

П.А. БАКУМ

(Україна, Дніпропетровськ, Національний горний університет)

МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАБОТЫ СТРУЙНОГО ЗУМПФА

Изучение закономерностей работы любого обогащительного аппарата предполагает определенные затраты основных ресурсов (финансовых, трудовых, времени), и чем крупнее масштабы исследуемого объекта, тем большими являются затраты. В связи с этим, определению рационального режима работы горизонтальных и вертикальных сгустителей, дешламаторов и классификаторов способствует моделирование их работы в лабораторных условиях.

В данной работе предложены основные аспекты моделирования работы струйного зумпфа и методика проведения лабораторных исследований в условиях его эксплуатации на Вольногорском государственном горно-металлургическом комбинате (ВГГМК). Струйный зумпф применяется в качестве аккумулирующего и усредняющего железобетонного сооружения, в котором также осуществляется обесшламливание рудных песков.

При моделировании гидромеханических процессов физическое подобие достигается, когда все *безразмерные характеристики* для двух движений одинаковы. При моделировании зумпфа такой характеристикой является число Рейнольдса, зависящее от геометрических размеров модели.

Рассмотрим моделирование лабораторной установки с точки зрения геометрического и физического подобия. Струйный зумпф является вертикальным сгустителем гравитационного типа (рис. 1), работающий в противоточном режиме.

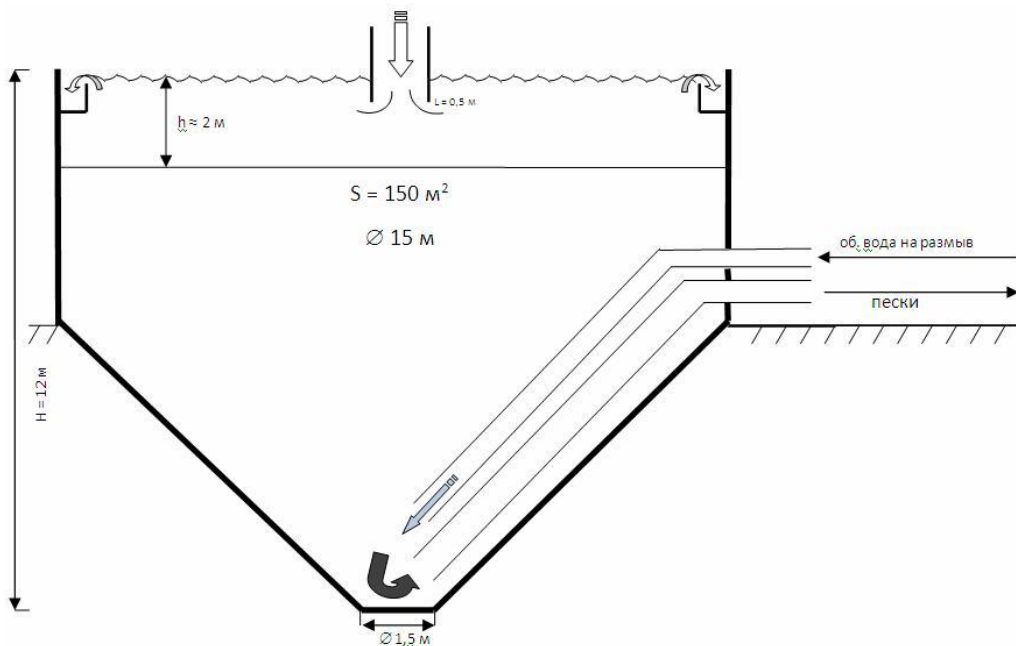


Рис. 1. Струйный зумпф диаметром 15 м, применяемый на ВГГМК

Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство

В таблиці 1 представлені результати розрахунку геометричних розмірів лабораторного зумпфа з урахуванням масштабного коефіцієнта ($k = 50$), і безрозмірний показатель протекання фізичного процесу (число Рейнольдса).

Таблиця 1

Результати розрахунку геометричного моделювання струйного зумпфа

Геометричне моделювання (масштабний коефіцієнт $k = 50$)			Безрозмірний показатель протекання фізичного процесу – число Рейнольдса	
Параметр	Натура	Модель	Натура	Модель
Общая высота, м	12	0,24	$Re = \frac{v \cdot d \cdot \rho}{\mu}$	$Re = \frac{v \cdot d \cdot \rho}{50 \cdot \mu}$
Высота цилиндрической части, м	5,25	0,105		
Диаметр верхнего основания, м	15	0,3		
Диаметр нижнего основания, м	1,5	0,03		
Угол наклона конусной части, град	45	45		

Как видно из таблицы, уменьшение размеров модели в 50 раз во столько же снижает и критерий Рейнольдса, а это, в свою очередь, приводит к изменению режима движения суспензии: с турбулентного на ламинарный. В нашем случае, когда модель меньше натуре, для сохранения величины числа Рейнольдса необходимо либо увеличить скорость потока суспензии, либо существенно изменить плотность и вязкость суспензии.

