

*П.И. Пилов, А.А. Березняк, Д.П. Буртовой,  
Д.Ю. Хохлая*

**ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССОВ  
ОБЕЗВОЖИВАНИЯ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ  
МИКРОВОЛНОВОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

НГ–2005, семинар № 16

---

**Б**ольшинство процессов обогащения полезных ископаемых осуществляется мокрым способом, что обуславливает получение продуктов в виде суспензий [1]. Стоимость обезвоживания составляет значительную часть от себестоимости концентратов и возрастает с уменьшением крупности частиц твердой фазы суспензии. Например, стоимость обезвоживания железорудных концентратов по технологической и экономической значимости совместно с технической оснащённостью оборудованием превышает 30 % общей стоимости переработки пульпы [2]. Кроме того, выбросы вредных веществ и газов в окружающую среду в среднем составляют 0,1 кг и 1 м<sup>3</sup> соответственно на тонну товарного железорудного концентрата.

Исследование и разработка энергосберегающих и экологически чистых технологий в горнорудной и металлургической промышленности на основе микроволнового электромагнитного поля (МЭМП) является весьма актуальной проблемой [3]. В последнее время благодаря разработке мощных источников МЭМП [4] в металлургической промышленности все шире применяются микроволновые технологии для сушки огнеупорных футеровок [5, 6], восстановления окислов металлов [7], магнетизации железосодержащих руд [8].

Авторами в течение последних лет проводятся исследования по использованию энергии МЭМП на горно-обогаительных комбинатах Украины с целью интенсификации процессов обезвоживания концентратов на дисковых и ленточных вакуумных фильтрах [9]. В настоящей работе представлены результаты исследований различных способов подвода энергии посредством МЭМП в линию обезвоживания коллективного кон-

центрата Вольногорского горно-металлургического комбината.

Сырьевой базой комбината является рассыпное месторождение мелкозернистых песков с содержанием глинистых фракций 10–45 % и тяжелых минералов 15–25 %. Добыча рудных песков производится открытым способом с последующей подачей их на участок приготовления пульпы. Пульпа по напорному трубопроводу поступает на обогащительную фабрику, где после грохочения и обесшламливания на конусных сепараторах получают коллективный концентрат. Далее он поступает на участок обезвоживания и сушки. Основные характеристики коллективного концентрата представлены в табл. 1 и 2.

Пульпа для обезвоживания подается на ленточный вакуумный фильтр (ЛВФ) типа ЛК 3,2-0,5-6,4, с выхода которого обезвоженный до влажности  $W=8 - 14$  % осадок (кек) направляется в загрузочный в барабанной сушилке типа О-2,2-16. Ленточный фильтр и сушилка изготавливаются Бердичевским заводом «Прогресс».

В результате обследований, проведенных специалистами ВГГМК, были получены средние значения параметров процесса обезвоживания на указанном оборудовании, которые приведены в табл. 3.

Анализируя опытные данные, можно сформулировать возможные способы интенсификации технологического процесса обезвоживания и сушки посредством применения энергии МЭМП. Во-первых, воздействуя МЭМП на материал, находящийся на движущейся бесконечной ленте фильтра, снизить конечную влажность кека и повысить производительность участка обезвоживания в целом. Во-вторых, осуществить комбини-

Таблица 1  
Состав коллективного концентрата ВГГМК

№ п/п	Наименование минерала	Химическая формула	Содержание, %	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Средний размер зерна, мм	Относит. диэлектр. проницаемость	Удельн. электропроводность, см/м
1	Циркон	ZrSiO <sub>4</sub>	7,74	4700	0,121	3,6...5,2	10 <sup>-10</sup> ...10 <sup>-14</sup>
2	Рутил	TiO <sub>2</sub>	15,19	4250	0,137	10,6	10 <sup>-3</sup> ...10 <sup>-5</sup>
3	Ильменит	FeTiO <sub>3</sub>	39,36	4150	0,143	33,7...81	10 <sup>-4</sup> ...10 <sup>-6</sup>
4	Дистен	Al <sub>2</sub> O(SiO <sub>4</sub> )	11,96	3650	0,178	5,7...7,2	10 <sup>-10</sup> ...10 <sup>-12</sup>
5	Ставролит	FeAl <sub>4</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>	10,89	3750	0,175	7,4...9,9	10 <sup>-9</sup> ...10 <sup>-11</sup>
6	Кварц	SiO <sub>2</sub>	12,01	2650	0,292	4,2...6	10 <sup>-10</sup> ...10 <sup>-15</sup>
7	Прочие		2,85				

