постели и ее свойства. «Утяжеление» постели уменьшает ее проницаемость, снижает скорость прохождения тяжелых зерен через постель, повышает потери в хвосты полезного компонента. Абсолютный выход подрешетных концентратов уменьшился на 30% с увеличением нагрузки в 5 раз. «Утяжеление» постели — отрицательный фактор отсадки.

Экспериментальное исследование влияния подрешетной воды на степень извлечения и величину улавливаемых отсадкой зерен полезного компонента

При исследовании влияния этого фактора отсадки мы преследовали цель установить зависимость степени извлечения полезных компонентов в подрешетные концентраты, крупности улавливаемых отсадкой частиц тяжелого минерала, а также эффективности процесса отсадки от количества подрешетной воды.

Опыты проводились на постели из стальной круглой дроби, постели из магнетита и постели из кварца (последние две постели применялись в сериях опытов при совершенно одинаковых условиях). Расходы подрешетной воды испытывались 0,0; 0,25; 0,5; 1; 2; 3; 5; 7,8 и 10 л/мин, что соответствует диапазону скорости восходящего потока в пределах от 0 до 1,67 см/сек.

Результаты исследований влияния этого фактора показали следующее.

1. Повышение расхода подрешетной воды в пределах 45—273 л/мин/м² сита снижает выход подрешетного концентрата в 21 раз. Содержание олова в нем возрастает с 4,35 до 65,7%, то есть в 15 раз. При этом извлечение касситерита в концентрат снизилось с 81,5 до 59,8%, что объясняется посте-

пенным увеличением крупности частиц касситерита, теряемых в хвостах. Другими словами, извлечение касситерита находится в обратной зависимости от скорости восходящего потока.

2. Крупность извлекаемых частиц касситерита определяется скоростью восходящего потока подрешетной воды, то есть скоростью стесненного падения в стационарном потоке частиц касситерита граничной крупности практически соответствует скорости восходящего потока подрешетной воды.

3. Существует зависимость между количеством подрешетной воды, гранулометрическим составом полезного компонента в смеси и степенью извлечения последнего в концентрат. Результаты опытов, ситовыми анализами хвостов отсадки и расчетами показано, что в концентрат количественно извлекаются практически те частицы тяжелого компонента, которые имеют скорости падения в стесненных условиях, равные скорости восходящего потока подрешетной воды.

4. Извлечение полезного компонента в подрешетный продукт тем выше, чем меньше удельный вес материала постели. В опытах на магнетитовой и кварцевой постелях в равных условиях извлечение разнится от опыта к опыту в пределах от 10,4 до 21,8%, что видно из следующей таблицы:

Расход воды, л/мин.	0,25	0,5	1,0	2,0	3,0	5,0
ε_1 при кварцевой постели	83,4	82,3	80,2	75,8	57,8	42,6
ε_2 при магнетитовой постели	72,8	71,9	68,8	54,0	39,1	27,3
Разность $\varepsilon_1 - \varepsilon_2$	10,6	10,4	11,4	21,8	18,7	15,3

5. Без учета потерь тонких частиц полезного компонента при отсадке неклассифицированных тонких материалов подрешетная вода не может служить фактором регулирования технологического процесса. При отсадке классифицированных материалов подрешетная вода может служить регулятором процесса лишь при условии, если скорость потока ее будет ниже скорости стесненного падения наименьших частиц полезного компонента в стационарном потоке.

Экспериментальное и теоретическое исследование влияния физического характера постели на результаты отсадки тонкого материала

В данном разделе работы нами изучались следующие вопросы.

1. Влияние толщины постели на технологические показатели отсадки.

2. Влияние удельного веса материала постели на результаты отсадки.

3. Влияние формы зерен постели на эффективность обогащения.

4. Влияние крупности зерен постели на результаты отсадки.

5. Некоторые особенности работы постели в отсадочной машине.

Исследования проводились на постелях из стальной круглой дроби $\delta=6,45$, ферросилиция $\delta=6,2$, магнетита $\delta=5,17$, шлака $\delta=4,2$, корунда $\delta=3,27$ и кварца $\delta=2,63$ крупностью $-1,65+0,42$ мм, а также на постелях из последних четырех материалов крупностью $-0,99+0,3$ мм, причем три класса в диапазоне этой крупности были взяты в равных количествах.

Толщина искусственной постели при изучении влияния этого фактора изменялась в пределах от 5 до 80 мм, однако диапазон толщин постели из разных по крупности и удельному весу материалов изменялся: при ферросилиции от 10 до 30 мм; при кварце от 40 до 80 мм; на постелях крупностью $-0,99+0,3$ мм — от 5 до 25 мм.

В результате тщательного анализа экспериментальных материалов изучения влияния перечисленных выше факторов на процесс отсадки, а также теоретических исследований было установлено следующее.

1. Процесс отсадки тонких материалов на искусственной постели имеет два важных противоречия.