На практике эти обстоятельства вносят большие затруднения при изучении процессов обогащения. Специальные теоретические и экспериментальные исследования показывают, что в ряде случаев для обтекаемых тел число Рейнольдса заметно влияет на безразмерный коэффициент лобового сопротивления и иногда очень слабо влияет на безразмерный коэффициент подъемной силы. Следовательно, различие в значении числа Рейнольдса для модели и явления в натуре в некоторых вопросах не является существенным [1].

В дальнейшем, при переносе на натуре результатов исследований, полученных на модели, для сохранения подобия необходимо учитывать масштабный эффект – величину погрешностей.

Ниже кратко описаны устройство лабораторной установки и её принцип работы. Установка состоит из следующих основных частей: 1 – цилиндрикоконическая емкость (зумпф); 2 – смеситель; 3 – электродвигатель; 4, 5, 6 – центробежные (вихревые) насосы; 7 – блок-фильтр; 8 – вентильный кран.

Работа на установке производится следующим образом. Исходя из номинального объема всей системы (≈ 30 л), работающей в замкнутом цикле, рассчитывают необходимые объемы чистой воды и минеральной смеси (коллективного концентрата). Далее, наполняют смеситель 2 водой, включают насосы 4 и 6, и заполняют ею всю систему. После этого включают электродвигатель 3, приводящий в движение механическую мешалку, и засыпают сухую глину, которая диспергируется в воде и придает ей необходимую вязкость.