Таблица 2  
Гранулометрическая характеристика концентрата ВГГМК

Класс крупности, мкм	+400	-400 +315	-315 +200	-200 +160	-160 +100	-100 +63	-63	Средний размер
Содержание, %	0... 0,1	0... 0,1	2... 3,3	8,0... 18,0	57,0... 64,0	17,0... 25,0	0,1... 0,2	130,17

Таблица 3  
Средние значения параметров линии обезвоживания

Наименование параметра	Единица измерения	Значение
Производительность по сухому концентрату	кг/ч	32800
Влажность кека на выходе вакуум-фильтра	%	13,8
Толщина кека	мм	250
Ширина кека	мм	440
Площадь сечения кека	м <sup>2</sup>	0,11
Расход газа в барабанной сушилке	м <sup>3</sup> /ч	641,7
Температура отходящих газов	°С	174,6
Температура материала на выходе из барабана	°С	129,2

рованный подвод энергии в сушильный барабан с помощью МЭМП и горячего воздуха, обеспечивая требуемые параметры влажности и температуры готового продукта. В третьих, найти оптимальный с экономической точки зрения вариант применения первого и второго способов совместно.

Процесс фильтрования зернистых продуктов на ленточном вакуумном фильтре подробно рассмотрен в работах [1, 2], а в работе [10] представлены материалы по вопросам экономичности достижения наибольшей

производительности фильтров. Основное дифференциальное уравнение фильтрования с образованием осадка на фильтровальной перегородке имеет следующий вид [10]:

$$\omega = \frac{dV}{Fdt} = \frac{\Delta P}{\mu(r_0 X_0 V / F - R_{fn})},$$

где  $\omega$  – скорость фильтрования, м/с;  $V$  – объем фильтрата, м<sup>3</sup>;  $F$  – площадь поверхности фильтрования, м<sup>2</sup>;  $t$  – продолжительность фильтрования, с;  $\Delta P$  – разность давлений над и под фильтровальной перегородкой

с осадком, Па;  $R_{\text{фн}}$  – сопротивление фильтровальной перегородки, Па;  $r_0$  – удельное объемное сопротивление осадка, м<sup>2</sup>;  $X_0$  – отношение объемов фильтрата и осадка;  $\mu$  – вязкость фильтрата, Па·с.

Из приведенного уравнения следует, что интенсифицировать процесс фильтрования можно за счет повышения разности давлений на фильтровальной перегородке с осадком и уменьшения удельного сопротивления осадка, а также за счет уменьшения вязкости фильтрата. При постоянном разрежении под фильтровальной перегородкой разность давлений можно увеличить за счет силовых эффектов МЭМП. Объемный и практически мгновенный нагрев воды, находящейся в осадке, посредством МЭМП позволяет почти в три раза уменьшить вязкость фильтрата и в 5–6 раз снизить удельное сопротивление осадка за счет уменьшения энергии связи воды с поверхностью твердой фазы. В результате конечная влажность кека снижается более, чем на 3 %.

Сушка и разогрев коллективного концентрата до требуемой температуры производится в сушильном барабане, производительность которого по сухому концентрату можно оценить с помощью уравнения [11]:

$$P = 0,785\varphi D^2 L \rho_M / \tau,$$

где  $P$  – производительность по сухому концентрату, кг/с;  $\varphi$  – коэффициент заполнения барабана;  $D$  – средний диаметр барабана в свету, м;  $L$  – длина барабана, м;  $\rho_M$  – насыпной вес концентрата, кг/м<sup>3</sup>;  $\tau$  – необходимое время термообработки, с.

Анализируя это выражение, можно отметить, что увеличения производительности установки можно достигнуть или увеличением коэффициента заполнения барабана, или уменьшением необходимого времени термообработки. Необходимо учесть, что увеличение степени заполнения барабана приводит к снижению температуры материа-

ла на выходе из установки и увеличению необходимого времени термообработки. Устранение этого противоречия возможно только путем применения энергии МЭМП.

Информация о вакуумно-микроволновом обезвоживании дисперсных влажных материалов в периодических изданиях весьма ограничена. Исключение составляет вакуумно-высокочастотное обезвоживание в технологии сублимационной сушки [12]. В этой работе показано, что снижение давления в камере сублимационной сушки в два раза при одном и том же значении величины подводимой энергии высокочастотного электромагнитного поля увеличивает скорость сушки в одиннадцать раз при одновременном снижении влажности готового продукта на 1 %. В случае применения МЭМП вместо высокочастотного следует ожидать дополнительного увеличения скорости сушки, поскольку частота микроволнового поля ближе к резонансной частоте поглощения молекулами воды электромагнитных колебаний, чем высокочастотного.