Первое из них заключается в том, что для разрыхления постели и разделяемого материала требуются количественно различные условия, которые будут тем больше различаться, чем больше различие между крупностью зерен постели и частиц разделяемого материала. Так, в принятых условиях отсадки тонкого материала искусственная постель требует для своего разрыхления турбулентного режима восходящего потока, тогда как для разрыхления разделяемого рудного материала необходим ламинарный режим потока.

Вторым противоречием процесса является то, что лучшее уплотнение постели в период сплочения, требующееся для четкости разделения расслоившейся смеси, имеет место при большем удельном весе постели, а лучшее разрыхление ее минимальными скоростями восходящего потока — при меньшем удельном весе постели.

Решение проблемы отсадки тонких материалов невозможно без преодоления этих противоречий процесса отсадки.

2. Из комплекса факторов, характеризующих постель в отсадочной машине, толщина ее имеет важное значение. С увеличением толщины постели снижается выход подрешетного продукта, повышается содержание в нем тяжелого компонента и вместе с этим снижается извлечение его в подрешетный концентрат.

Однако выход подрешетного продукта зависит не только и не столько от толщины постели, сколько от физического характера материала, из которого приготовлена постель. Так, в случае одинаковой крупности зерен постели равные выходы подрешетных продуктов получаются при толщинах, увеличивающихся с уменьшением удельного веса материала постели.

Количественно и качественно близкие технологические показатели отсадки были получены при следующих толщинах постели (в миллиметрах): из кварца—80, корунда—50, шлака—30, ферросилиция 10 и буровой дроби — 56 мм.

3. При отсадке на постели из металлической буровой дроби с изменением ее толщины технологические показатели не подчиняются только что отмеченной закономерности. Несмотря на высокий удельный вес дроби, изменение результатов отсадки не происходит столь резко, как при постелях из ферросилиция, магнетита и даже шлака.

4. При равной крупности зерен постели качество подрешетных компонентов улучшается с увеличением толщины постели; при этом их качество повышается значительно больше с увеличением удельного веса постели.

5. Извлечение тяжелого компонента в концентрат имеет тенденцию к снижению с увеличением удельного веса материала постели, что видно из следующих данных.

Материал постели	Толщина постели, мм	Концентрат			
		$\gamma, \%$	$\beta, \%$	$\epsilon, \%$	$\eta, \%$
Корунд	70	4,0	22,6	75,6	72,65
Магнетит	20	1,65	44,0	72,3	71,38
Металлическая дробь	72	6,3	11,25	71,4	65,56

6. Эффективность процесса с увеличением толщины любой постели вначале изменяется пропорционально толщине, а потом, достигнув максимума, остается практически постоянной,

то есть при определенной толщине постели данного физического характера наступает переломное, критическое состояние процесса, после чего с увеличением толщины постели результаты отсадки остаются практически неизменными. Эта толщина постели названа нами «критической».

Критическая толщина постелей различного удельного веса при прочих равных условиях тем меньше, чем выше удельный вес ее.

7. Легкие постели требуют меньшей частоты колебания рабочего органа отсадочной машины, как это видно из таблицы:

Материал постели	Толщина постели,	Частота качаний, в мин.	Концентрат			
			$\gamma, \%$	$\beta, \%$	$\epsilon, \%$	$\eta, \%$
Шлак	20	750	18,5	4,40	79,87	62,0
»	20	345	2,11	36,26	76,91	75,55

8. Форма зерен постели имеет решающее влияние на процесс отсадки. Круглая форма стальной дроби с высоким удельным весом требует для снижения выхода подрешетного продукта повышенного расхода подрешетной воды, что увеличивает потери металла в хвосты. При отсадке тонкоизмельченных материалов постель из зерен сферической формы непригодна.

9. Крупность зерен, как и форма их, является важным фактором, характеризующим постель. Чем крупнее зерна, тем больше величина пор между ними, тем менее эффективно действие постели. Крупность зерен постели, приближающаяся по величине к максимальным частицам разделяемой руды, обеспечивает максимальную эффективность процесса отсадки.

10. Постель в условиях отсадки расслаивается по крупности. Характер верхнего слоя ее, состоящего из наименее крупных зерен, является решающим фактором получения высокой селективности процесса и концентрации тяжелого минерала в подрешетном продукте. Так, даже легкая корундовая постель крупностью $-0,99+0,3$ мм при толщине в 15 мм позволяет получить без перечистки высокую концентрацию тяжелого компонента в подрешетном продукте, выход которого составил 1,95%, содержание олова в нем 57,2%, при извлечении 82,73% и эффективности обогащения 81,9%.

11. Успешная отсадка на мелких и легких постелях и характер действия постели убеждают в том, что этот процесс по своей физической сущности не имеет ничего общего с процессом разделения в тяжелых суспензиях. Постель в отсадочной машине выполняет сугубо механическую функцию — функцию клапана.

12. Преодоление вскрытых противоречий процесса отсадки возможно и необходимо путем применения мелких и легких постелей, что позволит в основном решить проблему отсадки тонкоизмельченных материалов.

