

Спеціальні та комбіновані методи

функцію. На контурних кривих (рис. 2) точками показані оптимальні значення факторів X_1 , X_2 , X_3 , що відповідають мінімальному значенню зольності концентрата.

Значення факторів, що відповідають оптимуму ($A_k^d = 10,85\%$), у кодованому і натуральному вираженні подані в таблиці 2.

Таблиця 2

Фактор	Low	High	Оптимальне значення	
			кодоване	натуральне
X_1	-1,0	1,0	0,843772	2,1%
X_2	-1,0	1,0	1,0	5400 м
X_3	-1,0	1,0	0,999135	50%

Зольність відходів селективної масляної агрегації складала 69–76%.

Одержані результати дозволяють зробити такі висновки.

1. Суміщений процес "Селективна масляна агрегація – гідротранспорт вугілля" дозволяє ефективно збагачувати тонкодисперсні фракції шламів коксівного вугілля з одержанням відносно низькозольних концентратів, які можуть бути присаджені до шихти.

2. Мінімальне значення зольності концентрату одержують при витратах реагента порядку 2%, дальності гідравлічного транспортування 5,5 км і концентрації гідросуміші 50%.

Список літератури

1. Федоров В.И., Кучеренко И.П., Золотко А.А. Состояние и проблема развития углеобогащения Украины// Уголь Украины. – 1999. – № 8. – С. 13–17.
2. Білецький В.С., Сергєєв П.В., Папушин Ю.Л. Теорія і практика селективної масляної агрегації вугілля. – Донецьк: Грань. – 1996. – 264 с.
3. Харада Т., Мацуо Т. Агломерація у рідинах// Ніхон Когьо Кайсі. – 1982. – № 1134. – С. 714–722.
4. Налимов В.В., Голикова Т.И. Логические основания планирования эксперимента.- М.: Металлургия, 1981. – 152 с.

© Білецький В.С., Сергєєв П.В., Протасов Ю.О., 2005

Надійшла до редколегії 20.04.2005 р.
Рекомендовано до публікації д.т.н. О.Д. Полуляхом

УДК 622.794:537.528

А.А. БЕРЕЗНЯК, канд. техн. наук
(Україна, Днепропетровск, Национальный горный университет)

99

Збагачення корисних копалин, 2005. – Вип. 23(64)

Д.П. БУРТОВОЙ, канд. техн. наук,
Д.Ю. ХОХУЛЯ
(Украина, Днепропетровск, ООО "Веполь")

ВОССТАНОВЛЕНИЕ СЫПУЧЕСТИ СМЕРЗШИХСЯ НАСЫПНЫХ ГРУЗОВ

При транспортировке вагонами влажных насыпных грузов при низких температурах они смерзаются, что вызывает проблемы при разгрузке железнодорожных вагонов.

Стоимость выгрузки смерзшихся насыпных грузов из вагонов по сравнению с теплым периодом года возрастает в 3–6 раз, простои вагонов увеличиваются в 20–30 раз, а производительность труда снижается в 4–9 раз [1].

Анализ перевозок смерзшихся насыпных грузов по железным дорогам Украины и Урала [2,3] показал, что прочность смерзшейся железной руды увеличивается при одной и той же влажности с понижением температуры и при одной и той же температуре с повышением влагосодержания.

В настоящее время для преодоления этого состояния насыпных грузов применяются профилактические способы, сохраняющие сыпучесть грузов во время перевозок (обезвоживание, добавление негашеной извести, соли, опилок и т.п.), и способы восстановления сыпучести в пунктах выгрузки. Профилактические способы – дорогостоящие, требуют материальных затрат и не обеспечивают полной сыпучести насыпных грузов при отрицательных температурах.

Основным средством восстановления сыпучести смерзшихся насыпных грузов в пунктах их выгрузки являются тепляки – капитальные, дорогостоящие сооружения, расходующие огромные количества природного газа при чрезвычайно низком КПД.

Разморозка смерзшихся насыпных грузов в тепляках длится от 4 до 24 часов, но существенный их недостаток – это возможность порчи автотормозного оборудования вагонов, соединительных рукавов, неполное размораживание при низких температурах.

