

Мулява Г.С., к.т.н.

**Некоторые  
технологические  
аспекты  
в цветной  
металлургии**

2015 г.

---

**Григорий Сергеевич Мулява**  
**Григорий Сергеевич Мулява**  
**Некоторые технологические**  
**аспекты в цветной металлургии**

*[http://www.litres.ru/pages/biblio\\_book/?art=11282015](http://www.litres.ru/pages/biblio_book/?art=11282015)*

**Аннотация**

Настоящая книга составлена по материалам исследований, выполненных в отраслевом НИИ цветной металлургии. Часть статей (по виброкипящему слою) является кратким изложением диссертационной работы автора. Другие работы – в основном о процессах обжига, построены на данных рукописных трудов, где автор является руководителем и ответственным исполнителем НИР. Почти все из них в своей основе содержат результаты исследований процессов методом математического планирования эксперимента и могут быть полезны начинающему исследователю. В своей практике автору приходилось быть изобретателем. Тогда появлялись несколько необычные способы получения металлургических солей или проведения металлургических технологических процессов. В книге, так или иначе, затрагиваются такие способы, но суть их не излагается. Как правило, новые способы не защищены (они отмечены в тексте курсивом) и работа по их выводу в

свет может быть продолжена, но для этого требуется участие заинтересованного читателя этой книги.

Мулява Г.С., к.т.н.

Мулява Г.С., к.т.н.

Некоторые  
технологические  
аспекты

в цветной  
металлургии

Некоторые  
технологические  
аспекты

в цветной  
металлургии

2015 г.

2015 г.

**ВВЕДЕНИЕ**

Настоящая книга составлена по материалам исследований, выполненных в отраслевом НИИ цветной металлургии.

Часть статей (по виброкипящему слою) является кратким изложением диссертационной работы автора. Другие работы – в основном о процессах обжига, построены на данных рукописных трудов, где автор является руководителем и ответственным исполнителем НИР. Почти все из них в своей основе содержат результаты исследований процессов ме-

тодом математического планирования эксперимента и могут быть полезны начинающему исследователю.

В своей практике автору приходилось быть изобретателем. Тогда появлялись несколько необычные способы получения металлургических солей или проведения металлургических технологических процессов. В книге, так или иначе, затрагиваются такие способы, но суть их не излагается. Как правило, новые способы не защищены (они отмечены в тексте курсивом) и работа по их выводу в свет может быть продолжена, но для этого требуется участие заинтересованного читателя этой книги.

Большая часть материала ранее опубликована в научных журналах и сборниках – республиканского и союзного значения. В книге даны отражение и анализ главных составляющих таких публикаций. Принятый выбор и построение апробированного материала, соответственно, не потребовали для pdf – книги рецензии специалиста сторонней организации.

Если необходимо, читатель может комментировать полученную в книге информацию и связаться с автором этой книги для продолжения совместных работ в выбранном направлении.

Книга будет полезна практикам и теоретикам цветной металлургии – от инженеров действующего предприятия до студентов – металлургов.

Объём книги – 123 стр., в ней помещены 32 таблицы

и 57 рисунков.

Списки использованных источников содержат 23 ссылки – на сторонние и собственные работы.

## 1. ОТ ВАКУУМНОЙ СУШКИ К ОКИСЛИТЕЛЬНОМУ ОБЖИГУ В ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

### 1.1 Гидродинамические особенности и теплообмен вибрируемого в вакууме слоя полидисперсного материала

Одним из перспективных и экологически безопасных способов извлечения ртути из ртутно-сурьмяного концентрата (производится, как промпродукт, на Хайдарканском ртутном комбинате) является вакуум-термическая технология.

Она обеспечивает высокое (99%) извлечение ртути, резкое сокращение объема отходящих газов (в 70-100 раз) и сводит к минимуму потери сурьмы. Внедрение этой технологии в опытно-промышленном масштабе осуществлялось на Хайдарканском комбинате в аппарате непрерывного действия, в котором обжиг концентратов проводится в виброкипящем слое. Эксплуатация такого аппарата, как и проектирование подобных большей производительности, требует обоснования принятых параметров технологии.

