

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФИЛЬТРАЦИИ МЕДНО-НИКЕЛЕВОГО КОНЦЕНТРАТА НА ПРЕСС-ФИЛЬТРАХ**

**Белоглазов И.Н., Голубев В.О., Зиязитдинова О.В.,**

*Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет)*

**Чумаков Ю.А.,**

*Кольская горно-металлургическая компания. Комбинат «Печенганикель»*

**Куукка Ю., Рогов С.Н.**

*Компания «Larox», Финляндия*

*Проведена статистическая обработка экспериментальных данных по фильтруемости медно-никелевой пульпы комбината «Печенганикель» на фильтрах типа ФПАКМ (Larox PF). Получены регрессионные зависимости остаточной влажности и объема собранного фильтрата от характеристик исходной пульпы и параметров процесса обезвоживания. Оценена эффективность обезвоживания пульпы на пресс-фильтрах и указаны пути дальнейшего ее повышения. Определены оптимальные параметры комбинированного фильтрационного процесса и даны рекомендации по улучшению его технико-экономической эффективности.*

Фильтрационному разделению технологических растворов и пульп в настоящее время уделяется особое внимание во всем мире. Этот процесс относится к числу наиболее перспективных и насущных задач химической технологии, ключевым переделом химического, горнодобывающего, металлургического и многих других производств. Обострившаяся проблема эффективной фильтрации промышленных стоков и шламов – процесса, являющего зачастую лимитирующей стадией всей технологии, источником экологического риска и объектом высоких эксплуатационных затрат стала причиной быстрого развития этой области науки и техники, пик которого пришелся на 90-е годы прошлого столетия.

За два последние десятилетия фильтрационная промышленность совершила громадный скачок вперед. Сегодня на рынке фильтрационных технологий произошли заметные изменения. Как показывает статистика, широкое применение в различных отраслях промышленности приобретают фильтры типа ФПАКМ, известные также под марками Larox PF, FPM и др. Они выдерживают жесткую конкуренцию с вакуумными фильтрационными системами и постепенно заменяют их. Главными их достоинствами являются высокая эффективность обезвоживания пульпы, небольшая остаточная влажность кека, низкие энергозатраты, возможность полной автоматизации всего фильтрационного передела.

Новое поколение высокоинтенсивных и технологичных фильтров вертикальной конструкции, состоящих из расположенных друг над другом горизонтальных фильтровальных камер (конструкция ФПАКМ), позволяет реализовать все стадии разделительного процесса

(фильтрация пульпы, промывку и сушку образующегося кека) в объеме одного аппарата и без каких-либо дополнительных операций получать готовый продукт (рис. 1).

Первый фильтр-пресс типа ФПАКМ – детище харьковского завода «Прогресс» за короткий срок снискал славу, как в СССР, так и за рубежом, где он известен как «украинский фильтр». Пресс-фильтр был запатентован в США, Англии, Франции, ФРГ, Японии, с успехом демонстрировался на международных выставках в Париже, Лондоне, Загребе, получил широкую известность в Европе и Канаде. ФРГ, США, Финляндия и Япония приобрели лицензии на право его производства.

Дальнейшее развитие семейства фильтров ФПАКМ получило уже за рубежом. В отечественную конструкцию пресс-фильтров были внесены множественные изменения, коснувшиеся совершенствования конструкции фильтровальных камер, создания гидравлического привода, модернизации автоматики, увеличения вместимости фильтровальных камер и мощности оборудования.

Вертикальные автоматизированные пресс-фильтры с горизонтальными камерами по сей день являются ординаром мирового фильтроостроения. Оригинальность этих фильтров заключена, в сравнительно небольшой по размеру фильтровальной камере, где под действием высокой разности давлений последовательно реализуются процессы фильтрации пульпы, промывки и сушки образующегося кека, что обеспечивает более низкую остаточную влажность продукта по сравнению с другими фильтрами. Сверхпрочные полиэстеровые и полиакриловые фильтровальные ткани, используемые в качестве фильтровальной перегородки во ФПАКМ надежно задерживают частицы размером до 5-10 мкм, сводя к минимуму проскок твердой фазы в фильтрат.

Использование этих фильтрационных комплексов позволяет существенно сократить расходы на разделение суспензий в сравнении с вакуумными фильтрационными системами (в ряде случаев на 70 %). Высокий экономический эффект обеспечивается исключением из технологической схемы предприятия передела репульпации, обязательной операции при промывке кека; сушки в барабанных сушилках, из-за чего исчезает необходимость в использовании топлива или сокращаются его объемы. В результате снижение объемов выбросов в атмосферу газов и пыли, а соответственно и тяжёлых цветных металлов, снижается вредное воздействие производства на окружающую среду. Использование вертикальной конструкции фильтра, обеспечивающей работу гравитационных сил, сочетание высокого давления прессования с воздушной сушкой, применение плотных тканей и полная автоматизация выдвигают автоматические пресс-фильтры с горизонтальными камерами и гидравлическим приводом на передний край фильтрационной технологии [1].