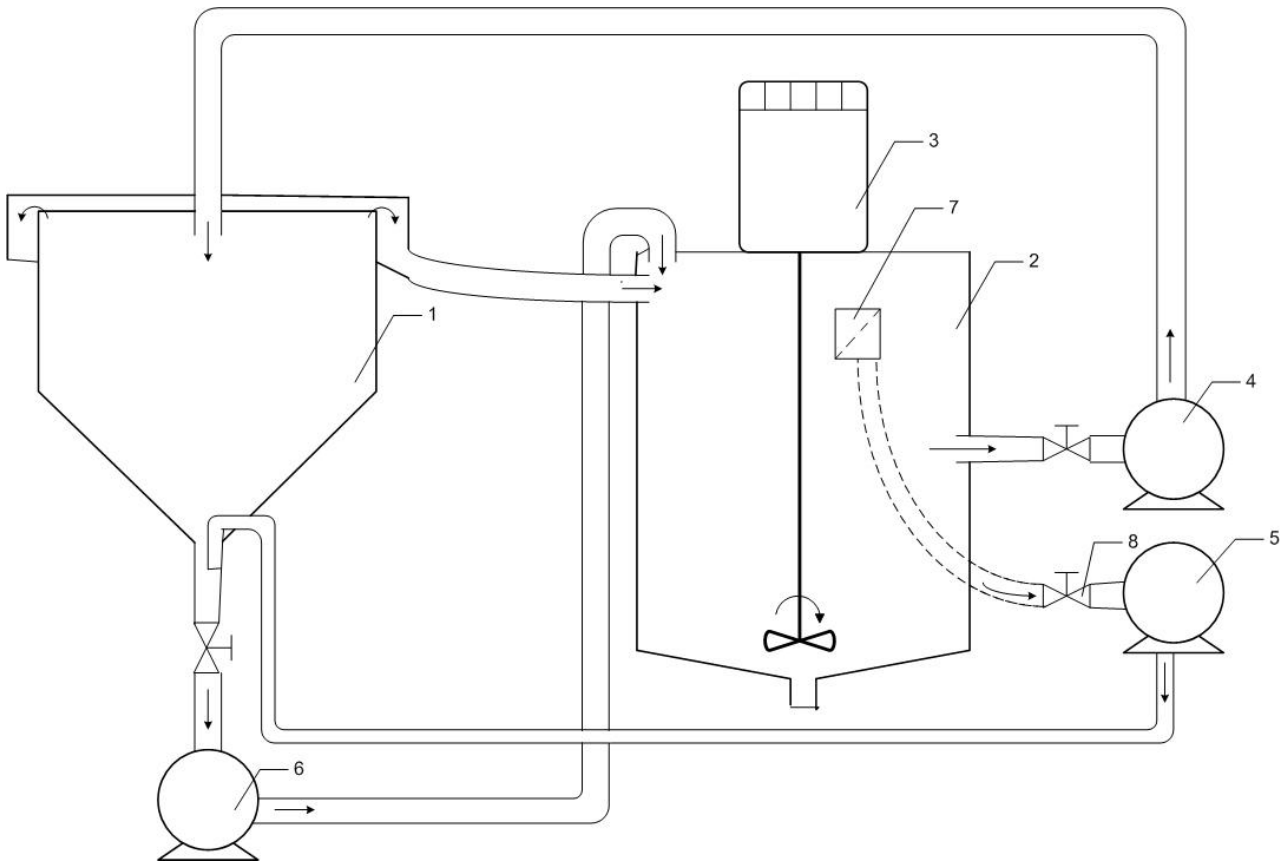


Рис. 2. Лабораторная установка, моделирующая работу струйного зумпфа в замкнутом цикле.

Следующим шагом будет постепенное добавление рудного песка. В случае, когда концентрация песка при проведении исследований является относительно высокой, и это препятствует перекачке песка (забивается трубопровод) насосом 6 в смеситель 2, то в работу включается дополнительный насос 5. Данный насос из смесительной ёмкости 2 через блок-фильтр 7 перекачивает небольшой объем осветленной суспензии в песковый насадок зумпфа 1, способствуя тем самым дополнительному разжижению сгущенного песка. При этом также следует учитывать, что при работе насоса 5 с заданной производительностью, необходимо настолько же увеличить и производительность насоса 6.

Наиболее эффективно регулировка всей системы по объемной производительности осуществляется путем непосредственного измерения объемного расхода питания и слива зумпфа при проведении исследований, и последующего его изменения соответствующими вентиляными кранами. Для этого, конструкция крепления питающей трубы и расположение сливного патрубка должны обеспечивать доступность отбора проб.

При проведении исследований минеральный состав исходной твердой фазы прием постоянным и, исходя из таблицы 2, рассчитаем плотность твердой составляющей суспензии.

Минеральный состав твердой фазы в питании струйного зумпфа

Минерал	Плотность, г/см ³	Крупность основной доли минерала, мкм	Массовая доля в поступающих песках, %
Циркон	4,5-4,65	63-140	0,34
Рутил	4,15-4,3	63-160	0,73
Ильменит	4,12-4,17	63-160	2,44
Ставролит	3,6-3,75	63-200	0,71
Дистен-силлиманит	3,2-3,5	63-200	1,28
Кварц	2,67	63-315	86,93
Глина	2,65	< 63	7,42

Объем твердой фазы составляет:

$$V_{m\epsilon} = \left(\frac{\beta_1}{\rho_1} + \frac{\beta_2}{\rho_2} + \dots + \frac{\beta_i}{\rho_i} \right) m_{m\epsilon}, \quad (1)$$

где β_i – содержание i -го минерала в поступающей минеральной смеси, дол. ед.; ρ_i – плотность i -го минерала в поступающей минеральной смеси, кг/м³; $m_{m\epsilon}$ – масса минеральной смеси, кг.

Из выражения (1) находим плотность минеральной смеси:

$$\rho_{m\epsilon} = \frac{m_{m\epsilon}}{V_{m\epsilon}} = \frac{1}{\frac{\beta_1}{\rho_1} + \frac{\beta_2}{\rho_2} + \dots + \frac{\beta_i}{\rho_i}}. \quad (2)$$

Для нахождения массы минеральной смеси при заданной концентрации твердой фазы в суспензии воспользуемся системой уравнений:

$$\left. \begin{aligned} V_c &= \frac{m_{m\epsilon}}{\rho_{m\epsilon}} + \frac{m_\epsilon}{\rho_\epsilon}; \\ c &= \frac{m_{m\epsilon}}{V_c}. \end{aligned} \right\}, \quad (3)$$

где V_c – объем суспензии, м³; $m_{m\epsilon}$, m_ϵ – масса твердой фазы и воды соответственно, кг; $\rho_{m\epsilon}$, ρ_ϵ – плотность твердой фазы и воды соответственно, кг/м³; c – массовая концентрация твердой фазы в суспензии, кг/м³.