Проведены исследования по кинетике возгонки киновари в вакууме, изучен теплообмен и транспорт вакуумированно-

го вибрируемого слоя огарка концентрата и показано влияние вакуума на процессы очистки от пыли горячих ртуть-содержащих газов. Однако этих данных недостаточно для обоснованного выбора параметров технологии, обеспечивающих ведение процесса в условиях, близких к оптимальным.

Нет рекомендаций по выбору амплитуд и частот вибрации, при которых нагрев слоя проводится при удовлетворительных тепло – и массообменных характеристиках, не определено влияние манометрического режима на величину энергозатрат процесса переработки, отсутствуют данные по зависимости времени пребывания слоя концентрата в зоне переработки от содержания в нем влаги и киновари. Известные результаты исследований теплообмена на огарке требуют подтверждения своей применимости к концентрату, а особенности поведения вакуумированного виброслоя могут быть объяснены после изучения его гидродинамики. Необходимо было определить влияние  $A$  и  $f$  вибрации на

продолжительность удаления влаги и киновари из слоя концентрата в вакууме,

также исследовать гидродинамику и теплообмен сухого вакуумированного слоя

концентрата в условиях вибрации, что представляет как научный, так и практический интерес и может быть применено в других областях металлургии.

### 1.1.1 Виброкипящий слой. Статический перепад давле-



Слой мелкодисперсного материала в газовой среде под воздействием вибрационных колебаний содержащего его сосуда испытывает в поле сил тяжести периодические воздействия, что приводит к возникновению ряда газодинамических эффектов. В частности, под слоем возникает статический перепад давления газа относительно внешней газовой среды (над слоем). Возникновение статического перепада признано открытием, [1], а эффект подробно описан в [2].

Замеры на слоях из монодисперсных частиц показали наличие отрицательного статического перепада давления газа для всех исследованных диапазонов параметров вибрации, высот слоёв и крупностей частиц, [2].

Мы провели исследования, выполнив измерения статического перепада на слое полидисперсного материала, когда распределение частиц по крупности приближается к нормальному логарифмическому. В качестве такого материала применили сухой, практически без масел и влаги, флотационный ртутно-сурьмяный концентрат (далее – полидисперсный материал). Для сравнения, в опытах применили также слои из монодисперсного кварцевого песка и порошка сульфида ртути  $\beta$ -модификации (метацинабарит).

Предварительно определили для исследуемых материалов: плотность частиц, плотность и порозность свободно на-



сыпанного слоя, средний диаметр частиц, удельные поверхности частиц (шарообразной формы и действительную), а также их фактор формы. Применили известные методики [3 – 8]. Результаты измерений физических и структурных характеристик частиц и слоёв материалов изложены в таблице 1.1.

Схема экспериментальной установки для измерения статического перепада давления на вибрируемом слое мелкодисперсных материалов при давлении воздуха (газов) меньше атмосферного (в низком вакууме) приведена на рисунке 1.1.

Установка включает вакуумный масляный насос 1 (тип – ВН-461М), дифференциальный жидкостный манометр 4 и ртутный вакуумметр 5, каждый с ценой деления шкалы – 1 мм. Материал помещали в вертикальный стеклянный

Таблица 1.1 Физико-химические и структурные характеристики свободно насыпанного слоя мелкодисперсных материалов в исследованиях статического перепада давления воздуха (газа) при вибровоздействии на слой. Высота слоя  $H_0$  - 60 мм, влажность < 1%

Материал	Плотность частиц, кг/м <sup>3</sup>	Плотность слоя, кг/м <sup>3</sup>	Порозность слоя $\epsilon_0$	Средн. диаметр частиц, мкм	Уд. пов. частиц-шаров, м <sup>2</sup> /кг	Действит. уд. поверхность частиц, м <sup>2</sup> /кг	Фактор формы частиц
1. Кварцевый песок	2600	1210	0,535	200	11,54	17,0	0,680
2. Метацинабарит*	7730	2565	0,668	-	-	539,0	-
3 Флото концентрат**	2820	820	0,709	14,45	147,3	284,2	0,518

\*С ульфид ртути β-модификации. \*\* - Вещественный состав: SiO<sub>2</sub>-61,0; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-11,0; Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub> -15,5.