Исследования влияния частоты и размаха колебаний среды на эффективность отсадки

В этом разделе работы приводятся результаты исследования влияния частоты и размаха колебания рабочего органа отсадочной машины на процесс отсадки тонкого материала. Исследования отсадки при тихоходном режиме в диапазоне колебаний от 150 до 460 в минуту и размахах колебания от 0,5 до 2 мм производились на поршневой отсадочной машине, а более высокие числа колебаний осуществлялись в отсадочных машинах с подвижным ситом и диафрагмой. При этом данные два типа отсадочных машин имели единый привод рабочих органов (диафрагмы, сита). Число колебаний в них изменялось от 556 до 1550 в минуту, а размах колебаний — от 0,4 до 1,4 мм

Результаты исследований показали следующее.

1. Извлечение и эффективность обогащения по сериям опытов с переменной частотой колебания рабочего органа отсадочной машины изменяются, стремясь к максимуму с повышением частоты качаний поршня в данном типе отсадочных машин от 150 до 460 в минуту.

В отсадочной же машине с подвижным ситом извлечение и эффективность обогащения, наоборот, стремятся к максимуму с уменьшением частоты качаний сита от 1146 до 556 в минуту.

Кривые зависимости эффективности от изучаемого фактора частоты качаний поршня или сита показывают, что оптимальные условия отсадки находятся в пределах 500 качаний поршня или сита в минуту.

Для диафрагмовой же отсадочной машины этот показатель определен в количестве около 800 качаний в минуту. Фактор

частоты колебаний рабочего органа отсадочной машины характеризует время отсадки в элементарный цикл ее.

2. Извлечение и эффективность обогащения отсадкой с изменением размахов колебаний рабочих органов отсадочных машин изменяется по иным закономерностям. Поскольку фактор размаха колебания рабочего органа отсадочной машины в первую очередь влияет на степень разрыхления постели и разделяемого материала, то не следовало ожидать оптимальных условий отсадки ни при предельно больших, ни при предельно малых размахах.

Поэтому кривые эффективности обогащения по сериям опытов имеют максимумы, соответствующие определенным значениям частоты и размаха колебания рабочего органа отсадочной машины.

3. Анализ экспериментального и графического материала всех серий опытов при переменных значениях частоты и размахах качаний рабочего органа испытываемых типов отсадочных машин показал, что по каждой серии опытов (например, при переменных размахах) имеют место относительные максимумы технологической эффективности отсадки при определенных значениях частоты и размаха колебаний исполнительного органа аппарата.

Относительные максимумы эффективности обогащения на испытывавшихся типах отсадочных машин в условиях переменных значений изучаемых факторов соответствуют следующим их сочетаниям:

Поршневая отсадочная машина:

n = 150;	200;	300;	350	и 460	кач/мин
h = 6;	5;	4;	3,7;	3	мм

Отсадочная машина с подвижным ситом:

n = 556;	813;	1146	кач/мин
h = 1,0;	0,6;	0,5	мм

Диафрагмовая отсадочная машина:

n = 556	813	1146	кач/мин
h = 0,6—0,7	0,5—0,6	0,4—0,5	мм

Однако среди оптимальных сочетаний размаха и частоты колебаний исполнительных органов отсадочных машин имеются такие, которые позволяют получить абсолютный максимум эффективности обогащения. Так, для поршневой отсадочной машины оптимальные значения изучаемых факторов были:

$n=350$ в минуту; $h=3,7$ мм; для отсадочной машины с подвижным ситом — $n=556$ в минуту и $h=1$ мм; для диафрагмовой отсадочной машины $n=813$ в минуту и $h=0,5—0,6$ мм. То есть каждому типу и размеру аппарата, а также каждому характеру и толщине постели и разделяемого материала присуще только одно вполне определенное значение величин основных параметров цикла отсадки, могущих обеспечить абсолютный максимум эффективности обогащения.

Эта зависимость в общем виде наиболее близко соответствует закономерности, выраженной известной формулой:

$$n \cdot \rho = \frac{60 C}{2\pi \sin \varphi}$$

4. Анализ взаимосвязи частоты и размаха колебаний рабочего органа отсадочных машин в точках относительного максимума технологического процесса показал, что фактическое соотношение n и h не дает постоянного значения окружной скорости, то есть $C_{\max} \neq \text{Const}$, что можно видеть из следующего.

Поршневая отсадочная машина:

при $n=150$ об/мин и $h=6$ мм	$C_{\max} = 47,1$ мм/сек
» $n=200$ » $h=5$ »	$C_{\max} = 52,3$ »
» $n=300$ » $h=4$ »	$C_{\max} = 62,8$ »
» $n=350$ » $h=3,7$ »	$C_{\max} = 68,0$ »
» $n=460$ » $h=3$ »	$C_{\max} = 72,2$ »

Из этого следует, что максимальная скорость поршня с изменением частоты качаний его в точках относительного максимума эффективности разделения отсадкой повышается. Аналогично этому изменяется взаимозависимость основных параметров цикла отсадки и для диафрагмовых отсадочных машин.

