



Рис.1. Номограмма вертикальных ускорений σ_{zB}

ривания, могут быть определены по специальным номограммам. Так, на рис. 1 приведена номограмма для определения вертикальных ускорений σ_{zB} автомобиля 8x8. Величины вертикальных ускорений σ_{zB} (на ме-

сте крепления сидения водителя) в зависимости от изменения упругих характеристик C_{11} , C_{12} (передней подвески), коэффициентов демпфирования η_{11} , η_{12} , давления в шинах P_{01} скоростей движения v микронеровностей дороги

σ_q определены уравнением.

Построенная номограмма позволяет осуществлять экспресс-оценку величин вертикальных ускорений на месте водителя по схеме

$\sigma_q \rightarrow v \rightarrow c_1/c_2 \rightarrow h_1/h_2 \rightarrow P_0 \rightarrow \sigma_{zB}$
(решение прямой задачи) (рис. 1).

При решении обратной задачи несложно выбрать оптимальные характеристики, позволяющие обеспечить допустимые вибронгрузки.

Одной из особенностей номограммы является быстрое прогнозирование величин ускорений в заданных дорожных условиях, а также влияние конструктивных параметров подвески и шин на плавность хода. Номограмма является частью методик системного анализа вибронгруженности.

ОБОГАЩЕНИЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Как добиться технологической эффективности процесса?

В технологических схемах обогащения полезных ископаемых важное место занимает обезвоживание конечных продуктов переработки. Для обезвоживания крупных продуктов обогащения используются центрифуги различных типов, гидrocиклоны, обезвоживающие грохоты, а более тонкие продукты обезвоживают на вакуум-фильтрах, пресс-фильтрах и других аппаратах. Принцип действия этих аппаратов основан на разделении продуктов на твердую и жидкую фазу в поле действия центробежных или гравитационных сил, а также благодаря перепаду давления на фильтрующей перегородке. Чем тоньше продукт, тем сложнее выделить его из суспензии. Усложняет процесс фильтрования и быстрая забивка фильтровальных материалов шлами-



Н.БЕРЕЗОВСКИЙ,
доцент, кандидат
технических наук,
академик
Белорусской горной
академии

стыми частицами, в результате чего резко снижается эффективность обогащения, производительность аппаратов, вследствие этого возрастает энергоемкость процесса.

Поэтому разработка новых неэнергоемких методов обогащения или способов, позволяющих интенсифицировать уже известные способы, — составная актуальная проблема для уменьшения расходов топливно-энергетических ресурсов (ТЭР), обеспечения безопасности всего процесса.

Удаление влаги из капиллярнопористых материалов может быть произведено двумя основными путями: обезвоживанием и сушкой.

Под обезвоживанием чаще всего понимается процесс механического удаления влаги путем отжатия в прессе, центрифугирования, фильтрации. В этом процессе агрегатное состояние удаляемой влаги не изменяется.

Удаление влаги сушкой сопровождается фазовым превращением жидкости в пар, связанным с затратой тепловой энергии

и охраной здоровья работающих.

Применение обезвоживания или сушки обуславливается энергией связи влаги с материалом. Механическим путем может быть удалена слабосвязанная или свободная вода. При этом энергия затрачивается на преодоление гидравлических сопротивлений движению воды в порах материала. Прочносвязанную воду можно удалить из материала только путем испарения с изменением ее агрегатного состояния.

Механические способы удаления влаги требуют меньшей затраты энергии, чем тепловая сушка. Поэтому при наличии в материале слабосвязанной воды тепловой сушке должно предшествовать механическое обезвоживание.

Искусственное обезвоживание сырья для производства топливных брикетов является актуальным из-за высокого расхода тепла на испарение влаги. В настоящее время с целью снижения энергозатрат учеными ведется поиск новых направлений в интенсификации процессов искусственного обезвоживания капиллярнопористых материалов органического происхождения. Все способы искусственного обезвоживания можно разделить на следующие:

- конвективная и кондуктивная сушка с начальной влажностью торфа 40-50%;
- механическое отжатие в ленточно-роликовом и кольцевом прессах, которые используются для верхового торфа низкой степени разложения с обезвоживанием в первой стадии до 75-77% и второй стадии - до 65-70%;
- термомеханическое обезвоживание и обезвоживание мерзлого торфа от начальной влажности 78-90% до конечной 55%;
- обезвоживание за счет действия гравитационных сил до влажности 78-80%;
- вакуумированное обезвоживание;
- электроосмотическое обезвоживание;

- центрифугирование.