#### **Выводы**

Существенное улучшение технологических параметров процессов обезвоживания продуктов обогащения полезных ископаемых достигается за счет следующих особенностей взаимодействия МЭМП с влажными пористыми материалами:

– независимо от величины коэффициентов теплопроводности между различными веществами энергия МЭМП распределяется достаточно равномерно по всему объему продукта, создавая градиенты температуры, влагосодержания и давления, способствующие продвижению воды к поверхности материала;

– саморегулирование и самоограничение процесса поглощения энергии МЭМП пористым материалом в результате ее перераспределения между областями с различным влагосодержанием.

---

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Гольдберг Ю.С., Гонтаренко А.А. Обезвоживание концентратов черных металлов.– М.: Недра, 1986.– 184 с.
2. Фридман С.Э., Щербаков О.К., Комлев А.М. Обезвоживание продуктов обогащения.– М.: Недра, 1988.– 239 с.
3. Буртовой Д.П., Грачев К.Г., Хохла Д.Ю. и др. Применение микроволновых электромагнитных полей в энергосберегающих и новых промышленных технологиях // *Металлургическая и горнорудная промышленность*.– 2002, № 4.– С. 404 – 408.
4. Морозов О.А., Соколов И.В. Современное состояние и тенденции развития магнетронов для СВЧ – нагрева в промышленности и медицине // *Электронная техника, сер. 1 «СВЧ техника»*.– 2000, вып. 2 (476).– С. 3-10.
5. Асиаи Ц., Икеда М., Итои Х. и др. Разработка метода микроволновой сушки футеровки ковша // *Тайкабуцу*, 1981, т. 33, № 282 (7).– С. 365-370.
6. Буртовой Д.П., Хохла Д.Ю., Шелудько И.Б. и др. Анализ способов энергоподвода при сушке футеровочных масс // *Металлургическая и горнорудная промышленность*.– 2003, № 1.– С. 123 – 133.
7. Standish N/? Worner H. Microwave Application in the Reduction of Metal Oxides with Carbon // *Iron and Steel maker*, 1991, vol. 18, N 5, p. 59-61.
8. Закс И.А., Колесник В.Г., Мелабуд С.Г. и др. Исследование магнетизации железосодержащих руд в поле СВЧ // *Черные металлы*, 2001, ноябрь-декабрь.– С.25-28.
9. Пилов П.И., Буртовой Д.П., Березняк А.А., Хохла Д.Ю. Экспериментальные результаты конвективно-микроволновой сушки коллективного концентрата Вольногорского ГГМК // *Збагачення корисних копалин*, 2004, №20 (61).– С. 120-124.
10. Жужиков В.А. Фильтрация: Теория и практика разделения суспензий.– М.: Химия, 1980.– 400 с.
11. Левченко П.В. Расчет печей и сушилок силикатной промышленности.– М.: Высшая школа, 1968.– 367 с.
12. Вольнец А.З. Досушка в технологии сублимационного обезвоживания // *Холодильная техника*, 1980, №9.– С. 33-38.

### Коротко об авторах

*Пилов Петр Иванович* – доктор технических наук, профессор заведующий кафедрой обогащения полезных ископаемых, первый проректор НГУ, Украина,  
*Березняк Александр Александрович* – кандидат технических наук, доцент кафедры обогащения полезных ископаемых НГУ, Украина,  
*Буртовой Дмитрий Прохорович* – кандидат технических наук, ООО НПП «Веполь»,  
*Хохла Дмитрий Юрьевич* – инженер ООО НПП «Веполь».

## ДИССЕРТАЦИИ

### ТЕКУЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ О ЗАЩИТАХ ДИССЕРТАЦИЙ ПО ГОРНОМУ ДЕЛУ И СМЕЖНЫМ ВОПРОСАМ

Автор	Название работы	Специальность	Ученая степень
<b>ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ И ЗОЛОТА</b>			
ЧУСТУГЕШЕВ Виктор Михайлович	Разработка и обоснование эффективной технологии освоения техногенных образований золота шнековой драгой	25.00.22	к.т.н.
<b>УФИМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НЕФТЯНОЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ</b>			
КАРИМОВ Ильшат Назифович	Разработка облегченных расширяющихся тампонажных цементов для крепления скважин	25.00.15	к.т.н.