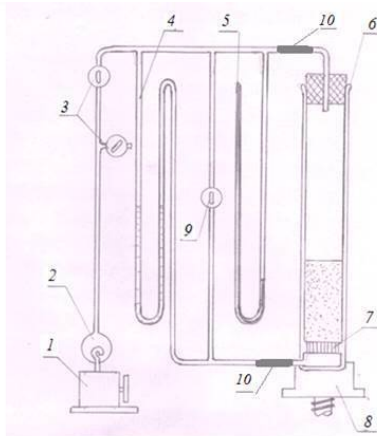


Рис. 1.1 Экспериментальная установка для измерения статического перепада давления газа на вибрируемом слое мелкодисперсных материалов в вакууме

1 - вакуумный насос; 2 - каплеуловитель; 3 - вакуумные краны; 4 - дифференциальный манометр; 5 - ртутный вакуумметр; 6 - цилиндр; 7 - пористое дно; 8 - стол вибростенда; 9 - байпасный кран 10 - вакуумный шланг

цилиндр 6 (внутренним диаметром 54 мм) с пористым ложным дном 7. Цилиндр

крепили на стол вибростенда с регулируемой частотой и амплитудой

вибрации. Эти параметры после их установки (частоты – с точностью  $\pm 0,5$  Гц, амплитуды –  $\pm 0,01$  мм) фиксировали и проводили измерения. В манометр 4 заливали дибутиловый эфир фталевой кислоты (плотность при  $25^{\circ}\text{C}$  –  $1,04 \text{ г/см}^3$ , температура кипения –  $300^{\circ}\text{C}$ ).

Краны 3 служат для герметизации установки, создания требуемого разрежения и отсоединения от атмосферы при проверке на герметичность. Кран 9 является байпасным и был открыт при задании необходимого разрежения в установке и закрыт при проведении замеров статического перепада манометром.

При измерении статического перепада на виброслое при температурах до  $500^{\circ}\text{C}$  цилиндр 6 с материалом нагревали в трубчатой электропечи, установленной над столом вибростенда осесимметрично цилиндру. Температуру в центре слоя измеряли термопарой ХК, показания которой преобразовывали на потенциометре с точностью  $\pm 5^{\circ}\text{C}$ .

Измерения статического перепада проводили в следующей последовательности. Засыпав в цилиндр заданное количество материала (формирующее слой требуемой высоты) и, установив необходимые параметры вертикальной вибрации цилиндра, давления газовой среды и температуры слоя, включали вибростенд, периодически закрывали байпасный кран на манометре и фиксировали установившийся во времени статический перепад. Замеры проводили 3 – 4 раза и данные усредняли.

Частоту и амплитуду вибрации во всех опытах принимали из расчёта, обеспечивающего виброкипящее состояние слоя. Если это специально не указано, все измерения проводили при температуре  $25^{\circ}\text{C}$  и в воздухе.

Результаты измерений статического перепада давления газа (воздуха) в вакууме при разных условиях и для разных материалов приведены на рисунках 1.2 – 1.7.

На рисунке 1.8 измерения  $\Delta P_{\text{ст}}$  проведены, кроме воздуха, в водороде и аргоне.

