

УДК 622.772:66.065

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИДРОЦИКЛОНОВ И ПЛАСТИНЧАТЫХ ОТСТОЙНИКОВ ДЛЯ УПЛОТНЕНИЯ ПУЛЬП ПЕРЕД ПРОЦЕССОМ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ



В. А. ТОЛКАЧЕВ,
ведущий научный
сотрудник,
канд. техн. наук



Н. П. ПАСХИН,
старший научный
сотрудник



Д. В. МАЙНИКОВ,
старший научный
сотрудник,
didima06@mail.ru

АО «ВНИИХТ», Москва, Россия

Введение

В настоящее время в гидрометаллургии урана, цветных и редких металлов широко распространены процессы сгущения и уплотнения пульп [1–4], полученных после операций обогащения, с целью удаления избыточной жидкости и сокращения объема материала, поступающего на выщелачивание. Такие процессы осуществляются в гидроциклонах и радиальных сгустителях, где разделение твердой и жидкой фаз происходит под действием центробежных и гравитационных сил.

Организация подобных процессов актуальна ввиду предполагаемого освоения Эльконского месторождения урановых руд, расположенного в Якутии (Республика Саха). Комплексная переработка руд этого месторождения позволит нарастить отечественные запасы урана, а также золота, серебра, молибдена и других элементов. Предлагаемые технические решения можно использовать для организации операций подготовки пульп к процессу выщелачивания при проектировании новых [5] и модернизации действующих промышленных предприятий.

При переработке урановых руд Эльконского района на стадии рудоподготовки специалисты АО «ВНИИХТ» предлагают измельчение руды до крупности $-0,3$ мм с использованием грохота компании Derrick и получение пульпы плотностью ~ 1200 кг/м³ (Ж:Т = 2,77:1). Перед операцией автоклавного выщелачивания такую пульпу необходимо сгущать до плотности не менее 1460 кг/м³ с целью снижения расходов реагентов и рабочих объемов аппаратов выщелачивания. Однако применение традиционных радиальных отстойников диаметром 50 м для сгущения пульпы с содержанием частиц класса $+0,1$ мм до 42 % в условиях крайне низких температур ($-50 \dots -60$ °С) в Якутии является проблемным. Возможное нарушение работы сгустителей может быть связано и с переуплотнением песков

Предложено техническое решение для сгущения пульпы в условиях крайне низких температур ($-50 \dots -60$ °С), основанное на применении гидроциклона и пластинчатого отстойника в закрытых помещениях. Исследования проведены на пульпе, полученной после измельчения урановой руды Эльконского месторождения до крупности $-0,3$ мм.

Ключевые слова: уплотнение пульп, сгущение, осаждение, пластинчатый отстойник, гидроциклон, флокулирующие реагенты, уран.

DOI: 10.17580/gzh.2018.07.15

из-за существенного снижения эффективности флокулирующих реагентов при понижении температуры. В связи с этим было предложено осуществлять уплотнение пульпы в закрытых помещениях с использованием гидроциклонов и пластинчатых отстойников.

Целью данной работы является исследование новой схемы уплотнения пульпы перед процессом выщелачивания, согласно которой исходная пульпа плотностью 1200 кг/м³ поступает на гидроциклон, слив которого отправляется на сгущение в пластинчатых отстойниках с добавкой флокулянта, после чего пески гидроциклона объединяются со сгущенным продуктом.

Методика и результаты исследования

Перед проведением полупромышленных испытаний процесса уплотнения пульпы с использованием гидроциклона и пластинчатого отстойника были выполнены предварительные лабораторные исследования, необходимые для оценки размеров гидроциклона и пластинчатого отстойника.

Для определения размеров пластинчатого отстойника использовали уравнения, рекомендуемые в [6]. Площадь пластинчатого отстойника F определяется по уравнению:

$$F = Q / (3,6V_0 m \sin \alpha), \text{ м}^2, \quad (1)$$

где Q – производительность по исходной пульпе, м³/ч; V_0 – скорость движения воды в пластинах, мм/с; m – число отстойников, ед.; α – угол наклона пластин к горизонту, град.

Рекомендуется [6]: $V_0 \approx 2\text{--}5$ мм/с при $\alpha = 60^\circ$ и $m = 1$. Также требуется расчет длины наклонных пластин (полок) L_n . При угле наклона входных сечений пластин $\gamma = 0^\circ$ длина полок составляет [6]:

$$L_n = \varphi \frac{V_0 2h}{U_0 \cos \alpha} - 2htg \alpha - 2hctg \alpha, \text{ м} \quad (2)$$

где φ – коэффициент, учитывающий равномерность распределения скоростей потока на входе в пластины; $2h$ – расстояние между пластинами, м; U_0 – скорость осаждения (выпадения) твердой фазы, или гидравлическая крупность задерживаемых частиц, мм/с.