Следует отметить, что процесс обезвоживания пока еще не достаточно изучен и не получил практического применения, поэтому заслуживает внимания, так как при обезвоживании мелкозернистых материалов удельные затраты колеблются в пределах 0,9-1,9 кВт·ч/т, при обезвоживании пульпы $q = 0,6-0,7$ кВт·ч/т. Другим способом присущи такие недостатки, как значительное выдавливание твердой фазы через фильтрующие поверхности и их забивание, а также изменение удельной загрузки и значительные колебания коэффициента фильтрации от влагосодержания сырья.

Кроме того, следует отметить, что уменьшение влагосодержания сырья от 2,7 до 2,0 кг/кг термическим путем приводит к возрастанию энергии в несколько сот раз. Естественно, разделение неоднородных сред под действием центробежных сил является более эффективным, так как развиваемые при этом нагрузки оказывают на систему гораздо большее воздействие, чем сила тяжести и давление.

Теоретический анализ по влагоудалению из капиллярнопористых материалов показал, что менее энергоемким способом является механическое обезвоживание с использованием центробежного фильтрования, где большое значение оказывают давление в скелете слоя материала и воды, высота слоя. Еще следует отметить, что для уменьшения энергозатрат при эффективном удалении влаги необходимо уменьшать поверхность раздела фаз и поверхностное натяжение, на которые значительное влияние оказывают различные функциональные группы. Для уменьшения энергетических уровней при обезвоживании таких материалов можно применять специальные нетканые синтетические губчатые материалы, например, поливинилформаль и др.

Опыты нами проводились на центрифуге типа ЦЛС-31М, рабочим органом которой является ротор с диаметром 210 и 260 мм и максимальной частотой вращения

116,9 с⁻¹ (7000 об/мин). Частота вращения регулировалась при помощи автотрансформатора за счет подачи различного напряжения на обмотку приводного двигателя и регулировалась тахометром. Фактор разделения центрифуги определялся, исходя из параметров ротора и его угловой скорости.

Результаты экспериментов показали, что количество воды, удаляемой из торфа, возрастает с увеличением фактора разделения, который характеризует давление центробежных сил и давление в слоях торфа низкой степени разложения с большей начальной влажностью. Если при $\Phi = 200$ разница между степенью обезвоживания $\Delta w = 1,9\%$, то при $\Phi = 600$ $\Delta w = 4,3\%$ и при $\Phi = 1000$ $\Delta w = 5,4\%$. Статистическая обработка экспериментальных данных позволила получить нелинейную модель, которая для исследуемых параметров $\Delta w(\Phi)$ имеет следующий вид:

$$\Delta w = 0,17\Phi^{0,6} \quad (1)$$

Гистограмма удаления влаги из верхового торфа ($n_1 = 2000$ об/мин, $t = 40$ с) показывает, что с увеличением фракционного состава торфа удаляется больше влаги. Так, при $d = 2-5$ мм $\Delta w = 13,9\%$, при $d = 5-7$ мм $\Delta w = 16,3\%$. Максимальная влагоотдача при $d = 0-0,5$ мм $\Delta w = 4,8\%$.

В ходе экспериментов подтверждено, что степень обезвоживания торфа с течением времени уменьшается и наиболее эффективно оно происходит в первые 30 секунд работы центрифуги. Далее процесс замедляется.

Более интенсивно обезвоживаются материалы с высокой начальной влажностью, где количество удаленной воды возрастает с увеличением частоты вращения ротора центрифуги, но не так интенсивно, как с увеличением времени обезвоживания. Подтверждено, что центрифугированием фрезерного тор-

фа можно понизить его влажность до 65-68 %. На величину обезвоживания влияет также величина загрузки по сухому веществу (высота или толщина слоя).

Результаты исследования обезвоживания мелочи бурого угля в центрифуге показали, что процессы удаления влаги у угля и торфа аналогичны. Однако для угля все периоды центрифугирования более скоротечны. На влажность получаемого осадка избирательно влияет содержание частиц размером 0,5 мм в исходном угле, в то время как содержание частиц крупных классов существенного значения не имеет.