Противоположное положение существует у машин с подвижным ситом, у которых C_{\max} с повышением частоты качаний сита (в точках относительного максимума эффективности процесса) снижается.

5. Исследования зависимости основных параметров цикла отсадки от толщины постели при всех прочих равных условиях показали, что размах колебания исполнительного органа отсадочной машины находится в прямой зависимости от толщины постели.

6. Сделан вывод, что определение оптимального значения частоты и размаха колебаний поршня, диафрагмы или сита без учета зависимости их от физического характера постели и разделяемого материала, а также от толщины слоев их ошибочно.

Анализ цикла отсадки

Этот раздел работы посвящен анализу известных работ о циклах отсадки, качественному сравнительному анализу синусоидальных циклов отсадки на машинах с подвижным и неподвижным решетками, количественному анализу естественного цикла отсадки (в машинах с подвижным ситом), а также определению количественной взаимосвязи между циклом отсадки, частотой и размахом колебания исполнительного органа отсадочной машины и физическим характером постели.

При определении предмета вопроса было установлено, что понятие, вкладываемое в термин «цикл отсадки», не соответствует физической сущности явлений, возникающих при осуществлении цикла отсадки.

Анализом работ о циклах отсадки установлено:

— что все они посвящены исследованию синусоидальных циклов в отсадочных машинах с неподвижным решетом;

— что имевшиеся представления об аналогичном характере цикла отсадки, осуществляемой в машинах с подвижным решетом и в машинах, осуществляющих пульсацию жидкости, не соответствуют действительности, а потому ошибочны;

— что такие факторы процесса, как характер цикла отсадки, частота и размах колебаний рабочего органа отсадочной машины и физический характер постели, рассматривались оторванно друг от друга без учета их теснейшей внутренней взаимосвязи и т. д.

Предложено циклом отсадки называть процесс изменения скорости движения рабочего органа отсадочной машины и вызываемый им процесс изменений в постели и рудном материале во времени за полный период колебания.

Установлено, что кривая движения рабочего органа отсадочной машины должна характеризоваться одновременно как с качественной, так и с количественной стороны. С качественной стороны она должна характеризоваться законом циклического движения (например, по синусоиде), а с количественной стороны — основными количественными параметрами этого

движения, то есть частотой и размахом колебаний синусоиды. На этом основании предложено «основные параметры отсадки» впредь именовать «основными параметрами цикла отсадки», что более строго характеризует существо исследуемого предмета.

В процессе теоретического исследования этого вопроса достигнуто следующее.

1. Предложена новая классификация циклов отсадки, в основу которой положен в качестве критерия характер воздействия цикла движения исполнительного органа отсадочной машины на движение в постели и разделяемом рудном материале. Циклы отсадки подразделены нами на:

а) принудительные, к которым относятся все, как гармонические симметричные, так и асимметричные циклы, осуществляемые приводными механизмами или специальными устройствами (безпоршневые отсадочные машины) в машинах с неподвижным решетом;

б) полупринудительные, к которым отнесены все циклы отсадки, воспроизводимые механическими и гидравлическими пульсаторами, а также теоретический цикл Мейера, названный им «статическим», то есть циклы отсадки только с восходящим потоком жидкости, и

в) независимые или естественные, к которым отнесены циклы, осуществляемые в отсадочных машинах с подвижным ситом, независимо от того, какой цикл движений осуществляет само решето.

2. Вскрыта внутренняя взаимосвязь между циклом отсадки, частотой и размахом колебания исполнительного органа аппарата с физическим характером постели.

3. Дано новое более строгое определение термина «цикл отсадки», в основу которого положено существование различия форм взаимосвязи между первичным движением рабочего органа отсадочной машины и производным от него движением в постели и разделяемом рудном материале в отсадочной камере машины.

4. Показано наличие диаметральной противоположности между формально одинаковыми синусоидальными циклами отсадки в отсадочных машинах с подвижным решетом и в отсадочных машинах поршневого, диафрагмового и других типов с неподвижным решетом; доказана ошибочность проведения аналогии между циклами отсадки на подвижном решете и в поршневых отсадочных машинах с позиции «рассмотрения характера движения воды относительно решета».

5. Показано наличие количественной взаимосвязи между величинами основных параметров цикла отсадки на подвижном решете и скоростью стесненного (группового) падения зерен постели максимальной крупности, наличие взаимосвязи между гидродинамическим характером цикла отсадки и физическим характером материала постели.

Найденная графически и математически количественная взаимосвязь между циклом отсадки, параметрами цикла отсадки и физическим характером постели выражается следующими формулами:

$$v_{ст} = \frac{\rho \cdot n}{10} \quad \text{и} \quad v_{ст} = \frac{\rho \cdot n \cdot \sqrt{3}}{20},$$

где $v_{ст}$ — скорость стесненного падения максимальных зерен постели, мм/сек.;

ρ — эксцентриситет эксцентрика приводного механизма, мм;

n — число оборотов эксцентрика, мин.

Значения ρ и n в пределах этих соотношений необходимы и достаточны для создания условий нормального разрыхления постели и разделяемого рудного материала.