Одним из неоспоримых достоинств фильтров такого типа является возможность максимальной адаптации установки для решения конкретных задач фильтрации, что дает выигрыш в эффективности при разделении заданной пульпы с ограниченным диапазоном свойств с достижением требуемой производительности. Создание адаптированного фильтрационного оборудования требует детального изучения свойств пульпы и механизма протекания всех стадий процесса разделения, что на фоне малой изученности фильтрационных процессов, сопутствующей им разрозненности и сугубой индивидуальности теоретических и экспериментальных знаний в этой области представляется весьма затруднительным. Ввиду отсутствия удовлетворительного алгоритма расчета процессов фильтрации, промывки и сушки, несмотря на то, что протекающие в таких фильтрах разделительные процессы подобны, при численных расчетах конкретного оборудования используют несколько альтернативных методик, сопоставляя результаты и подтверждая адекватность каждой из них экспериментально. Часто при решении практических задач и проектировании новых технологических схем исследователи ориентируются только на данные практики и результаты экспериментов. Поэтому многие производители фильтров пренебрегают модельным расчетом фильтрации, осваивая выпуск пилотных лабораторных фильтровальных установок, служащих физическими моделями промышленных фильтр-систем.

В СНГ пресс-фильтры типа Larox PF сегодня работают на ряде горно-металлургических предприятий, в том числе на комбинате Печенганикель. Их установке предшествовал ряд научно-исследовательских работ, которые были проведены на пилотном лабораторном пресс-фильтре Larox PF 0.1 H2 в Санкт-Петербургском государственном горном институте совместно с компанией Larox [2, 3]. Результаты исследований представлены в табл. 1.

Таблица 1

**Показатели фильтрования флотационных концентратов  
на пресс-фильтрах Larox PF**

<b>Концентрат</b>	<b>Влажность, %</b>	<b>Скорость фильтрации, кг/м<sup>3</sup>час по сухому</b>
Медный	5-8	140-900
Кобальтовый	7-8	200-600
Никелевый	5-7	250-800
Цинковый	4,7-8	200-1150
Свинцовый	6,5-9	300-900
Оловянный	4,5-8	450-650
Магнетитовый	7,5-10,5	200-400
Апатитовый	6-10	400-550
Кальцитовый	5,5-9	200-450
Тальковый	7,9-14	250-400

При модернизации фильтрационного передела на комбинате «Печенганикель» были проведены испытания пульпы медно-никелевого флотационного концентрата следующего фракционного состава твердой фазы: 90 % - 63 мкм, 80 % - 45 мкм, 55% -20 мкм, 15% -5 мкм. Установлено, что наибольшая эффективность фильтрации достигается с использованием полиэстеровой фильтроткани марки 71-2215-K3L1 с воздухопроницаемостью 6 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·мин). Полученный результат фильтрации под давлением на пресс-фильтрах Larox PF заметно превзошел возможности эксплуатировавшихся ранее дисковых вакуумных фильтров. Остаточная влажность коржа снизилась с 15-20 до 10-12 % (табл. 2).

Таблица 2

№ опыта	1	2	3	4	5	6	7
Влагосодержание пульпы, % по массе	24,57	26,86	26,84	25,24	27,89	27,52	24,51
Плотность пульпы, кг/м <sup>3</sup>	1870	1860	1860	1870	1870	1850	1850
Длительность подачи, мин	1,0	1,5	1,5	1,0	1,5	1,5	1,5
Длительность прессования 1, мин	2,5	2,0	1,5	1,5	2,0	2,5	2,0
Длительность стадии сушки, мин	6,0	5,0	3,5	4,0	10,0	8,0	3,0
Давление подачи, бар	5,25	6	6	6	5	6	5,75
Давление воды прессования 1, бар	16,25	15,75	16,25	16,25	16,5	16,5	16,5
Давление воздуха при сушке, бар	5,5	6	5,5	6,5	7	6,25	6,75
Макс. расход воздуха, л/мин	450	400	400	180	180	330	200
Относ. изм. расхода воздуха, % к макс.	93,33	90,00	90,00	27,78	83,33	15,15	10,00
Толщина коржа, мм	39	50	49,5	40	39	40	39
Масса коржа, кг	8,29	8,44	8,45	9,18	8,56	8,64	8,93
Влагосодержание коржа, % по массе	11,05	8,05	11,51	9,76	11,3	9,82	10,9
Содержание тверд в фильтрате, мг/л				2540		1932	
Миним. расход воздуха, л/мин	30	40	40	130	30	280	180
Масса фильтрата, кг	2,7	3,1	3,1	3,1	3,31	3,28	2,9
Производительность, кг/(м <sup>2</sup> *час)	327,73	372,51	427,28	473,37	260,32	292,18	454,66