Размораживание смерзшихся насыпных грузов в тепляках осуществляется за счет фазового перехода льда в жидкость. Провести полный анализ затрат энергии, необходимой для разморозки, не представляется возможным, так как смерзшиеся насыпные грузы являются сложными, многокомпонентными и многофазными физико-химическими системами [4]. Они содержат минеральный скелет и воду в трех фазах (твердой, жидкой и газообразной), с различными теплофизическими параметрами.

Эти обстоятельства приводят к существенным экономическим потерям,

которые, по данным АО ММК им. Ильича, в аварийных ситуациях превышали 8 млн. гривен в сутки. В связи с этим были проведены испытания для определения возможности восстановления сыпучести смерзшихся насыпных грузов при выгрузке их из железнодорожных вагонов с помощью энергии микроволнового электромагнитного поля.

Физические предпосылки микроволнового восстановления сыпучести смерзшихся насыпных грузов заключаются в том, что электромагнитная энергия по-разному поглощается различными веществами.

Энергия микроволнового электромагнитного поля диссипирует в смерзшихся насыпных грузах с плотностью мощности, Вт/м³, [5]

$$\rho_E = 2\pi\varepsilon_0\varepsilon_r \cdot \operatorname{tg}\delta \cdot f \cdot E^2,$$

где $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ – электрическая постоянная, Ф/м; ε_r – относительная диэлектрическая проницаемость смерзшихся насыпных грузов; $\operatorname{tg}\delta$ – тангенс угла диэлектрических потерь; f – частота колебаний электромагнитного поля, Гц; E – напряженность электрического поля, В/м.

Диссипация электромагнитного поля (преобразование электрической энергии в другие виды) создает не только в смерзшихся насыпных грузах распределенные источники тепла, характеризующиеся величиной тангенса угла диэлектрических потерь, но и локальные адгезионные давления

$$P_{Ei} = 0,5\varepsilon_{ri}\varepsilon_0 E^2,$$

где P_{Ei} – адгезионное давление на поверхности i -го компонента, Па; ε_{ri} – относительная диэлектрическая проницаемость i -го компонента смерзшихся насыпных грузов.

Кроме того, наличие электрического поля в смерзшихся насыпных грузах приводит к локальной электрострикции, т. е. объемной относительной деформации компонентов насыпных грузов, величина которой зависит от плотности и относительной диэлектрической проницаемости i -го компонента:

$$d_i = \frac{\Delta V_i}{V_i} = \frac{\beta_i}{2\pi} \rho_i \varepsilon_0 \frac{d\varepsilon_{ri}}{d\rho_i} E^2,$$

где d_i – величина деформации, м; ΔV_i и V_i – изменение объема и объем компонента, м³; β_i – сжимаемость компонентов смерзшихся насыпных

грузов, Па⁻¹; ρ_i – плотность компонента, кг/м³.

Напряженность электрической составляющей вследствие диссипации энергии электромагнитного поля убывает по мере его проникновения вглубь смерзшихся насыпных грузов. Для характеристики этого явления вводится понятие глубины проникновения поля:

$$L = \frac{\lambda}{2\pi} \left[\frac{\varepsilon_r}{2} \left(\sqrt{1 + tg^2 \delta} - 1 \right) \right]^{-0,5},$$

где L – глубина проникновения поля, м; λ – длина волны электромагнитного поля в смерзшемся насыпном грузе, м.

Представленные теоретические соотношения использовались многими авторами [5–8] при исследовании разупрочнения и нагрева смерзшихся насыпных грузов.

Основное внимание уделялось экспериментальному определению зависимости диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь от температуры, влагосодержания и плотности для различных дисперсных материалов, которые транспортируются в железнодорожных вагонах.

Полученные данные позволяют определить значения характеристик электромагнитного поля для применения вышеприведенных формул в процессах восстановления сыпучести смерзшихся насыпных грузов.

Разрабатываемые источники микроволнового электромагнитного поля высоких уровней мощности нашли широкое применение в многотоннажных технологических установках мощностью от 5 до 500 кВт [9].

Международной организацией радиокommunikаций (ISM) для этих целей установлены частота колебаний электромагнитного поля (460, 915 и 2450 МГц) и нормы допустимых утечек микроволновой энергии (не более 0,5 Вт/(м² ч)) на рабочих местах обслуживающего персонала.