Однако они должны быть уточнены экспериментально серией опытов с параметрами «затухающей» синусоиды.

6. В связи с изложенным в пункте 5 рекомендовано направление дальнейших исследований по установлению строгой количественной взаимосвязи между циклом отсадки, параметрами цикла отсадки, физическим характером постели и оптимальной степенью разрыхления постели и разделяемого рудного материала (толщиной постели и рудного материала в отсадочной камере).

Теоретические основы действия постели при отсадке

В этом разделе работы рассматриваются вопросы:

а) представления о механизме действия постели в отсадочных машинах в свете положений двух основных групп гипотез отсадки, одна из которых уподобляет процесс отсадки процессу разделения в тяжелых взвесах, а другая рассматривает расслоение и разделение рудного материала в постели по законам стесненного движения, уподобляемого движению зерен в «узких трубках» или «каналах» (гипотеза Монро);

б) анализ представления о механизме действия постели в свете положений первой группы гипотез путем сравнения основных факторов процесса разделения в тяжелых взвесах и процесса отсадки с искусственной постелью и без искусственной постели;

в) анализ представлений о механизме действия постели в свете положений второй группы гипотез путем анализа физической сущности приема отсадки крупного классифицированного материала без искусственной постели, путем анализа физической сущности приема отсадки ширококлассифицированного материала с коэффициентом шкалы, равным 30 (по Монро), без искусственной постели, а также анализа физической сущности приема отсадки мелкого материала с искусственной постелью;

г) представления об «идеальном» характере и функциях постели в свете новейших исследований. Здесь рассматриваются такие элементы, как «идеальный» характер постели по крупности зерен и удельному весу их, о функциях искусственной постели и о механизме действия постели.

Исследованиями этого раздела работы показана прямая противоположность представлений о физической сущности отсадки у названных выше основных групп широко признанных гипотез процесса. Так, при уподоблении отсадки процессу разделения в тяжелых средах считается, что разделение рудных минералов происходит на поверхности искусственной постели, тогда как по представлениям гипотез второй группы разделение (концентрация) происходит в толще материала постели в «узких трубках» и «канальцах» между зернами. Широкие экспериментальные исследования и взаимное отрицание друг друга этими группами гипотез указывают на то обстоятельство, что ни одна из них не объясняет правильно физической сущности явлений, происходящих в процессе отсадки.

На основании экспериментальных данных и сравнительного анализа отдельных факторов процесса разделения в тяжелых взвесах и аналогичных факторов процесса можно сделать следующие выводы.

1. По важнейшим принципиальным факторам этих двух процессов нет ни одного аналогично действующего, а, наоборот, каждый из числа рассмотренных факторов одного процесса является прямой противоположностью такому же фактору другого процесса.

На этом основании следует считать, что процесс отсадки по своей физической сущности диаметрально противоположен

процессу разделения в тяжелых средах, а гипотезы, относящие отсадку разнородности процесса «всплывания и погружения», глубоко ошибочны.

2. Предложенные Н. А. Шмачковым критериальные неравенства: $(\delta - \Delta) > (\delta_1 - \Delta) (1 - \Theta)$ и $(\delta - \Delta) < (\delta_1 - \Delta) (1 - \Theta)$, определяющие условия осаждения через постель и «всплывания» над постелью частиц разделяемых минералов, противоречат физической сущности процесса отсадки, опровергаются экспериментальными данными, а потому неверны.

Анализ физической сущности различных приемов отсадки в соответствии с гипотезой Монро, подтвержденный экспериментальными данными, показал следующее.

1. Процессы расслоения и разделения в отсадочной машине происходят в результате взаимодействия зерен постели и частиц руды друг с другом и между собой под воздействием сил тяжести и других сил, а не в результате движения зерен (частиц) в «узких каналах» или «трубках», образованных самими зернами, как это полагал Монро.

2. Процесс разделения тяжелых и легких минералов при отсадке происходит не в толще постели (в трубках), как это считал Монро, а на поверхности раздела зон постели и разделяемой руды.

3. Основным элементом процесса отсадки является не концентрация в «узких трубках», как ошибочно полагал Монро, а разделение частиц по удельному весу в период цикла, характеризующего состояние твердой фазы в опоре.

На основании экспериментальных исследований, показавших наличие явления расслоения постели по крупности, исследований влияния отдельных черт физического характера постели (крупность, форма зерен, удельный вес; толщина постели и др.) на результаты процесса нами показано, что основным критериальным фактором отсадки является обеспечение опоры для разделяемых частиц рудных минералов.

Следовательно, отсадка как процесс немыслима без непрерывно повторяющегося перехода твердой фазы из состояния опоры во взвешенное состояние и обратно. При этом отмечены две важные особенности:

а) период взвешенного состояния твердой фазы составляет меньшую часть времени цикла, тогда как состояние в опоре твердой фазы — большую часть времени цикла;

б) процесс расслоения и разделения при отсадке протекает не только в период взвешенного состояния, но и в период состояния твердой фазы в опоре.