Учитывая успешность лабораторных испытаний руководством предприятия было принято решение о приобретении двух автоматических пресс-фильтров Larox PF 96 A1 60 с площадью фильтрации по 96 м<sup>2</sup> каждый, которые запущены в работу в октябре 2001 и январе 2002 года.

Пресс-фильтры установлены на отметке 26,5 м и оснащены двухскоростными приемными конвейерами для обеспечения непрерывной подачи кека. Пресс-фильтры логически связаны между собой, что позволяет снизить количество единиц вспомогательного оборудования (баковой аппаратуры, насосов), обеспечивающего непрерывную работу фильтров. Программируемый логический блок пресс-фильтра Larox управляет работой всего дополнительного оборудования фильтрационного отделения и координирует ее. Модемная связь с центральным офисом компании Larox в Финляндии позволяет эффективно на расстоянии корректировать работу пресс-фильтров и всего отделения фильтрации.

Практика эксплуатации пресс-фильтров Laroх в цехе обжига комбината «Печенганикель» показывает, что при всех колебаниях свойств фильтруемой пульпы пресс-фильтры обеспечивают стабильные технологические показатели. Работая с цикличностью 15 мин, две установки достигают производительности 65-70 т/ч по сухому продукту при влажности получаемого кека 9,5-10,5 %.

Для дальнейшего поиска возможных направлений повышения эффективности автоматических пресс-фильтров с горизонтальными камерами при обезвоживании металлургических пульп и, в том числе, медно-никелевой пульпы комбината «Печенганикель» на базе кафедры Печей, контроля и автоматизации металлургического производства и кафедры Обогащения полезных ископаемых Санкт-Петербургского государственного горного института была создана инициативная группа, занимающаяся вопросами интенсификации, совершенствования математического описания и аппаратурного оформления многостадийных фильтрационных процессов. В результате анализа обширных литературных данных составлено обобщенное математическое описание процесса обезвоживания пульпы на пресс-фильтрах, проанализированы достоинства и недостатки различных фильтрационных систем, используемых на российских и зарубежных предприятиях [4].

В настоящее время ведутся работы по экспериментальной проверке адекватности и адаптации математической модели реальным условиям протекания процессов. С этой целью проводится статистическая обработка экспериментальных данных по фильтруемости пульп медного, медно-никелевого, никелевого, пиритного, цинкового и других концентратов на пресс-фильтрах Laroх. Целью исследования ставится выявление множественных корреляций между характеристиками исходной пульпы (влажностное содержание, плотность), параметрами процесса (длительность фильтрации, прессования и сушки; диафрагменное давление на стадиях фильтрации, промывки и сушки) и показателями эффективности процесса обезвоживания (величина остаточного влажностного содержания кека, производительность по сухому продукту, объем полученного фильтрата), служащими функциями отклика. Статистическая обработка позволила выявить значимые факторы и синтезировать регрессионные зависимости, описывающие комбинированный процесс обезвоживания пульпы на пресс-фильтре. Установлено, что экспериментальные результаты фильтрации под давлением могут быть аппроксимированы следующими регрессионными зависимостями:

$$W_{kek} = e^{a_0} \cdot RO_{pulp}^{a_1} \cdot (T_{filtr} P_{filtr})^{a_2} \cdot (T_{press} P_{press})^{a_3} \cdot (T_{dry} P_{dry})^{a_4} \cdot PR^{a_5}; \quad (1)$$

$$V_{filtr} = e^{a_0} \cdot RO_{pulp}^{a_1} \cdot (T_{filtr} P_{filtr})^{a_2} \cdot (T_{press} P_{press})^{a_3} \cdot (T_{dry} P_{dry})^{a_4} \cdot PR^{a_5}, \quad (2)$$

где  $W_{kek}$  – остаточное влагосодержание кека, % по массе;  $W_{pulp}$  – плотность пульпы, кг/м<sup>3</sup>;  $T_{filtr}$  – длительность фильтрации, мин;  $T_{press}$  – длительность прессования, мин;  $T_{dry}$  – длительность стадии сушки, мин;  $P_{filtr}$  – давление фильтрации, бар;  $P_{press}$  – давление воды прессования, бар;  $P_{dry}$  – давление воздуха при сушке, бар;  $PR$  – производительность, кг/(м<sup>2</sup>час);  $V_{filtr}$  – объем собранного фильтрата, м<sup>3</sup>.