Авторами статьи проведены работы [10] по восстановлению сыпучести смерзшихся насыпных грузов на образцах, представленных АО ММК им. Ильича.

Для исследования процесса выгрузки смерзшихся концентратов с применением микроволнового электромагнитного поля была использована экспериментальная лабораторная установка НПП "Веполь", блок-схема которой приведена на рисунке.

Спеціальні та комбіновані методи

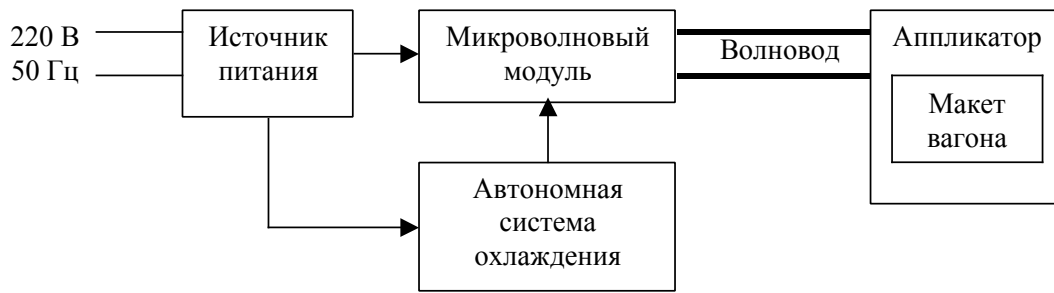


Рис. Блок-схема экспериментальной установки.

Блок-схема экспериментальной установки

В качестве источника микроволновой энергии использовался магнетронный генератор, обеспечивающий на выходе постоянную мощность (1 кВт) на частоте 2450 МГц. Энергия микроволнового электромагнитного поля по волноводу сечением $90 \times 45 \text{ мм}^2$ подавалась в камеру (аппликатор) с размерами $3,5 \times 3,4 \times 2,5 \text{ дм}^3$ и объемом $29,75 \text{ дм}^3$. Макет железнодорожного вагона выполнен из листовой стали толщиной 2 мм. Размеры макета $3,0 \times 0,9 \times 0,8 \text{ дм}^3$, объем $2,16 \text{ дм}^3$. Плотность микроволновой мощности по сечению камеры равнялась 84 Вт/дм^2 (погрешность равномерности ее распределения не превышала 5–7%) и вычислялась по формуле:

$$p_s = \frac{P_g}{S_k},$$

где p_s – плотность микроволновой мощности, Вт/м^2 ; P_g – выходная мощность генератора, Вт; S_k – площадь сечения аппликатора, перпендикулярная падающему излучению, м^2 .

Мощность, поступающая в макет вагона через его открытую верхнюю крышку площадью $2,7 \text{ дм}^2$, составляла 227 Вт и определялась как

$$P_c = p_s S_c,$$

где S_c – площадь открытой стороны модели, м^2 .

Эксперименты проводились по следующей методике. Проба влажного концентрата высушивалась в сушильном шкафу при температуре $105 \text{ }^\circ\text{C}$ до постоянного веса, а затем определялось ее начальное влагосодержание в процентах. Усредненное по шести экспериментам значение начального

влагосодержания концентрата равнялось 7%. Для взвешивания использовались аналитические лабораторные весы с точностью взвешивания 0,1 г.

После этого в макет вагона помещался сухой концентрат массой 2 кг с послойным увлажнением водой в количестве 0,14 кг (посредством распылителя) до начального влагосодержания. Макет с влажным концентратом закрывался крышкой, термоизолировался по всей поверхности, отстаивался 4,5 часа для получения равномерного распределения влаги по объему, после чего помещался в морозильный шкаф с температурой $-12,5$ °С на время 25 ч. При таких условиях концентрат промерзал по всему объему до температуры камеры (скорость промерзания составила 0,4 см/ч).

Затем макет вагона со снятой верхней крышкой располагался в аппликаторе днищем вверх под наклоном около 50° и включался микроволновый генератор. Через 15 с концентрат начал высыпаться, и через 32 с макет вагона полностью разгрузился. При этом сыпучесть смерзшегося концентрата восстановилась полностью без фазового перехода льда в жидкость с незначительным изменением температуры (температура концентрата осталась отрицательной). Полученные экспериментальные результаты позволяют оценить энергозатраты на восстановление сыпучести железорудного концентрата.