При моделировании процесса в лабораторных условиях исходную пульпу с плотностью 1200 кг/м^3 разделяли на сите $0,1 \text{ мм}$, полагая, что при гидроциклонировании плотность песков гидроциклона составит $\sim 1650\text{--}1700 \text{ кг/м}^3$, а плотность слива будет составлять $\sim 1100 \text{ кг/м}^3$. Из нижнего продукта, образующегося при разделении на сите, готовили пульпу плотностью 1100 кг/м^3 .

Для расчета значения L_n экспериментально определяли кинетику осаждения частиц пульпы в слое глубиной 100 мм , где значение 100 мм принято в качестве стандартной величины [6], равной расстоянию $2h$ между пластинами.

Пульпу плотностью 1100 кг/м^3 , которая предположительно должна образовываться при гидроциклонировании, предварительно смешивали с $0,1\%$ -ным раствором флокулянта и отстаивали в цилиндре. Использование различных флокулирующих реагентов способствует существенному увеличению скорости отстаивания частиц и находит широкое применение в производстве [7–10]. В ходе лабораторных исследований наилучшие показатели по флокулированию пульп продемонстрировал неионный флокулянт Praestol 2500.

Эксперимент проводили в четырех цилиндрах объемом по 500 мл при различных расходах флокулянта. При отстаивании определяли время осаждения частиц пульпы на глубину слоя 100 мм . Жидкую фазу на высоте 100 мм от поверхности пульпы декантировали, измеряли ее объем и определяли содержание взвесей. Согласно результатам опытов, представленным в **таблице**, с увеличением расхода флокулянта время отстаивания пульпы на заданную глубину и содержание взвесей снижаются.

Для гидроциклона диаметром 27 мм , который планировали использовать в полупромышленных испытаниях, выход пульпы в слив составит около $10\text{--}12 \text{ дм}^3/\text{мин}$ ($0,6 \text{ м}^3/\text{ч}$) [11].

Принимая $V_0 = 5 \text{ мм/с}$ и подставляя полученные и принятые величины в уравнение (1), определяем минимальную площадь пластинчатого отстойника, необходимую для обеспечения указанной производительности: $F = 0,0385 \text{ м}^2$.

Принимаем $F = 0,04 \text{ м}^2$ и ширину пластины $b = 0,2 \text{ м}$.

На основании промышленной практики расстояние между пластинами $2h$ для опытного аппарата принимали равным 50 мм ($0,05 \text{ м}$). При этом отмечается [6], что для глубины слоя 50 мм в расчетах вполне допустимо использовать данные кинетики, полученные для глубины слоя 100 мм . Величину U_0 принимаем минимальной (с запасом) и равной $0,41 \text{ мм/с}$. Подставляем полученные значения в уравнение (2), где коэффициент φ в первом приближении равен 1 , тогда $L_n = 1,1 \text{ м}$.

Следует отметить, что в реальных условиях на процесс отстаивания отрицательно влияет ряд факторов, которые необходимо

Результаты отстаивания пульпы при различных расходах флокулянта Praestol 2500

Параметр	№ цилиндра			
	1	2	3	4
Расход флокулянта: 0,1%-ный раствор, мг/г твердого	0,4 5	1,2 15	1,6 20	2,0 25
Время отстаивания на глубину 100 мм , с	240	44	33	24
Скорость осаждения, мм/с	0,41	2,27	3,03	4,16
Содержание взвесей в декантате, г/л	0,57	0,22	0,09	0,08

учитывать. С этой целью определяем поправочный коэффициент φ . Для этого рассчитываем [6] значение числа $Re = V_0 h / \nu$ и безразмерного комплекса $L_n / (h Re)$, где ν – кинематический коэффициент вязкости жидкости (для воды $\nu = 0,01 \text{ см}^2/\text{с}$).

