

## **ФИЛЬТРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПУЛЬП НА ПРЕСС-ФИЛЬТРАХ**

**Белоглазов И.Н., Голубев В.О.**

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

*Проведена статистическая обработка экспериментальных данных по фильтруемости пульп ряда металлургических предприятий СНГ на фильтрах типа ФПАКМ (Larox PF). Получены регрессионные зависимости остаточной влажности и объема собранного фильтрата от характеристик исходной пульпы и параметров процесса обезвоживания для медного и цинкового концентратов. Оценена эффективность процесса обезвоживания пульп на пресс-фильтрах и указаны пути дальнейшего ее повышения. Определены оптимальные параметры комбинированного фильтрационного процесса для ряда гидрометаллургических пульп и даны рекомендации по улучшению его технико-экономической эффективности.*

*The statistical data interpretation on filterability of pulps of a series of the metallurgical plants of CIS on filters such as FPAKM (Larox PF) is carried out. The dependencies of residual dampness and volume of the assembled filter liquor from the performances of a starting pulp and parameters of process of dehydration for copper and zinc concentrates are received regression. The efficiency of process of dehydration of pulps on presses - filters is estimated and the trajectories of its further pinch are specified. The optimal parameters of combined filtration process for a series of hydrometallurgical pulps are spotted and the recommendations for improvement of its technical and economic efficiency sectional.*

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, являющегося 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 последних 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 Lаgоx 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 семейство 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, увеличение вместимости фильтровальных камер и мощности оборудования.



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

Вертикальные автоматизированные пресс-фильтры с горизонтальными камерами по сей день являются ординаром мирового фильтростроения.

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.

Таблица 1

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

Концентрат	Влажность, %	Скорость фильтрации, кг/м <sup>3</sup> час по сухому
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

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 переделов репульпации, обязательной операции при промывке кека, сушки в барабанных сушилках, снимающую необходимость в использовании топлива и, следовательно, выбросе в атмосферу газов и пыли, а соответственно и тяжёлых металлов и обеспечивает охрану окружающей среды. 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 определенной пульпы с ограниченным диапазоном свойств и с заданной производительностью. 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, ориентируясь только на данные практики и результаты экспериментов. Поэтому многие производители фильтров вовсе пренебрегают модельным расчетом фильтрационного процесса, осваивая выпуск пилотных лабораторных фильтровальных установок, служащих физическими моделями промышленных фильтр-систем.

В СНГ пресс-фильтры типа Larox PF работают на производственных площадках, Норильского, Учалинского, Гайского, Среднеуральского горно-металлургических комбинатов, на комбинате Печенганикель. Их установке предшествовал ряд научно-исследовательских работ, которые были проведены в Горном институте на пилотном лабораторном пресс-фильтре Larox PF 0.1 H2 в период с 1998 по 2001 г.г. [2, 3].

Для поиска возможных направлений повышения эффективности автоматических пресс-фильтров с горизонтальными камерами 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 было составлено обобщенное математическое описание процесса обезвоживания пульпы на пресс-фильтрах, изложенное в двух научных монографиях [4, 5].

В настоящее время ведутся работы по экспериментальной проверке адекватности и адаптации математической модели реальным условиям протекания процессов. С этой целью проведена статистическая обработка собранных ранее экспериментальных данных по фильтруемости пульп медного, медно-никелевого, никелевого, пиритного и цинкового концентратов на пресс-фильтрах. Целью исследования ставилось выявление множественных корреляций между характеристиками исходной пульпы (влагосодержание, плотность), параметрами процесса (длительность фильтрации, прессования и сушки; диафрагменное давление на стадиях фильтрации, промывки и сушки) и показателями эффективности процесса обезвоживания (величина остаточного влагосодержания кека, производительность по сухому продукту, объем полученного фильтрата), служившими функциями отклика. Статистическая обработка позволила выявить значимые факторы и синтезировать регрессионные

зависимости в показательной форме, описывающие комбинированный процесс обезвоживания пульпы на пресс-фильтре для каждого из концентратов согласно общему регрессионному уравнению:

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

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

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>;  $R$  – среднеквадратичное отклонение.

Значения параметров регрессионных зависимостей для каждого из концентратов представлены в таблицах 2 и 3.