Решение системы уравнений (3) относительно массы твердой фазы и воды

дає наступні вираження:

$$m_{m\epsilon} = c \cdot V_{m\epsilon}, \quad (4)$$

$$m_{\epsilon} = \rho_{\epsilon} \cdot V_c \left(1 - \frac{c}{\rho_{m\epsilon}} \right), \quad (5)$$

Методика отбору проб

Після того, як в систему засыпали пісок (т.е. почала циркулювати готова суспензія), необхідно почекати 10-15 мин. поки система прийде в рівноважне стан і невелике кількість піску відложиться в вигляді постелі в конічній частині зумпфа.

Нижче представлена пропозиційна карта розподілення точок отбору проб з об'єму зумпфа (рис. 3).

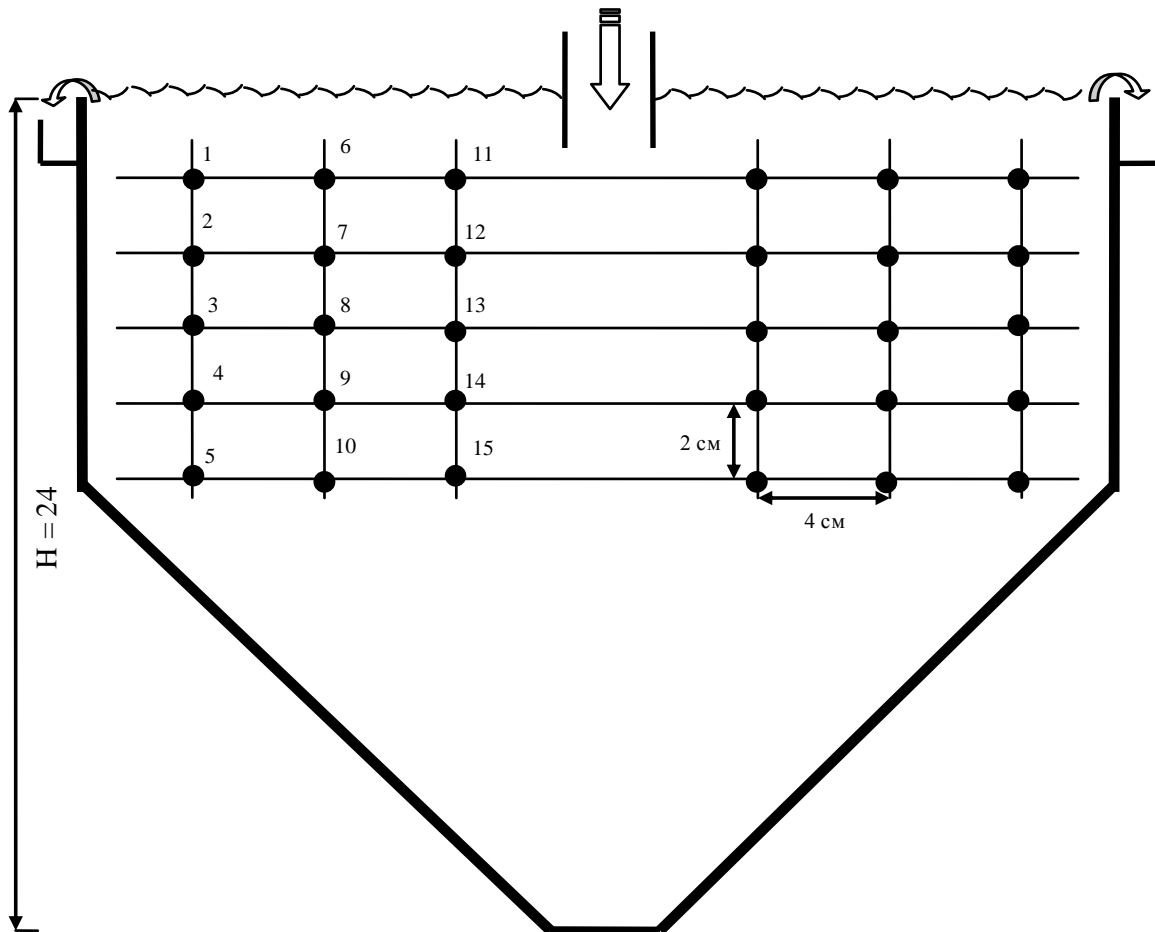


Рис. 3. Карта розподілення точок отбору проб в об'ємі струйного зумпфа

Отбор проб производится с помощью специально разработанного вакуумного пробоотборника, показанного на рисунке 4.