$$Re = 125; L_n / (h Re) = 0,35.$$

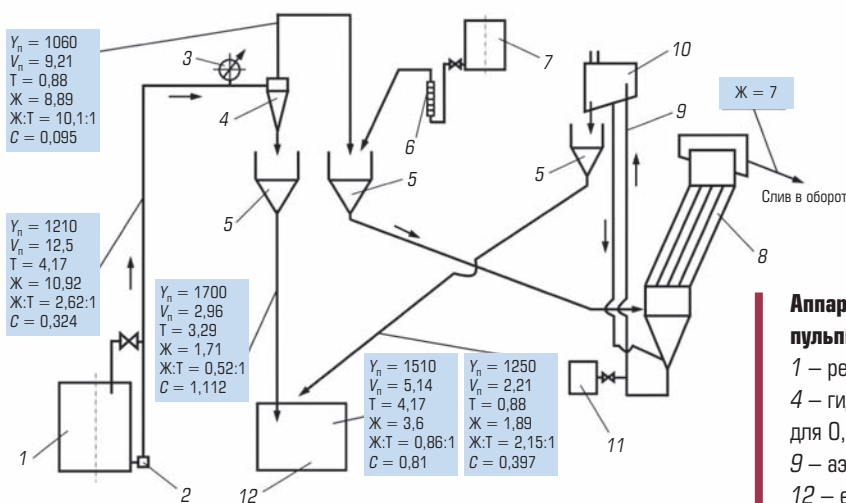
При соотношении $L_n / (h Re) = 0,35$ и $b/2h = 4$ поправочный коэффициент $\varphi = 1,18$ [6]. С учетом $\varphi = 1,18$ длина пластин L_n составит $1,3 \text{ м}$. Принимаем $L_n = 1,5 \text{ м}$.

При проектировании отстойника необходимо выбирать объем отстойной камеры таким, чтобы время пребывания пульпы в камере было достаточным для ее уплотнения [12]. С этой целью определяли плотность пульпы в цилиндре в зависимости от времени отстаивания. Результаты отстаивания и сгущения пульпы в цилиндре с оптимальным расходом флокулянта Praestol 2500 20 г/т представлены ниже.

Время отстаивания, мин	0,5	1	3	5	15	30
Плотность сгущенной пульпы, кг/м^3	1160	1200	1270	1300	1380	1430

В продолжение лабораторных исследований на Опытном химико-технологическом заводе (ОХТЗ) АО «ВНИИХТ» проведены испытания процесса уплотнения пульпы с использованием гидроциклона диаметром 27 мм с углом конусности 20° и пластинчатого отстойника ($F = 0,04 \text{ м}^2$, $2h = 50 \text{ мм}$, $L_n = 1,5 \text{ м}$) с объемом нижней отстойной камеры 15 дм^3 , рассчитанного в соответствии с рекомендациями и изготовленного из органического стекла. Разгрузка сгущенной пульпы пластинчатого отстойника осуществлялась аэролифтом через воздухоотделитель, который был установлен над отстойником. Сгущенная пульпа из воздухоотделителя через сменную калиброванную насадку поступала на смешение с песками гидроциклона, а остальная ее часть возвращалась самотеком в нижнюю часть камеры сгущения.

Аппаратурно-технологическая схема установки для уплотнения пульпы с расчетом материального баланса (в 1 мин) для одного из опытов представлена на **рисунке**. Гидроциклонирование проводили при давлении $0,18 \text{ МПа}$. Исходная пульпа плотностью 1210 кг/м^3 поступала в питание гидроциклона с расходом $12,5 \text{ дм}^3/\text{мин}$. Согласно данным материального расчета, около 80% твердой фазы выводится в пески гидроциклона высокой плотностью 1700 кг/м^3 . Плотность сгущенного продукта пластин-



Обозначения:

- Y_n – плотность пульпы, кг/м³
- V_n – объем пульпы, дм³
- T – количество твердого, кг
- $Ж$ – количество жидкого, кг
- $Ж:Т$ – соотношение жидкой и твердой фаз
- C – содержание твердого в пульпе, кг/дм³

Аппаратурно-технологическая схема уплотнения пульпы перед процессом выщелачивания:

- 1 – реактор; 2 – центробежный насос; 3 – манометр;
- 4 – гидроциклон; 5 – воронка; 6 – ротаметр; 7 – емкость для 0,1%-ного флокулянта; 8 – пластинчатый отстойник;
- 9 – аэролифт; 10 – воздухоотделитель; 11 – компрессор;
- 12 – емкость

чатого отстойника существенно зависит от расхода выгружаемой пульпы. В опыте, результаты которого представлены на рисунке, для получения сгущенной пульпы плотностью 1250 кг/м³ использовали калиброванную насадку диаметром 4,5 мм. Плотность объединенной пульпы песков гидроциклона и сгущенного продукта пластинчатого отстойника при постоянном расходе флокулянта составила ~1510–1530 кг/м³. Слив гидроциклона содержал следы частиц класса +0,1 мм, а декантат пластинчатого отстойника был практически прозрачным. При необходимости полученная объединенная пульпа перед выщелачиванием может быть разбавлена водой до любой меньше заданной плотности.