Таблица 2

#### Изменение остаточных влагосодержаний кека

Концентрат		a0	a1	a2	a3	a4	a5	R <sup>2</sup>
Cu	G*	-2,31	1,496	0,088	-0,26	-1,4	-0,15	0,623
Cu	U	-2,06	0,541	0,109	0,055	-0,2	0,013	0,813
Cu2S-Ni	N	-7,63	1,06	0,032	0,387	0,162	-0,07	0,587
Cu-Ni	P	-29,9	4,316	0,025	0,27	-0,23	7E-04	0,885
FeS2	G	-76,9	11,68	0,121	-2,07	0,829	-0,19	0,949
Zn	G	-3,01	0,708	0,12	-0,06	-0,08	-0,03	0,774
Zn	U	-8,42	1,37	0,136	0,113	-0,06	-0,07	0,844

Таблица 3

#### Изменение объемов собранного фильтрата

Концентрат		a0	a1	a2	a3	a4	a5	R <sup>2</sup>
Cu	G	-19	2,339	-0,06	-0,21	0,269	0,553	0,832
Cu	U	27,36	-3,54	0,255	-	-	0,028	0,977
Cu2S-Ni	N	71,75	-9,73	0,072	-	-	0,006	0,768
Cu-Ni	P	-15,2	2,203	0,205	-0,17	0,095	0,028	0,996
FeS2	G	-148	20,61	-0,35	0,105	-0,04	-0,23	0,985
Zn	G	-12,2	1,227	0,283	0,348	0,515	0,138	0,545
Zn	U	0	0,2	-0,02	-0,07	-	0,032	0,562

\*G – Гайский ГОК; U – Учалинский ГМК; N – Норильский ГМК; P – к-т Печенганикель.

Наглядно отклонение расчетных и экспериментальных остаточных влагосодержаний для кека медного концентрата показано на рис. 2.

Диапазоны изменения параметров, при которых приведенные выше регрессионные уравнения можно считать адекватными комбинированному процессу фильтрации приведены в табл. 4.

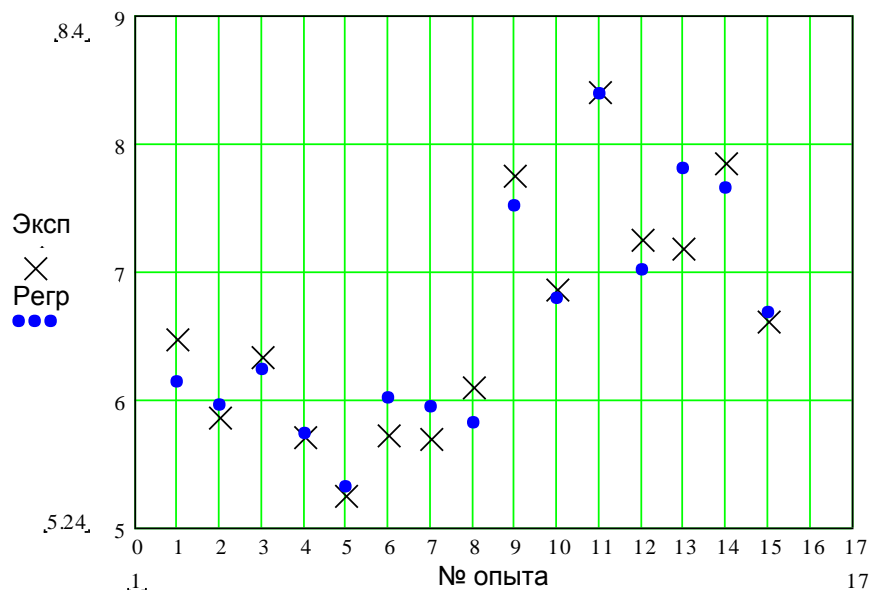


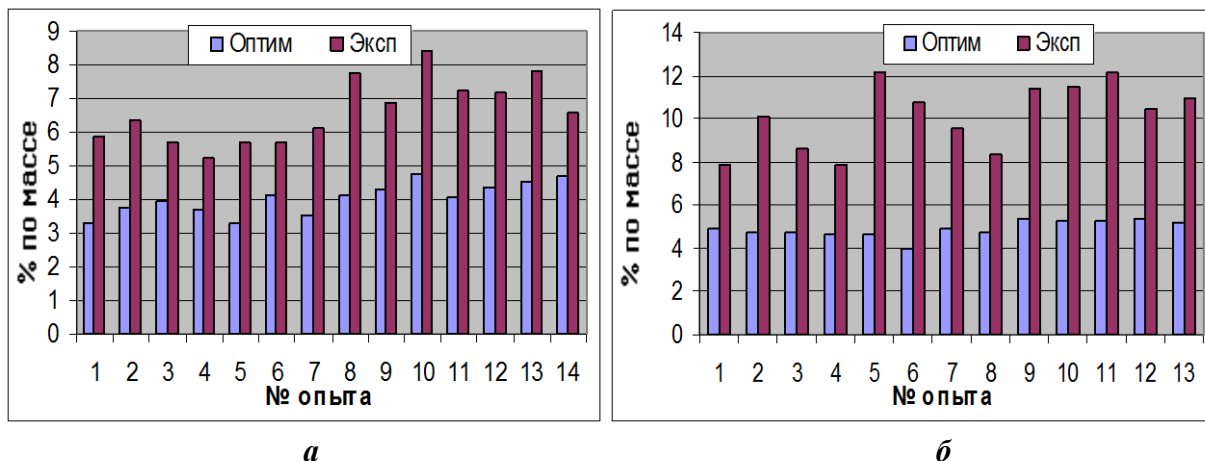
Рис. 2. Изменение остаточных влагосодержаний кека медного концентрата в серии опытов

