УДК 669.053

**В.О.ГОЛУБЕВ**
*Металлургический факультет, группа МЦПМ-98,*
*ассистент профессора*

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ОБЕЗВОЖИВАНИЯ ПУЛЬП НА ПРЕСС-ФИЛЬТРАХ ТИПА ФПАКМ

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.

Эффективность фильтрационного процесса определяется технологическим уровнем и техническими показателями фильтрационного оборудования. Современный подход к проектированию фильтров состоит в объединении нескольких разных по физической сущности процессов обезвоживания на базе одной установки, что дает ощутимый выигрыш в эффективности разделения, обеспечивает сокращение энергетических и эксплуатационных затрат, позволяет полностью автоматизировать фильтрационный передел.

Одна из крупнейших разработок НИИХИММАШа, детище украинского завода «Прогресс», автоматизированный пресс-фильтр вертикальной конструкции с горизонтальными фильтровальными камерами (ФПАКМ) стал воплощением всех перечисленных выше достоинств и прототипом нескольких новых серий фильтров данного типа. Сегодня модернизированные фильтры ФПАКМ выпускают во многих странах мира под марками Larox PF (CF), Outocumpu, FPM и др.

Оригинальность этих фильтров заключена в сравнительно небольшой по размеру фильтровальной камере, где под действием высокой разности давлений последовательно реализуются процессы фильтрации пульпы, прессования, 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 10 мкм, сводя к минимуму проскок твердой фазы в фильтрат. В СНГ пресс-фильтры типа Larox PF работают на производственных площадках Норильского, Учалинского, Гайского, Среднеуральского горно-металлургических комбинатов, на комбинате «Печенганикель».

Исследования по эффективности фильтруемости концентратов этих предприятий проводились в Горном институте на пилот-

ном лабораторном пресс-фильтре на Larox PF 0.1 H2 совместно кафедрами печей, контроля и автоматизации металлургического производства и обогащения полезных ископаемых [1, 2]. Последовавшие за этим теоретические исследования были направлены на совершенствование математического описания и аппаратурного оформления процессов обезвоживания гидрометаллургических пульп. В результате анализа обширных литературных данных было составлено обобщенное математическое описание процесса обезвоживания пульпы на пресс-фильтрах [3].

В настоящее время ведутся работы по экспериментальной проверке адекватности и адаптации математической модели реальным условиям. 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; давление на стадиях фильтрации, прессования и сушки) и показателями эффективности процесса обезвоживания (остаточное влагосодержание кека, производительность по сухому продукту, объем полученного фильтрата), служившими функциями отклика. Статистическая обработка позволила выявить значимые факторы и синтезировать в показательной форме регрессионные зависимости, описывающие комбинированный процесс обезвоживания пульпы на пресс-фильтре для каждого из концентратов.

Далее излагаются результаты статистической обработки данных только по пульпам медного концентрата Учалинского ГМК и цинкового концентрата Гайского ГМК, по которым была отмечена наивысшая степень адекватности регрессионных уравнений: медный концентрат Учалинского ГМК (фильтроткань полипропиленовая 71-2106-L1 с воздухопроницаемостью 2,7 м$^3$/(м$^2$·мин))

$$W_{kek} = e^{28,832} W_{pulp}^{-1,225} RO_{pulp}^{-3,511} T_{filtr}^{-0,018} T_{press}^{0,089} \times$$

$$\times T_{dry}^{0,202} P_{filtr}^{0,135} P_{press}^{0,086} P_{dry}^{-0,947} PR^{0,811}$$

$$\text{при } R^2 = 0,926; \qquad (1)$$

$$V_{filtrate} = e^{-14,871} W_{pulp}^{1,84} RO_{pulp}^{1,197} T_{filtr}^{0,315} P_{filtr}^{0,333}$$

$$\text{при } R^2 = 0,997; \qquad (2)$$

цинковый концентрат Гайского ГМК (фильтроткань полиэстеровая 71-2215-K3L1 с воздухопроницаемостью 6,0 м$^3$/(м$^2$·мин))

$$W_{kek} = e^{8,05} W_{pulp}^{0,024} RO_{pulp}^{-0,868} T_{filtr}^{-0,219} T_{press}^{-0,464} \times$$

$$\times T_{dry}^{0,198} P_{filtr}^{-0,412} P_{press}^{-0,182} P_{dry}^{0,471} PR^{0,294}$$

$$\text{при } R^2 = 0,949; \qquad (3)$$

$$V_{filtrate} = e^{-36,107} W_{pulp}^{0,701} RO_{pulp}^{4,279} T_{filtr}^{-0,312} T_{press}^{0,592} P_{dry}^{1,378}$$

$$\text{при } R^2 = 0,782, \qquad (4)$$

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

Наглядно отклонение расчетных и экспериментальных остаточных влагосодержаний для кека медного концентрата показано на рис.1.