Для определения энергозатрат при центробежном обезвоживании определяем мощность, необходимую для работы центрифуги:

$$N = N_{\sigma} + N_m + N_n, \quad (2)$$

где N_{σ} - мощность, необходимая для приведения в движение барабана (ротора), кВт;

N_m - мощность, расходуемая на приведение в движение обезвоживаемой массы, кВт;

N_n - мощность, расходуемая для преодоления трения в подшипниках, кВт.

$$N_{\sigma} = \frac{A_{\sigma}}{1000\tau}, \quad (3)$$

где τ - время разгона, с;

A_{σ} - работа, затрачиваемая на сообщение ротору окружной скорости:

$$A_{\sigma} = \frac{v_0^2 m_{\sigma}}{2}, \quad (4)$$

где $v_0 = \omega R$ - окружная скорость ротора, м/с; ω - угловая скорость вращения ротора, с⁻¹; R - внутренний радиус барабана, м; m_{σ} - масса барабана, кг.

$$N_m = \frac{A_m}{1000\tau\mu_0}, \quad (5)$$

где A_m - работа, затрачиваемая на сообщение обезвоживаемой массе окружной скорости, Дж;

мая на сообщение обезвоживаемой массе окружной скорости, Дж;

$$A_m = \frac{v_0^2 m}{2}, \quad (6)$$

μ_0 - коэффициент, учитывающий дополнительный расход энергии на перемещение массы в барабане (для торфа $\mu_0 = 0,8$);

m - масса обезвоживаемого материала в роторе центрифуги:

$$m = V\gamma, \quad (7)$$

где V - объем обезвоживаемого материала в роторе, м³;

γ - насыпная плотность сырья, кг/м³.

$$V = \frac{1}{3}\pi h[(r_1^2 + r_1 r_2 + r_2^2) - (r_3^2 + r_3 r_4 + r_4^2)], \quad (8)$$

где r_1 - внутренний радиус барабана, м;

r_2 - внутренний малый радиус барабана, м;

r_3 - внутренний радиус кольцевого слоя осадка в барабане, м;

r_4 - внутренний малый радиус кольцевого слоя осадка, м.

$$N_m = \frac{v m_1 \mu}{1000}, \quad (9)$$

где m_1 - суммарная масса вращающихся частей центрифуги и торфа, кг; v - окружная скорость, м/с; μ - коэффициент трения, равный 0,3.

Расчетную мощность транспортируемых конвейеров для подачи сырья в центрифугу принимаем 7 кВт.

Так, для обезвоживания фрезерного торфа в центрифуге ($R=1$ м, $n=1000$ об/мин) с начальной влажностью $w_n = 79\%$ до влажности $w_k = 65\%$ суммарная мощность, затрачиваемая на обезвоживание с учетом КПД (0,7-0,8), составляет примерно 43 кВт. Если производительность центрифуги принять равной 120 т/ч, то удель-

ные затраты энергии на обезвоживание 1 т фрезерного торфа с $w_n = 79\%$ до $w_k = 65\%$ составят 0,4 кВт·ч/т.

Несколько меньше удельные затраты энергии составляют при обезвоживании бурых и каменных углей с начальной влажностью 45-50% и фракционным составом до 8 мм — 0,30-0,35 кВт·ч/т, а также для кварцевых песков с содержанием класса 0,1-0,5 мм (до 98%) — 0,25-0,3 кВт·ч/т. Основная причина уменьшения энергозатрат — это различие физико-химических связей воды с твердой фазой материала.

Результаты исследования процесса обезвоживания торфоугольной мелочи (с содержанием угля до 30%) с применением пенополивинилформала (ППВФ) показали, что процесс удаления влаги из образцов торфоугольной смеси при влажности более 50% происходит более интенсивно, чем из торфа, что обусловлено наличием в исследуемом образце угля, структурные особенности которого несколько отличны от торфа. Уголь имеет большую плотность, от значений которой зависит модуль упругости, от которого в свою очередь зависят сохранение пористости влагопроводящих каналов и сжимаемость материала. Кроме того, большую роль при влагоудалении играет состояние поверхности частиц. Уголь обладает малой шероховатостью, что обеспечивает легкий отвод отжимаемой воды.

Анализ результатов проведенных исследований показал целесообразность применения рассмотренных способов механического обезвоживания при обогащении торфа и торфоугольной смеси, что приводит к значительному (до 30%) уменьшению энергозатрат по сравнению с термической сушкой торфа и угля, которые используются для получения бытового топлива.