Этих элементов нет у процесса разделения в тяжелых суспензиях, без этих принципиальных элементов нет процесса отсадки.

Дано следующее определение процесса отсадки: «Отсадка есть непрерывно повторяющийся процесс перехода твердой фазы смеси из состояния опоры во взвешенное состояние и обратно, в результате которого проявляются силы тяжести, ускорения в начальный период падения и силы механического взаимодействия частиц друг с другом и с жидкой фазой, вследствие чего происходит расслоение составляющих твердую фазу минералов по их удельным весам и крупности частиц».

Изложено представление об «идеальном» характере постели по крупности, форме зерен и удельному весу их. «Идеальной» постелью может быть такая постель, которая составлена из зерен неправильной формы крупностью, весьма близкой к крупности максимальных частиц разделяемого материала (но не более как $D_{\min} : d_{\max} = 1 : 1,5$), имеющих удельный вес, равный или немного больший, чем удельный вес легких минералов или их сростков с тяжелыми, которые мы хотим получить в хвостах отсадки.

Такая «идеальная» постель совершенно выполняет основную функцию постели — функцию клапана, избирательно пропускающего тяжелые частицы расслоившейся руды и задерживающего легкие. Такая постель создает также идеальные условия для надежной опоры частиц разделяемого материала в период сплоченного состояния твердой фазы. Таким образом обеспечиваются два основных условия идеальной работы искусственной постели.

При исследовании вопроса о механизме действия постели дана классификация зон постели и материала в соответствии с характером движения тяжелых частиц сквозь их толщу.

Первая зона характеризуется расслоением минералов в условиях стесненного падения в пределах размеров равнопадающих частиц тяжелых и легких минералов.

Вторая зона характеризуется движением тяжелых частиц смеси среди крупных частиц легких компонентов, имеющих большую скорость стесненного падения, чем движущаяся вниз частица тяжелого компонента. В этой зоне движение тяжелой частицы сопровождается расталкиванием в стороны и вытеснением вверх частиц легких минералов.

Третья зона характеризуется крупнопористым строением. Размер промежутков между зернами больше, чем раз-

мер движущейся тяжелой частицы. Движение тяжелой частицы в этой зоне возможно уподобить движению в «узких искривленных каналах».

В большинстве практических случаев отсадки имеют место две первые из указанных выше зон.

Кроме этого, рассмотрено несколько случаев взаимодействия легких и тяжелых частиц разделяемой смеси между собой, наглядно характеризующих характер движения вниз тяжелых частиц во второй зоне.

На основании анализа характера действия постели сделаны следующие выводы.

1. Первым и основным видом движения тяжелых частиц, происходящего в первой зоне постели в камере отсадочной машины, является стесненное падение массы зерен в период взвешенного состояния твердой фазы. Этот вид движения присущ частицам всего диапазона крупности материала, обогащаемого отсадкой. Поэтому при практическом осуществлении процесса отсадки необходимо стремиться к тому, чтобы период взвешенного состояния твердой фазы был максимально длительным.

2. Вторым, но существенно важным видом движений является движение тяжелых частиц в толще постели и разделяемого материала, вызываемых силами тяжести, силами проталкивающего воздействия на тяжелые частицы окружающих зерен легких минералов смеси, а также силами, возникающими в процессе всасывания. Этот вид движения является важной особенностью процесса отсадки и присущ только процессу отсадки. Он присущ частицам тяжелых компонентов тонкой, мелкой и средней крупности в пределах, по-видимому, до 5—6 мм.

3. Третий вид движения тяжелых частиц имеет подчиненный характер и может быть уподоблен движению в «узких каналах», но никак не обогащению в стесненных условиях. Он присущ в основном тонким и мелким частицам, максимальные размеры которых ограничиваются размером промежутков между зернами постели или материала третьей зоны.

4. Рассмотрение форм и видов движения в постели позволяет констатировать, что естественное течение процесса отсадки необходимо и все потери тяжелых частиц в хвосты являются следствием действия факторов (подрешетная вода, принудительный цикл и др.), привносящих в процесс отрицательные явления.

5. Новое толкование физической сущности процесса отсадки дает ясное и убедительное объяснение возможности отсадки неклассифицированного материала.

Некоторые практические выводы и предложения

На основании экспериментальных и теоретических исследований нами рекомендован ряд практических мероприятий, повышающих эффективность процесса отсадки тонкого материала, являющихся непосредственным, прямым следствием исследований.

Вместе с тем в данном разделе работы показана возможность более широкого использования результатов исследований.

1. Нами рекомендуется на базе использования легких и мелких постелей применять новую схему отсадки с получением продуктов от бедных к богатым. Эта схема названа нами «обратной» схемой. При «обратной» схеме отсадки возможно выведение из процесса отвалных продуктов в первой операции, что на примере работы трех камер отсадочной машины (или трех однокамерных машин) позволяет повысить производительность их в 1,8 раза.