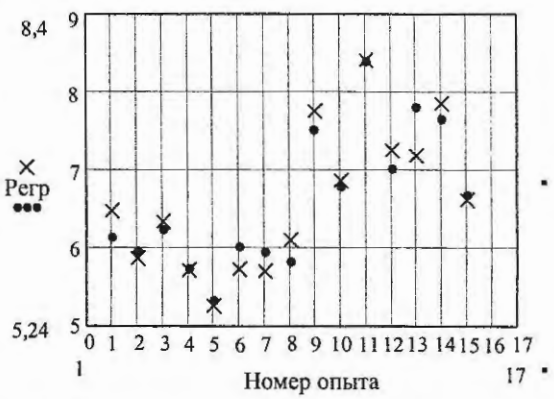



Рис.1. Изменение остаточных влагосодержаний кека медного концентрата в серии опытов

Изменения параметров, при которых приведенные выше регрессионные уравнения можно считать адекватными, соответствуют всему диапазону изменения рабочих параметров комбинированного процесса фильтрации (см. таблицу).

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

| Параметр | Концентрат | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Cu | | Zn | |
| | *A* | *B* | *A* | *B* |
| $W_{pulp}$, % масс | 25-65 | - | 37-44 | - |
| $Ro_{pulp}$, кг/м$^3$ | 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 без ущерба для производительности в 1,5-2 раза по сравнению с достигнутой в опытных сериях (рис.2). На основании этих результатов подготовлены рекомендации Учалинскому и Гайскому горно-металлургическим комбинатам по повышению эффективности процесса обезвоживания медного и цинкового концентратов.

Наряду с оптимальными параметрами обезвоживания, полученные регрессионные уравнения позволили определить взаимные корреляции отдельных стадий обезвоживания осадка на пресс-фильтре, тем самым установив 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.

Можно заметить, что при большой начальной влажности и малой плотности пульпы медного концентрата (порядка 1450 кг/м$^3$) стадия прессования играет гораздо бóльшую роль в процессе обезвоживания, чем в тех случаях, когда плотность пульпы приближается к 2000 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

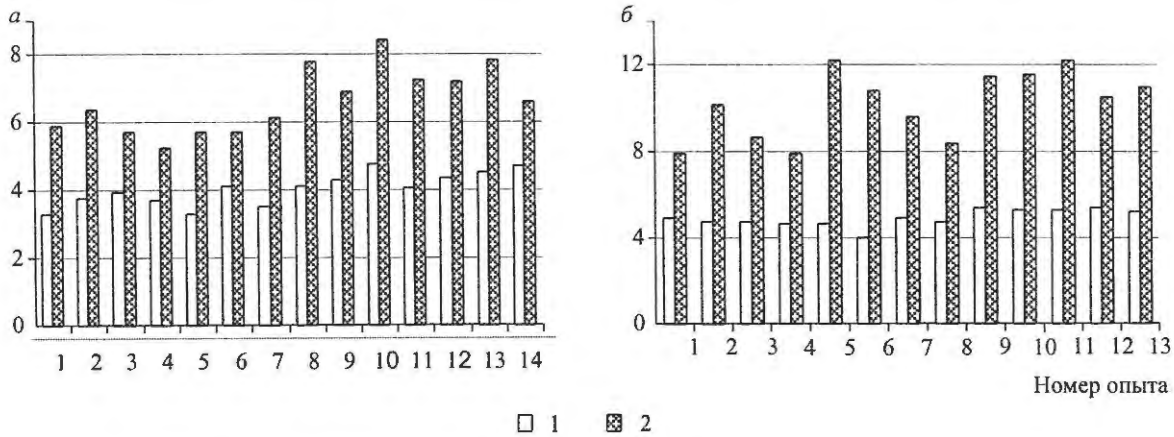



Рис.2. Снижение остаточной влажности кека при оптимальных параметрах работы пресс-фильтра (1) в сравнении с результатами экспериментов (2): *а* – медный кек; *б* – цинковый кек

концентрата близок к 0,7-0,8) и снижению воздухопроницаемости слоя, что затрудняет процесс сушки с просачиванием, приводя к повышенным затратам энергии пневмонасоса [3] и снижению эффективности обезвоживания в целом. Этот вывод требует отдельного экспериментального обоснования на нескольких различных по природе и физическим параметрам пульпах и поиска оптимальных значений диафрагменных давлений и продолжительности каждой стадии процесса, что является направлением дальнейших исследований.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. *Белоглазов И.Н.* Оптимизация процессов разделения суспензий с использованием фильтр-прессов компании «Larox Oy» / И.Н.Белоглазов О.Н.Тихонов, В.О.Голубев // Зап. Горного ин-та. 2001. Т. 147. С.164-170.

2. *Белоглазов И.Н.* Применение пресс-фильтров компании «Larox 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.

3. *Белоглазов И.Н.* Основы расчета фильтрационных процессов / И.Н.Белоглазов, В.О.Голубев. М.: Руда и металлы, 2002. 200 с.

Научный руководитель д.т.н. проф. *И.Н.Белоглазов*