Для получения более плотной пульпы в пластинчатом отстойнике должен быть увеличен объем нижней отстойной камеры, который ориентировочно определяется на основании расчета необходимого времени пребывания в ней пульпы. Для этого флокулированную пульпу слива гидроциклона плотностью 1060 кг/м³ отстаивают в цилиндре больших размеров и находят зависимость плотности сгущенной пульпы от времени осаждения. Для выбранной плотности сгущения пульпы на основании расчета материального баланса определяют расход сгущенной пульпы и выход слива, после чего по разнице потоков исходной пульпы и слива определяют необходимый объем отстойной камеры.

Выводы

1. Исследован процесс уплотнения пульпы, полученной после измельчения урановой руды Эльконского месторождения до круп-

ности –0,3 мм с применением гидроциклона и пластинчатого отстойника.

2. В ходе экспериментов при плотности исходной пульпы ~1200 кг/м³ получены пески гидроциклона плотностью 1700 кг/м³ и слив плотностью 1060 кг/м³, который направляется в пластинчатый отстойник. Сгущенная пульпа плотностью 1250 кг/м³ объединяется с песками гидроциклона с получением пульпы плотностью 1510–1530 кг/м³, которую можно направить сразу на операцию выщелачивания или предварительно разбавить водой до требуемого значения плотности.

3. Для достижения заданной плотности сгущенной пульпы в пластинчатом отстойнике требуется увеличить объем нижней отстойной камеры, расчет которого следует выполнять на основании лабораторных исследований процесса отстаивания флокулированной пульпы слива гидроциклона.

4. Рекомендовано для сгущения пульпы в условиях крайне низких температур –50 ... –60 °С (например, в Якутии) вместо традиционных радиальных сгустителей применять гидроциклоны и пластинчатые отстойники, устанавливаемые в закрытых помещениях. Предложенные технические решения можно использовать для модернизации действующих промышленных предприятий.

Библиографический список

См. англ. блок. [\[1\]](#)

«GORNYI ZHURNAL», 2018, № 7, pp. 78–81
DOI: 10.17580/gzh.2018.07.15

Usage of hydrocyclones and thickening plates to densify pulp slurry before leaching

Information about authors

- V. A. Tolkachev¹, Leading Researcher, Candidate of Engineering Sciences
- N. P. Pashkin¹, Senior Researcher
- D. V. Mainikov¹, Senior Researcher; didima06@mail.ru

¹ Leading Research Institute of Chemical Technology, Moscow, Russia

Abstract

In hydrometallurgy of uranium as well as nonferrous and rare metals, pulp slurry fed from processing to leaching circuit is recommended to densify in order to remove extra water and to diminish the size of charge stock. Dewatering processes are conventionally carried out in hydrocyclones and radial thickeners intended for sedimentation of solid particles under action of centrifugal forces and gravity, respectively. For high productivity of modern mining-and-processing and metallurgical plants, thickeners to 50 m in diameter are available. A plant needs several such thickeners to provide total project capacity. Being large, such equipment is arranged in the open air; however, the outdoor installation and operation of the machines in the conditions of extremely low temperatures in the areas of the Far North, Far East of Russia, etc. is dramatically problematic. Moreover, under low temperatures, efficiency of flocculating

agents added in pulp slurry to accelerate precipitation of solids drastically decreases. Experts of the Leading Research Institute of Chemical Technology propose densifying pulp slurry using cyclones and thickening plates dimensions of which allow installation in the enclosed and heated areas. In the course of lab-scale research and full-scale tests, it was undertaken to separate initial pulp slurry with a density of 1200 kg/m³ in a cyclone, the discharge was fed to a thickening plate, added with a flocculant and densified to a density of 1250–1280 kg/m³. After mixture with cyclone sands, the pulp slurry density became 1510–1530 kg/m³. Such pulp slurry can be watered down to any density value before leaching.

Keywords: pulp slurry densification, thickening, sedimentation, thickening plate, hydrocyclone, flocculating agents, uranium.

References

1. Angadi S. I., Sreenivas T., Jeon H.-S. et al. A review of cassiterite beneficiation fundamentals and plant practices. *Minerals Engineering*. 2015. Vol. 70. pp. 178–200.
2. Jordens A., Marion C., Langlois R. et al. Beneficiation of the Nechalacho rare earth deposit. Part 1: Gravity and magnetic separation. *Minerals Engineering*. 2016. Vol. 99. pp. 111–122.
3. Shibayama K., Yokogawa T., Sato H. et al. Taganito HPAL Plant Project. *Minerals Engineering*. 2016. Vol. 88. pp. 61–65.