2. С целью использования новой рациональной «обратной» схемы отсадки, а также использования потенциальных возможностей легких постелей для повышения технологической эффективности процесса отсадки нами рекомендуется схема нового рационального типа отсадочных машин. Рекомендуемая машина отличается от известных тем, что в одной подвижной круглой отсадочной камере располагаются друг над другом несколько решет, несущих на себе постели, удельный вес которых постепенно увеличивается от верхнего решета к нижнему.

3. Дается рекомендация разработки и применения рациональных схем гравитационного обогащения оловянных, вольфрамовых и других руд с широким использованием отсадочных машин вместо концентрационных столов. В этом случае отсадочные машины используются для стадийного обогащения с предварительным последовательным измельчением руды до конечной крупности, с применением в отдельных случаях концентрационных столов только для контроля. Как показали лабораторные экспериментальные исследования, такие схемы экономичны, технологически эффективны и просты в аппаратном оформлении и эксплуатации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Нашей работой преследовалась цель экспериментально исследовать влияние основных факторов непрерывного процесса отсадки тонкоизмельченных оловоносных материалов в моделях промышленных отсадочных машин. В ходе исследования влияния нагрузки, толщины надпостельного слоя руды, плотности исходного питания, количества подрешетной воды, физического характера постели, размаха и частоты колебания рабочего органа отсадочной машины и т. п. были изучены возможности повышения эффективности процесса отсадки тонкоизмельченных материалов.

2. В результате анализа имеющихся литературных источников по вопросам движения и расслоения минеральных частиц в процессе отсадки установлено следующее.

а) ни одна из существующих гипотез отсадки не объясняет полностью физической сущности процесса разделения минералов в отсадочных машинах.

б) ни в одном из проведенных ранее исследований не изучалась отсадка в моделях промышленных отсадочных машин при непрерывном течении процесса, а поэтому и не полностью учитывались явления, протекающие в отсадочных камерах.

в) почти все выводы в исследовании делались на основании частных случаев и не могли характеризовать процесса отсадки в общем виде.

г) подавляющее большинство исследований влияния основных факторов процесса отсадки проводилось не в их взаимодействии, в силу чего эти исследования не могли установить взаимосвязи между собой основных, решающих факторов процесса.

1. Такие факторы процесса отсадки, как производительность, толщина надпостельного слоя руды и скорость горизонтального потока в камере отсадочной машины, время отсадки и эффективность процесса взаимосвязаны. Так, при постоянной производительности и эффективности процесса толщина надпостельного слоя руды и скорость горизонтального потока находятся в обратной зависимости друг от друга. Однако при всех прочих равных условиях существует оптимальная толщина надпостельного слоя руды, выше и ниже которой эффективность процесса снижается. Эффективность процесса отсадки находится в обратной зависимости от нагрузки.

2. Количество и скорость восходящей струи подрешетной воды, удельный вес материала постели, эффективность процесса и крупность извлекаемых частиц тяжелых полезных минералов при постоянном составе по крупности твердой фазы также находятся во взаимозависимости. Например, в разных прочих условиях эффективность процесса отсадки тем ниже, чем выше расход подрешетной воды, а размер улавливаемых частиц тяжелых полезных компонентов находится в обратной зависимости от скорости восходящего потока подрешетной воды. При равной скорости восходящего потока подрешетной воды извлечение тяжелого компонента тем ниже, чем выше удельный вес материала постели.

3. Физический характер постели по крупности, форме зерен и по удельному весу их, толщина постели, размах колебания и частота колебания рабочего органа отсадочной машины находятся в тесной взаимосвязи. Чем толще слой постели и разделяемого материала (при всех прочих равных условиях), тем больше должен быть размах колебания исполнительного органа отсадочной машины. Чем выше удельный вес материала постели и крупность ее зерен, тем выше должна быть «средняя» скорость движения поршня (диафрагмы, сита) отсадочной машины. Исследованием показана необходимость применения рекомендуемого нами объективного графического и математического способа подбора параметров цикла отсадки по скорости стесненного падения максимальных зерен постели.

4. В качестве постели может быть использован материал любого удельного веса, равного (или немного большего) удельному весу минералов, направляемых в хвосты. При этом основным условием нормального ведения процесса должно являться обеспечение надежной опоры в период сплочения для разделяемых рудных частиц.

Сферическая форма зерен постели при равной крупности не обеспечивает надежной опоры частицами разделяемой руды, а потому вызывает низкую эффективность разделения минеральных частиц.

5. Толщина постели и эффективность процесса взаимосвязаны между собой; чем толще слой постели, тем выше эффективность процесса. Однако существует определенная толщина постели, при которой эффективность разделения достигает максимума, и с повышением ее технологические показатели процесса относительно стабилизируются.

6. Существует два противоречия процесса отсадки, одно из

которых заключается в том, что для разрыхления постели требуется большая интенсивность восходящих струй, а для разрыхления разделяемого рудного материала — меньшая. Второе противоречие заключается в том, что для лучшего разрыхления постели требуется меньший удельный вес, а для лучшего уплотнения — больший удельный вес материала постели.