Значения коэффициентов регрессионных зависимостей для медно-никелевого флотационного концентрата комбината «Печенганикель» представлены в табл. 3.

Таблица 3

**Коэффициенты регрессионных зависимостей (1) и (2)  
для флотационного концентрата к-та «Печенганикель»**

Концентрат	a0	a1	a2	a3	a4	a5
$W_{kek}$	505	-63,8	-1,39	-1,45	-0,48	-2,07
$V_{filtr}$	76,6	-9,94	0,0092	-0,36	0,182	-0,019

Среднеквадратичные отклонения расчетных значений остаточной влажности кека и объема собранного фильтрата от результатов, полученных в серии экспериментов, составили 0,615 и 0,974 соответственно. Отклонения расчетных и экспериментальных результатов даны на рис. 2. Диапазоны изменения параметров, при которых приведенные выше регрессионные уравнения можно считать адекватно описывающими комбинированный фильтрационный процесс приведены в табл. 4.

Таблица 4

**Диапазон адекватности регрессионных уравнений (1) и (2)  
и оптимальные параметры фильтрации**

Параметр	Cu-Ni концентрат к-та «Печенганикель»	
	min - max значения	оптим. значения
$W_{pulp}$ , % масс	24 - 28	-
$RO_{pulp}$ , кг/м <sup>3</sup>	1850 - 1870	-
$T_{filtr}$ , мин	1,0 – 1,5	1,1
$T_{press}$ , мин	1,5 – 2,5	2,5
$T_{dry}$ , мин	3,5 - 10	5
$P_{filtr}$ , бар	5 - 6	5
$P_{press}$ , бар	15,75 - 16,5	16
$P_{dry}$ , бар	5,5 - 7	6,75

На основе регрессионных зависимостей (1-2) был проведен расчет оптимальных параметров работы пресс-фильтра из расчета минимальной остаточной влажности кека. Оптимизация проводилась отдельно по каждому из опытов. В результате было установлено, что остаточная влажность кеков, получаемых в комбинированном фильтрационном процессе может

быть существенно снижена при той же величине производительности в 1,5 раза по сравнению с достигавшейся в опытной серии (рис. 3).

Наряду с оптимальными параметрами обезвоживания, регрессионные уравнения позволили проанализировать влияние продолжительности и диафрагменного давления на стадиях фильтрации и прессования на эффективность последующего процесса сушки, а также оценить долю влаги, удаляемой из кека на каждой стадии. На рис. 4 изображена диаграмма, демонстрирующая сравнительную эффективность фильтрации, промывки и сушки при обезвоживании медного концентрата в серии из 16 опытов.

Можно заметить, что при большой начальной влажности и малой плотности пульпы медного (порядка 1450 кг/м<sup>3</sup>) стадия прессования играет гораздо большую роль в процессе обезвоживания, нежели в случаях, когда плотность пульпы приближается к 2000 кг/м<sup>3</sup>. Это может быть объяснено двумя причинами: при неполном заполнении камер (опыты 1-8) по окончании стадии фильтрации образуется слой жидкой фазы, который при последующем прессовании удаляется с выделением значительного количества фильтрата. Дальнейшее повышение диафрагменного давления прессования ведет к сжатию осадка (коэффициент сжимаемости для кека медного концентрата близок к 0,7-0,8) и снижению воздухопроницаемости слоя, что затрудняет процесс сушки с просачиванием и приводит к повышенным затратам энергии пневмонасоса [4] и снижению эффективности обезвоживания в целом.

## ЛИТЕРАТУРА

1. На переднем крае фильтрационных технологий / *И.Н. Белоглазов, В.О. Голубев* // Цветные металлы, № 7, 2003. с. 69-74.
2. Оптимизация процессов разделения суспензий с использованием фильтр-прессов компании Лагох Оу // *И.Н. Белоглазов, О.Н. Тихонов, В.О. Голубев* // Записки Горного института, Т. 147, 2001. с. 164-170.
3. Применение пресс-фильтров компании «Лагох Оу» для обезвоживания суспензий глиноземного производства / *И.Н. Белоглазов, О.Н. Тихонов, В.О. Голубев* // сб. труд. межд. выставки «Металлургические технологии и экология», СПб: Руда и металлы, 2001. с. 80-81.
4. *Белоглазов И.Н., Голубев В.О., Тихонов О.Н., Куукка Ю., Яскеляйнен Э.* Фильтрование технологических пульп. М.: ФГУП «ИД «Руда и металлы», 2003. – 320 с.