Таблица 4

**Диапазон адекватности регрессионных уравнений (1-4)  
и оптимальные параметры фильтрации**

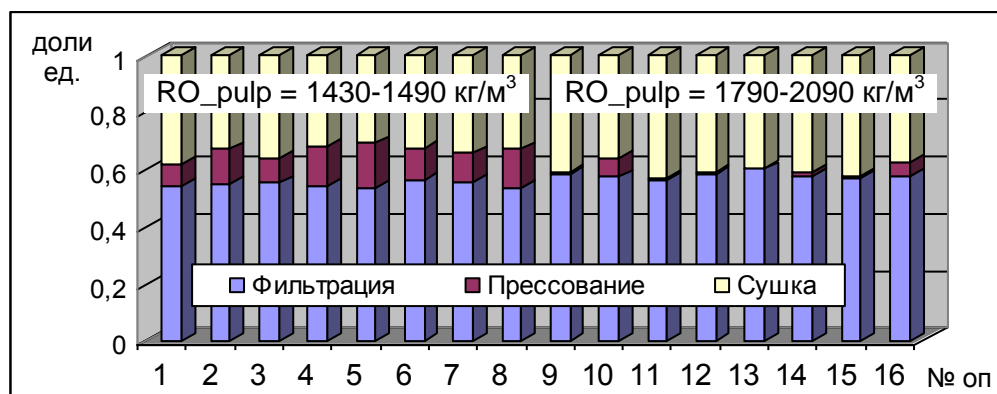
Параметр	Cu концентрат		Zn концентрат	
	min - max значения	оптим. значения	min - max значения	оптим. значения
$W_{pulp}$ , % масс	25 - 65	-	37 - 44	-
$RO_{pulp}$ , кг/м <sup>3</sup>	1400 - 2100	-	1600-1680	-
$T_{filtr}$ , мин	1,5 - 8	5	1-3	5
$T_{press}$ , мин	1 - 3	1	3-8,5	5
$T_{dry}$ , мин	2,5 - 4,5	1	2,5-5	1
$P_{filtr}$ , бар	4,5 - 5,5	4,5	1,5-5,5	6,5
$P_{press}$ , бар	12 - 16,5	10	10-16,5	16
$P_{dry}$ , бар	5 - 7	6,75	4-6	5

На основе регрессионных зависимостей (1-4) 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 – 2 раза по сравнению с достигавшейся в этих опытных сериях (рис. 3). На основании этих результатов подготовлены рекомендации Учалинскому и Гайскому горно-металлургическим комбинатам по повышению эффективности процесса обезвоживания медного и цинкового концентратов.



**Рис. 3. Снижение остаточной влажности кека при оптимальных параметрах работы пресс-фильтра в сравнении с результатами экспериментов:  
а – медный кек, б – цинковый кек**

Наряду с оптимальными параметрами обезвоживания, полученные регрессионные уравнения позволили определить величины взаимных корреляций отдельных стадий обезвоживания осадка на пресс-фильтре, тем самым оценив 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.



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

Можно заметить, что при большой начальной влажности и малой плотности пульпы медного (порядка  $1450 \text{ кг/м}^3$ ) стадия прессования играет гораздо большую роль в процессе обезвоживания, нежели в случаях, когда плотность пульпы приближается к  $2000 \text{ кг/м}^3$ . 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 [5] и снижению эффективности обезвоживания в целом. Этот вывод требует отдельного экспериментального обоснования на нескольких различных по природе и физическим параметрам пульпах и поиска оптимальных величин диафрагменных давлений и продолжительностей каждой стадии процесса, что является направлением дальнейших исследований.

## 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 Lagox Oy // *И.Н. Белоглазов, О.Н. Тихонов, В.О. Голубев* // Записки Горного института, Т. 147, 2001. с. 164-170.
3. Применение пресс-фильтров компании «Lagox Oy» 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. *И.Н. Белоглазов, В.О. Голубев* Основы расчета фильтрационных процессов. М.: ФГУП «ИД «Руда и металлы», 2002. – 200 с.
5. *Белоглазов И.Н., Голубев В.О., Тихонов О.Н., Куукка Ю., Яскеляйнен Э.* Фильтрация технологических пульп. М.: ФГУП «ИД «Руда и металлы», 2003. – 320 с.