7. В условиях отсадки постель расслаивается по крупности, что имеет важное значение для понимания физической сущности процесса. На основании исследований можно считать, что функция постели заключается в создании опоры для разделяемых рудных частиц; механизм действия постели можно уподобить механизму действия своеобразного клапана, то есть постель выполняет функцию клапана.

8. Для идеального осуществления функций постели последнюю необходимо подбирать из расчета создания надежной опоры для частиц легких минералов, направляемых в хвосты, и при учете наличия противоречий процесса отсадки.

Постель должна быть минимальной крупности (приближающейся к крупности максимальных частиц руды) и минимального удельного веса, равного (или близкого) удельному весу легких частиц или сростков минералов, которые мы желаем получить в хвостах.

9. Частота и размах колебания рабочего органа отсадочной машины находятся во взаимозависимости, подчиняющейся (наиболее близко) выражению $n \times h = \text{Const}$. Однако с повышением частоты колебаний поршня или диафрагмы относительные максимумы эффективности процесса имеют место при возрастающем значении произведения $n \times h$. И наоборот, в отсадочных машинах с подвижным ситом (независимый цикл отсадки) с увеличением частоты колебаний значение произведения $n \times h$ снижается.

Для каждого типа отсадочных машин, так же как для каждого физического характера разделяемого материала и постели и ее толщины, существует единственное оптимальное сочетание n и h , которое позволяет получить абсолютный максимум технологической эффективности процесса отсадки.

Определение оптимального значения частоты и размаха колебания рабочего органа отсадочной машины без учета взаимозависимости их с толщиной и физическим характером постели и разделяемого материала ошибочно.

10. Имевшиеся представления об аналогичном характере цикла отсадки в машинах, осуществляющих пульсацию жидко-

сти, и в машинах с подвижным решетом при одном и том же синусоидальном цикле движения не соответствуют действительности, а потому ошибочны. Кроме того, принятая классификация циклов отсадки не имеет всеобщего характера, а представляет только частный случай отсадки в машинах с пульсирующим потоком жидкости. Такие факторы процесса, как цикл отсадки, размах и частота колебания рабочего органа аппарата, рассматривались оторванно друг от друга, не во взаимосвязи. Кроме того, основные параметры цикла отсадки подбирались без учета физического характера постели.

В соответствии с этим нами дано новое определение «цикла отсадки», учитывающее различие и взаимосвязь движений рабочего органа отсадочной машины и движений в толще постели и разделяемого материала.

Дана классификация циклов отсадки, в основу которой положено различие характера воздействия цикла движений исполнительного органа аппарата на движение в постели и разделяемом материале. На основе внутренней взаимосвязи цикла отсадки и основных параметров предложено впрямь именовать последние «основными параметрами цикла отсадки». Дан объективный графический и математический способ подбора основных параметров цикла отсадки в зависимости от скорости стесненного падения максимальных зерен постели.

11. Проведен тщательный критический анализ существующих теоретических представлений о процессе и особенно двух основных, наиболее широко признанных гипотез отсадки, а также анализ физической сущности явлений, сопровождающих этот процесс. На основании этого нами предложено новое толкование отсадки как процесса расслоения и разделения минеральных частиц руды по удельным весам в условиях непрерывно повторяющегося перехода твердой фазы из состояния опоры во взвешенное состояние и обратно. Последнее является основой физической сущности процесса отсадки в противоположность представлениям Моиро о концентрации в «узких трубках» или «каналах» толщ постели.

Дано новое представление о характере движения тяжелых частиц в толще расслаиваемого материала и постели, а также определение зон постели в соответствии с различными видами движения тяжелых частиц.

12. Изложенное нами объективно истинное представление о физической сущности процесса отсадки и о механизме действия постели дает правильное объяснение возможности осуществления отсадки неклассифицированного и ширококлассифи-

цированного материала в отсадочных машинах. Идеальные условия отсадки неклассифицированного материала могут быть получены только в отсадочных машинах с подвижным решетом, то есть при независимом цикле отсадки. Эффективное разделение неклассифицированного материала требует достаточной толщины слоя разделяемого рудного материала для обеспечения надежной опоры для частиц легких материалов любого размера всего диапазона крупности исходного материала.

13. Проблема практической отсадки тонкоизмельченных материалов может быть решена путем использования рекомендаций о применении минимальных количеств подрешетной воды, легких постелей (с разумным учетом физического характера подлежащих отсадке тонких материалов), с учетом необходимости создания условий, обеспечивающих нормальное течение процесса непрерывно повторяющегося перехода твердой фазы из состояния опоры во взвешенное состояние и обратно, а также применения отсадочных машин с круглым подвижным решетом (независимый цикл отсадки).

14. Показана широкая возможность применения выводов наших исследований в практической отсадке путем использования способа отсадки на легких и мелких постелях, создания новых конструкций отсадочных машин, осуществляющих новую предложенную нами «обратную» схему отсадки с выделением продуктов от бедных к богатым, а также путем разработки рациональных технологических схем гравитационного обогащения руд с широким применением технологически и экономически эффективных аппаратов отсадочных машин.