Рис.1. Автоматизированные пресс-фильтры компании Larox, серия «С» с площадью фильтрации (слева направо) 1,6; 15; 30 и 60 м<sup>2</sup>

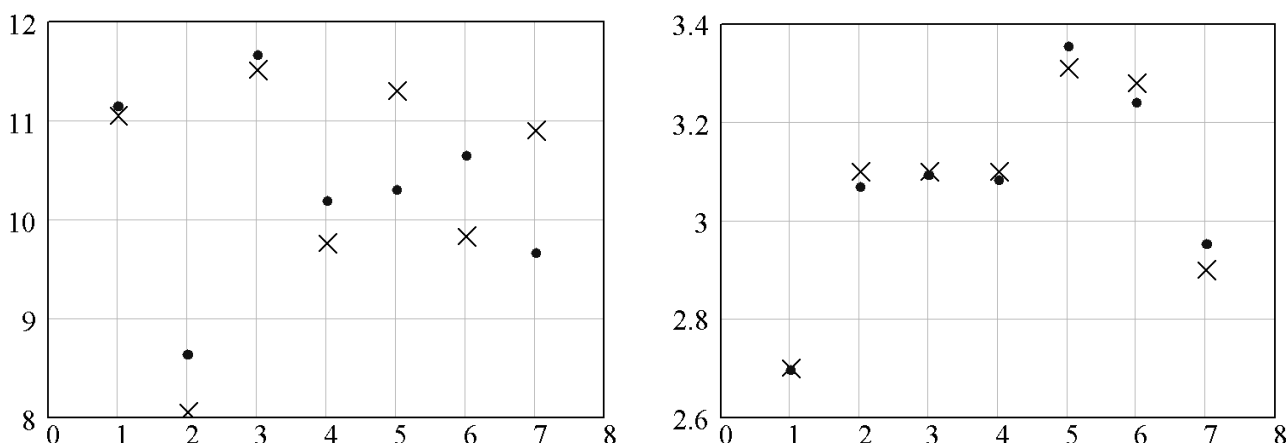


Рис. 2. Отклонение экспериментальных и расчетных значений остаточной влажности кека и объема собранного фильтрата

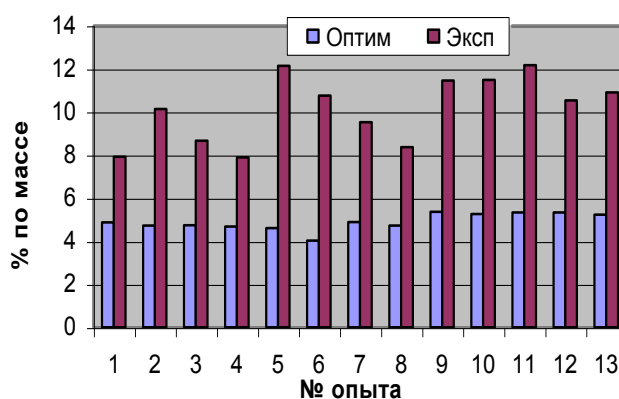


Рис. 3. Снижение остаточной влажности кека при оптимальных параметрах работы пресс-фильтра в сравнении с результатами экспериментов



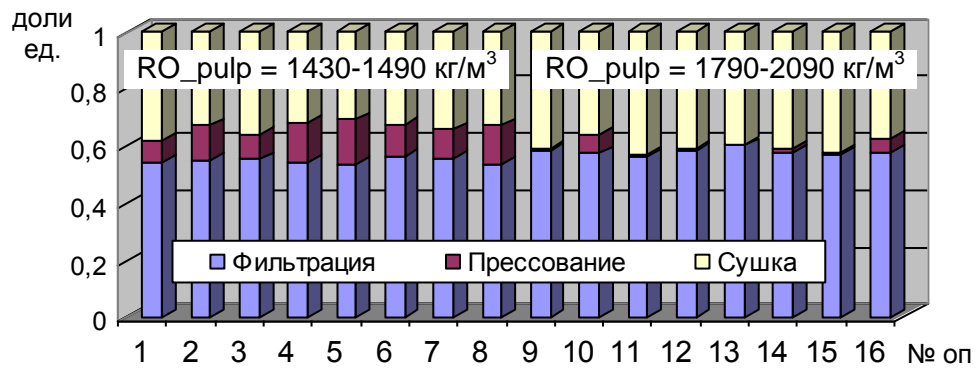


Рис. 4. Объем влаги, удаляемой из кека в комбинированном фильтрационном процессе