4. Akhmediyarov I. Kh., Grigoriev V. V., Krasavin V. P. et al. Mining-technical recultivation of Uchaly open pit, using dehydrated concentration tailings. *Gornyi Zhurnal*. 2014. No. 7. pp. 24–29.
5. Tolkachev V. A., Pashin N. P., Mainikov D. V., et al. Pulp slurry separation in countercurrent leaching of vanadium-bearing ore. *Leading Research Institute of Chemical Technology is 60: Collection of Scientific Papers*. Moscow: Vinpress, 2016. pp. 153–156.
6. Ivanov V. G., Semenov V. P., Simonov Yu. M. Usage of Thin-Layer Thickeners in the Paper-and-Pulp Industry. Moscow: Lesnaya promyshlennost, 1989. 176 p.
7. Reis L. G., Oliveira R. S., Palhares T. N. et al. Using acrylamide/propylene oxide copolymers to dewater and densify mature fine tailings. *Minerals Engineering*. 2016. Vol. 95. pp. 29–39.
8. Botha L., Davey S., Nguyen B. et al. Flocculation of oil sands tailings by hyperbranched functionalized polyethylenes (HBfPE). *Minerals Engineering*. 2017. Vol. 108. pp. 71–82.
9. Tolkachev V. A., Pashin N. P., Mainikov D. V. Stimulation of pulp slurry separation in beryllium production. *Tsvetnye metally*. 2017. No. 6. pp. 8–11. DOI: 10.17580/tsm.2017.06.01
10. Neizvestnykh N. N. Analysis of pulp slurry thickening in processing of ore of the Birkachan and Tsokol deposits. *Obogashchenie Rud*. 2014. No. 5. pp. 27–29.
11. Povarov A. I. Hydrocyclones. Moscow: Nedra, 1976. 199 p.
12. Zhang Y., Martin A., Grassia P. Prediction of thickener performance with aggregate densification. *Chemical Engineering Science*. 2013. Vol. 101. pp. 346–358.

УДК 621.643:622.349.5

ВЫБОР МАТЕРИАЛА ОБСАДНЫХ ТРУБ ДЛЯ ОБОРУДОВАНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СКВАЖИН ПОДЗЕМНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ



А. Г. ИВАНОВ,
главный технолог по ремонтно-восстановительным работам
канд. техн. наук,
Ivanov.a.g@hiagda.ru,
АО «Хиагда», Чита, Россия



И. Н. СОЛОДОВ,
директор программ инновационного
и технологического развития,
д-р геол.-минерал. наук,
АО «Атомредметзолото»,
Москва, Россия

Проанализированы свойства материалов полимерных труб, применяемых в качестве эксплуатационных колонн скважин подземного выщелачивания. Показаны соотношения нагрузок, возникающих в трубах при эксплуатации. Дано описание технологии оборудования устьев технологических скважин, сооруженных в условиях геокриолитозоны. Приведены данные об аварийности скважин, оборудованных трубами обоих типов, и рекомендованы области применения труб из этих материалов.

Ключевые слова: технологические скважины, обсадные трубы, полиэтилен низкого давления, непластифицированный поливинилхлорид, нагрузки на обсадные трубы, вязкоупругие пробки на устье.

DOI: 10.17580/gzh.2018.07.16

Введение

Добыча урана в условиях геокриолитозоны, особенности сооружения технологических скважин подземного выщелачивания (СПВ), применяемые конструкции скважин и связанные с этими технологические особенности широко отражены в научной литературе [1–12]. Настоящая статья посвящена определению оптимальной конструкции технологических скважин, предполагающему выбор материала обсадных труб и оценку области их применения.

В России и других странах СНГ с 1970-х годов на объектах СПВ в эксплуатационных скважинах в качестве обсадных труб традиционно использовали трубы из полиэтилена низкого давле-

ния (ПНД). В последние годы рудники СПВ в Казахстане и Узбекистане начали переходить на трубы из поливинилхлорида (ПВХ). В США и Австралии трубы ПВХ применяли с самого начала использования метода СПВ для освоения гидрогенных месторождений урана. На российских рудниках данный материал был неприменим из-за суровых климатических условий. Температура воздуха зимой опускается до –45 °С. В последние годы качество, морозостойкость и ударпрочность труб из непластифицированного поливинилхлорида (НПВХ) значительно возросли благодаря использованию различных модификаторов.