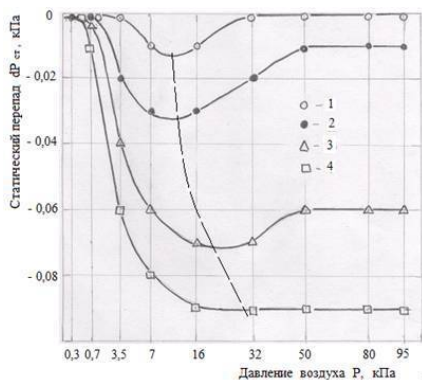


Рис 1.2 Зависимость статического перепада  $dP_{\text{ст}}$  на слое кварца фракции 200 мкм от давления воздуха при частоте вибрации  $f = 20$  Гц и амплитудах вибрации  $A$ , мм: 1 - 0,85, 2 - 1,15, 3 - 1,50 и 4 - 1,80. Начальная высота слоя  $H_0 = 60$  мм.

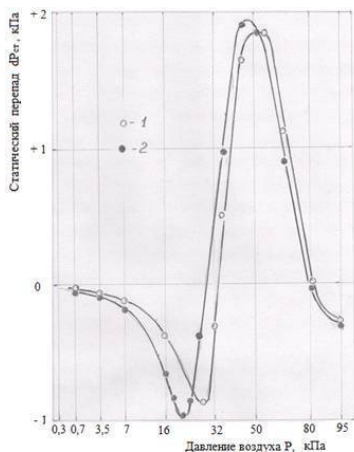


Рис.1.3 Зависимость статического перепада  $dP_{ст}$  на вибрируемом слое порошка метавивабарита ( $HgS_2$ ) от давления воздуха  $P$  при частоте вибрации  $f = 24$  Гц и амплитудах вибрации  $A$ , мм: 1 - 1,25, 2 - 1,75. Высота слоя  $H_0 = 90$  мм.

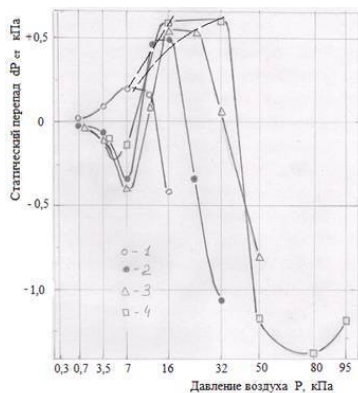


Рис.1.4 Зависимость статического перепада  $dP_{ст}$  на вибрируемом слое полидисперсного материала от давления воздуха  $P$  при амплитуде вибрации  $A = 1,9$  мм и частотах вибрации  $f$ , Гц: 1 - 20, 2 - 24, 3 - 28, 4 - 32. Высота слоя  $H_0 = 60$  мм.

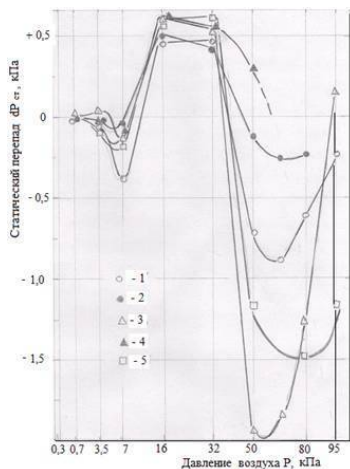


Рис.1.5 Зависимость статического перепада  $dP_{ст}$  на вибрируемом слое полидисперсного материала от давления воздуха  $P$  при частоте вибрации 32 Гц и амплитудах вибрации  $A$ , мм: 1 - 0,8, 2 - 1,15, 3 - 1,45, 4 - 1,75 и 5 - 1,90. Высота слоя  $H_0 = 60$  мм.

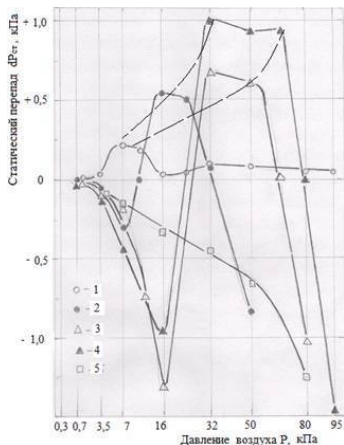


Рис.1.6 Зависимость статического перепада  $dP_{ст}$  на вибрируемом слое полидисперсного материала от давления воздуха  $P$  при частоте вибрации  $f = 27$  Гц, амплитуде вибрации  $A = 1,9$  мм и высотах слоя  $H_0$ , мм: 1 - 40, 2 - 60, 3 - 80, 4 - 100 и 5 - 140.