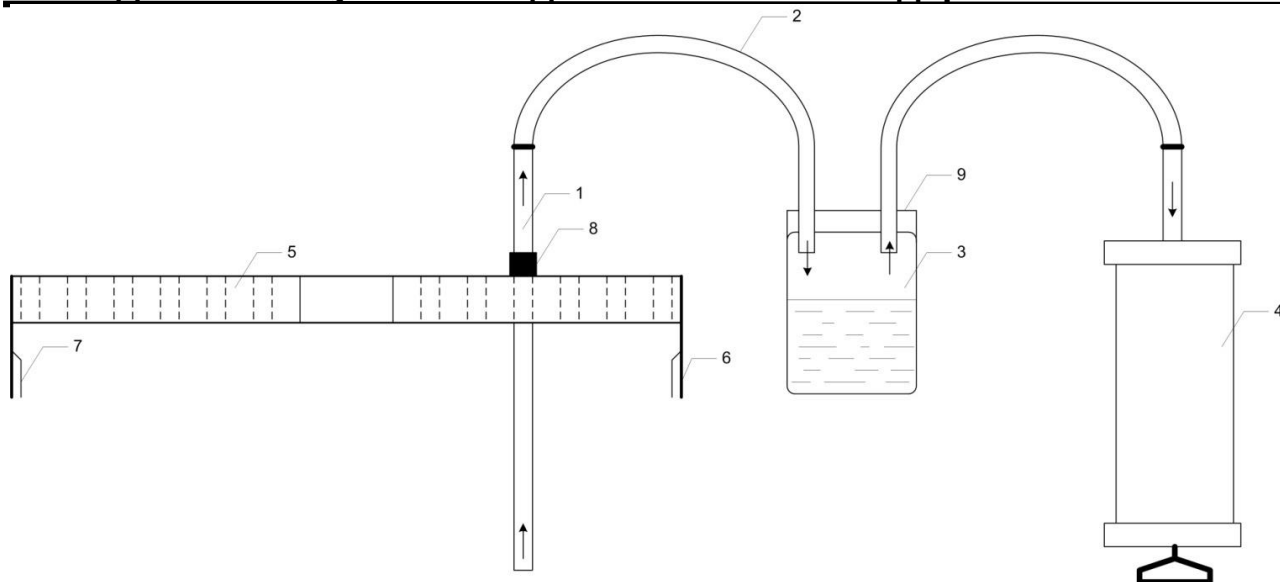


Рис. 4. Конструкція і принцип дії вакуумного прободборника

Прободборник складається з заборної трубки 1 діаметром 6 мм, з'єднаної гнучким шлангом 2 з сосудом 3 (об'ємом 250 мл). К сосуду 3 під'єднаний шприц 4, з допомогою якого створюють розрив у ємкості.

Для забезпечення надійної фіксації заборної трубки 1 в потрібній точці відбору застосовують спеціальну підставку. Підставка складається з деревостружечної плити (ДСП) 5 товщиною 30 мм з отворами діаметром, рівним зовнішньому діаметру заборної трубки, і підножок 6. Благодя пазам 7 в підножках, підставка легко кріпиться на зовнішньому борту сливного порога струйного зумпфа.

Після закріплення підставки заборна трубка занурюється в зумпф на потрібну глибину і закріплюється з допомогою резинового фіксатора 8. Далі, відтягнувши клапан шприца, створюємо розрив, що сприяє перетеканню суспензії з заборної трубки 1 в посуд 3. Постійний об'єм шприца забезпечує постійний об'єм відбираємих проб, а також забезпечує швидкість всмоктування суспензії вище критичної. Для трубок діаметром 10-25 мм критична швидкість становить 1,5-2 м/с. При швидкостях нижче критичних, великі частинки не потрапляють в пробу [2].

Після того, як проба була отримана, знімають кришку 9 з посуду і сливають суспензію. Всю систему (заборна трубка, з'єднаний шланг, посуд), потрібно промити чистою водою перед повторним відбором проби.

Кожна отримана проба вносить певне возмущення на закритий процес обесшлямливання, знижуючи рівень суспензії в змішувачі, що впливає на об'ємну продуктивність по живленню, і концентрацію твердої фази. Тому, раціональним буде після кожної отриманої проби привносити в систему такої ж об'єму суспензії з потрібної концентрації твердої фази.