Удельные затраты микроволновой энергии следующие:

$$\mathcal{E}_y = \frac{P_c t}{M_0} = \frac{227 \cdot 32}{3,6 \cdot 2,14} = 0,943, \frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{кг}},$$

где M_0 – вес влажного материала, кг; t - время восстановления сыпучести, с.

Интенсивность восстановления сыпучести, определяемая как отношение удельных затрат микроволновой энергии к величине отрицательной температуры составила $0,943/12,5 = 0,0754$ кВт·ч/(кг·°С).

Для образцов железорудного концентрата Лебединского ГОКа аналогичные эксперименты показали, что восстановление сыпучести происходит при затратах МВ энергии в 5-7 раз меньших, чем в случае концентрата ИнГОКа. Кроме того, дополнительно определялись энергозатраты на нагревание железорудного концентрата ИнГОКа на той же установке. Образец был нагрет до температуры 80 °С за 2 мин. При этом удельные энергозатраты составили $15,576$ Вт·ч/кг при интенсивности нагрева $0,1946$ Вт·ч/(кг·С).

Полученные экспериментальные результаты зафиксированы соответствующим актом ОАО ММК им. Ильича.

Список литературы

Спеціальні та комбіновані методи

1. **С.Ф.Маталасов, Я.М. Куржуков, А.С. Хоружий, и др.** Борьба со смерзаемостью металлургического сырья при перевозке по железным дорогам. – М.: Металлургия, 1974. – 248 с.
2. **Кожевников Н.Н., Попов В.И.** Прогнозирование процессов промерзания в сыпучих материалах при железнодорожных перевозках. - Новосибирск: Наука, 1978. – 104 с.
3. **Маталасов С.Ф., Носков Ю.А.** Совершенствование перевозок смерзающихся навалочных грузов // Железнодорожный транспорт. – 1965. – №1. – С. 27–29.
4. **Иванов Н.С., Гаврильев Р.М.** Теплофизические свойства мерзлых горных пород. – М.: Наука, 1965. – 74 с.
5. Пархоменко Э.И. Электрофизические свойства горных пород. – М.: Наука, 1965. – 164 с.
6. Рекинглаз Л.Э., Шонин О.Б., Хоминский В.А. Экспериментальное исследование прочности мерзлых пород в СВЧ электромагнитном поле // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 1980. – №3. – С. 47–51.
7. Шонин О.Б., Соколова Н.В. Электрические свойства мерзлых пород в СВЧ – диапазоне // Физические процессы горного производства. – 1981. – №9. – С. 48–52.
8. Линник Ю.М. Основы разупрочнения мерзлых пород СВЧ – полями. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1982. – 212 с.
9. Применение микроволновых электромагнитных полей в энергосберегающих и новых промышленных технологиях / Буртовой Д.П., Грачев К.Г., Хохуля Д.Ю., и др. // Металлургия и горнорудная промышленность. – 2002. – №4. – С. 104–108.
10. Пат. №66022 Украина. Способ восстановления сыпучести смерзающихся материалов / Д.П. Буртовой, А.А. Березняк, Д.Ю. Хохуля и др. // Открытия изобретения. – 2004. – №4. – С. 24–28.

© Березняк А.А., Буртовой Д.П., Хохуля Д.Ю., 2005

*Надійшла до редколегії 20.04.2005 р.
Рекомендовано до публікації д.т.н. О.Д. Полуляхом*

УДК

**В.М. АЖАЖА, А.Ф. БОЛКОВ, Г.П. БРЕХАРЯ, Ю.Ф. КОРОВИН,
А.П. МУХАЧЕВ, Е.А. ХАРИТОНОВА**

Национальный научный центр "ХФТИ" НАН Украины, Национальный горный университет,
Запорожский государственный университет

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ МАГНИТОВ В УКРАИНЕ

Высокоэнергетические магниты неодим-железо-бор импортируются в Украину из Китая, где организовано их производство на базе собственных полиметаллических руд. В то же время Украина до 1991 г. имела свое промышленное производство концентратов редкоземельных элементов (РЗЭ)

99

Збагачення корисних копалин, 2005. – Вип. 23(64)