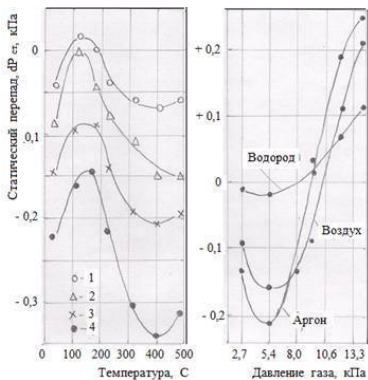


Рис.1.7 Зависимость статического перепада на вибрируемом слое полидисперсного материала от температуры при частотах вибрации  $f$ , Гц: 1 - 26, 2 - 27, 3 - 28 и 4 - 29. Давление  $P = 5,4$  кПа, начальная высота слоя  $H_0 = 50$  мм, амплитуда вибрации  $A = 0,75$  мм.

Рис.1.8 Зависимость статического перепада на вибрируемом слое полидисперсного материала от давления различных газов при 30 С. Частота  $f = 28$  Гц и амплитуда вибрации  $A = 0,75$  мм.  $H_0 = 60$  мм.

## 1.1.2 Виброкипящий слой. Структура



При определении статического перепада давления газа (воздуха) на виброкипящем слое мелкодисперсных материалов было замечено, что структура слоя зависит от знака (и величины) статического перепада.

Исследование структуры слоя проводили на установке, схема которой приведена на рисунке 1.9. Основная часть установки – прозрачный вертикальный цилиндр 6 (пирекс, диаметр – 54 мм), жёстко прикреплённый к столу электромеханического вибратора 11 с регулируемой частотой и амплитудой вибрации. В цилиндр засыпали необходимое количество материала и накрывали вакуумным колоколом 2. На колокол устанавливали крышку 3, в центр которой был ввинчен преобразователь колебаний слоя 4 с штоком 7, к которому был прикреплён шарик-зонд 8 из пенопласта. В шарик



вмонтировали три фотодиода 8/ под углом друг к другу – 120 град. Длину штока выбирали такой, чтобы зонд находился в середине слоя.

Линия замера динамического и статического перепадов давления газа состоит из ложного дна (фильтра) 9, вакуумной эластичной трубки для компенсации вибраций 10, преобразователя колебаний давления газа под слоем 14, дифференциального жидкостного манометра 15 (заполнен дибутилфталатом; плотность ДБФ –  $1,04 \text{ г/см}^3$ , температура кипения –  $300^\circ\text{C}$ ) и крана байпасной линии 16.

Преобразователь колебаний слоя в электрический сигнал 4 (точнее, как ниже будет отмечено, скорости колебаний слоя), как и преобразователь колебаний давления газа под слоем (14) изготавливали на основе сейсмоприёмника СПЭД-56М. При этом его катушку в торцевой части закрывали лёгкой глухой перегородкой для восприятия колебаний давления газа или, если нужно было фиксировать колебания слоя, к центру перегородки крепили шток с зондом. а в перегородке создавали отверстия для свободного протекания газа.

Систему: цилиндр, герметичная пробка с трубкой 21 и преобразователь колебаний слоя со штоком и зондом применяли затем для измерения собственных колебаний свободно насыпанного слоя мелкодисперсного материала в разных газовых средах в низком вакууме (см. рис. 1.9, справа).

# Конец ознакомительного фрагмента.

Текст предоставлен ООО «ЛитРес».

Прочитайте эту книгу целиком, [купив полную легальную версию](#) на ЛитРес.

Безопасно оплатить книгу можно банковской картой Visa, MasterCard, Maestro, со счета мобильного телефона, с платежного терминала, в салоне МТС или Связной, через PayPal, WebMoney, Яндекс.Деньги, QIWI Кошелек, бонусными картами или другим удобным Вам способом.