Для визначення маси твердої фази $m_{тв}$, необхідної для приготування потрібного об'єму суспензії, умовно приймаємо, що відбирається суспензія складається з твердої фази вихідного мінерального складу і лише відрізняється

Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство

ся ее концентрацией. Пользуясь системой уравнений (6), находим выражение (7) для определения $m_{m\epsilon}$:

$$\left. \begin{aligned} V_c &= \frac{m_{m\epsilon}}{\rho_{m\epsilon}} + \frac{m_\epsilon}{\rho_\epsilon}; \\ m_c &= m_{m\epsilon} + m_\epsilon. \end{aligned} \right\}; \quad (6)$$

$$m_{m\epsilon} = \frac{\rho_{m\epsilon} \cdot m_c - \rho_{m\epsilon} \cdot \rho_\epsilon \cdot V_c}{\rho_{m\epsilon} - \rho_\epsilon}, \quad (7)$$

где m_c – масса суспензии (отобранной пробы), г; V_c – объем отобранной пробы (объем сосуда), см³.

Приготовленную суспензию выливают в смеситель и через 3-5 мин. продолжают отбор проб в соответствии с предложенной картой (рис. 3).

Планирование эксперимента

При исследовании обогатительных процессов важно выявить все влияющие факторы, а также оценить степень их влияния на процесс [3]. На первом этапе исследования предлагается рассмотреть только количественные характеристики влияющих факторов: массовую концентрацию твердой фазы в питании c , г/л; удельную нагрузку по питанию на единицу площади сгущения q , м³/(м²·ч). При этом, качественные характеристики (минеральный состав твердой фазы, температура рабочей среды и т.п.) принимаем постоянными.

Задача экспериментальных исследований заключается в изучении распределения твердой составляющей (а также тяжелых минералов) суспензии в объеме зумпфа путем отбора проб при изменении удельной нагрузки и концентрации твердой фазы питания аппарата.

Диапазон изменения концентрации твердой фазы в питании примем в пределах $c = 100 \div 500$ г/л с шагом в 100 г/л, а удельную нагрузку q будем изменять от 1 до 5 м³/(м²·ч) с шагом в 1 м³/(м²·ч).

Для расчета объемного расхода песка зададимся разжижением $R = 0,7$ согласно технологическим условиям эксплуатации дешламаторов на ВГГМК (для зумпфов диаметром 15 м):

$$V_{nec} = V_{m\epsilon} + V_{ж} = V_{m\epsilon} + R \cdot m_{m\epsilon} = \frac{m_{m\epsilon}}{\rho_{m\epsilon}} + R \cdot m_{m\epsilon} = m_{m\epsilon} \cdot \left(\frac{1}{\rho_{m\epsilon}} + R \right). \quad (8)$$

Результаты экспериментов заносятся в таблицу 3.

Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство

Таблиця 3

Результаты исследования распределения твердой фазы в объеме зумпфа

№ точки отбора пробы	Концентрация твердой фазы в питании c , г/л									
	Удельная нагрузка q , $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$									
	1		2		3		4		5	
	c , г/л	β_m , %	c , г/л	β_m , %	c , г/л	β_m , %	c , г/л	β_m , %	c , г/л	β_m , %
Слив										
1÷15										

Выводы

1. Разработана методика, позволяющая исследовать работу струйного зумпфа в открытом и замкнутом циклах, в широких диапазонах изменения удельной нагрузки и концентрации твердой фазы в питании зумпфа.

2. Разработана специальная конструкция вакуумного пробоотборника, которая позволяет исследовать распределение концентрации твердой фазы в рабочей зоне лабораторного струйного зумпфа согласно предложенной карте точек отбора проб.

3. Результаты экспериментального исследования могут быть использованы для установления рационального режима эксплуатации аппарата (снижение потерь полезных компонентов) и его конструктивных особенностей с целью совершенствования промышленного образца струйного зумпфа.

Список литературы

1. Седов Л.И. Методы подобия и размерности в механике. Изд. 8-е, переработанное – М.: Недра, 1977. – 440 с.
2. Козин В.З., Тихонов О.Н. Опробование, контроль и автоматизация обогатительных процессов: Учеб. для вузов. – М.: Недра, 1990. – 343 с.
3. Рубинштейн Ю.Б., Волков Л.А. Математические методы в обогащении полезных ископаемых – М.: Недра, 1987. – 296 с.

© Бакум П.А., 2012

Надійшла до редколегії 14.09.2012 р.
Рекомендовано до публікації д.т.н. Л.Ж. Горобець