

УДК 622/794:621-1/-9

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КОМПЛЕКСНОГО МЕТОДА ОБЕЗВОЖИВАНИЯ И ТЕРМИЧЕСКОЙ СУШКИ ГОРНОЙ МАССЫ**¹Надутый В.П., ¹Сухарев В.В., ¹Костыря С.В., ²Хаддад Д.**¹*Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины,*²*Прикладной университет Аль-Балка, Амман, Иордания***ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ КОМПЛЕКСНОГО МЕТОДУ ЗНЕВОДНЕННЯ ТА ТЕРМІЧНОЇ СУШКИ ГІРСЬКОЇ МАСИ****¹Надутый В.П., ¹Сухарев В.В., ¹Костыря С.В., ²Хаддад Д.**¹*Институт геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України,*²*Прикладний університет Аль-Балка, Амман, Йорданія***COMPARATIVE ANALYSIS OF THE COMPLEX METHOD OF ROCK MASS DEHYDRATION AND THERMAL DRYING****¹Naduty V.P., ¹Suharyev V.V., ¹Kostyrya S.V., ²Haddad J.**¹*Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov of National Academy of Sciences of Ukraine, ²Applied University Al-Balka, Amman, Jordan*

Аннотация. Обезвоживание горной массы является важным технологическим процессом при добыче, переработке и обогащении полезных ископаемых. Существующие методы обезвоживания, как правило, энергоемкие и требуют сложного оборудования. Однако при их использовании (кроме термического) остаточная влага конечного продукта остается высокой, что не полностью удовлетворяет требованиям производства. Особенно это относится к мелким классам крупности.

В статье представлен сравнительный анализ комплексного метода обезвоживания и термической сушки горной массы. При сравнении учитывался главный фактор – затраты энергии на удаление влаги из материала. Комплексный метод обезвоживания является одним из перспективных методов, так как в основе его лежит использование одновременно вибрационного, вакуумного и электрокинетического воздействия на горную массу. Он способен удалять из влажного материала поровую и капиллярную влажность за достаточно короткое время с минимальными энергетическими затратами. Посредством вибрации происходит непрерывная транспортировка влажного материала по рабочему органу устройства. Эффективность прохождения жидкости сквозь слой горной массы на перфорированной поверхности усиливается за счет разрежения в вакуумной камере. Благодаря электрокинетическому воздействию на влажный материал ослабевает поверхностное натяжение жидкости в капиллярах и увеличивается степень обезвоживания.

В технологиях переработки влажных материалов используются различные механические методы предварительного обезвоживания, с применением современного оборудования. Все они ограничены техническими возможностями и не дают достаточно глубокого обезвоживания. Механическими способами извлекается только свободная и слабосвязанная влага, а поровая и капиллярная влага не удаляются. Поэтому в качестве вспомогательного процесса обезвоживания полезных ископаемых используется термическая сушка с использованием различных источников теплоты. Однако она является самым дорогим и энергоемким процессом. Сравнительный анализ проводится между обезвоживающим устройством комплексного действия и ленточной сушилкой (конвейерной). У них схожи габаритные размеры, но разное потребление приводами электроэнергии. На обезвоживающем устройстве отсутствует источник тепла. Для примера приведена сравнительная таблица технических характеристик и схематический график обезвоживания горной массы.

Ключевые слова: вибрация, вакуумирование, электроосмос, обезвоживание, комплексный метод.

Введение. Обезвоживание горной массы является важным технологическим процессом при добыче, переработке и обогащении полезных ископаемых. Существующие методы обезвоживания, как правило, энергоемкие и требуют сложного оборудования.

Однако при их использовании (кроме термического) остаточная влага конечного продукта остается высокой, что не полностью удовлетворяет требованиям производства. Особенно это относится к мелким классам крупности.

Разнообразные технологии обогащения предусматривают переработку влажных полезных ископаемых и последующее удаление избыточной влаги. В частности, при переработке железной руды перед операцией агломерации, при подготовке бурых углей и торфа перед брикетированием влажность не должна превышать 18-20 % и 16-20 %, а также при коксовании влажность коксующих углей должна быть не более 7-9%. Для этого необходимо снизить влажность исходного материала с целью уменьшения энергетических затрат на помол, устранение залипания просеивающей поверхности, смешивающий, дробящих и транспортирующих устройств [1-3].

Целью исследований является проведение сравнительного анализа между комплексным методом обезвоживания и термической сушки горной массы. При сравнении учитывался главный фактор – это затраты энергии на удаление влаги из материала.

При термической сушке скорость испарения воды из влажного материала зависит главным образом от пористости. При естественной сушке (свободное испарение) в отсутствие принудительного движения теплоносителя процесс идет относительно медленно. При искусственной сушке процесс ускоряется. Энергетические затраты на сушку горной массы зависят от типа воды в ней и энергии связи.

Одним из перспективных источников тепла в промышленности и бытовом хозяйстве является твердое органическое топливо в виде торфа, бурого и каменного угля, природного газа. В условиях жесткой конкуренции на рынке энергетического топлива и повышенных цен в последние годы широкое применение получило использование дымовых газов и перегретого воздуха.

Для сушки используют сушилки различных типов: с непосредственным контактом материала и теплоносителя (сушилки ленточные, кипящего слоя, турбинные и трубы-сушилки) и с косвенным нагревом материала через разделительную стенку (шнековые сушилки и сушилки с вращающимся барабаном) [4].

В технологии переработки обводненных и влажных материалов встает вопрос об использовании предварительного обезвоживания, т.к. это более простой и дешевый вид удаления влаги из материала, не касаясь термической сушки. На данное время широкое применение получили механические методы обезвоживания с применением современных высокочастотных грохотов, центрифуг, ленточных и дисковых вакуум-фильтров различных конструкций. Все они ограничены техническими возможностями и не могут гарантировать низкого содержания влаги в горной массе. Механическими способами извлекается только свободная и слабосвязанная влага, а поровая и капиллярная влага не удаляется. Поэтому в качестве вспомогательного процесса обезвоживания полезных ископаемых используется термическая сушка с

использованием различных источников теплоты, однако термическая сушка является самым дорогим и энергоемким процессом [5].

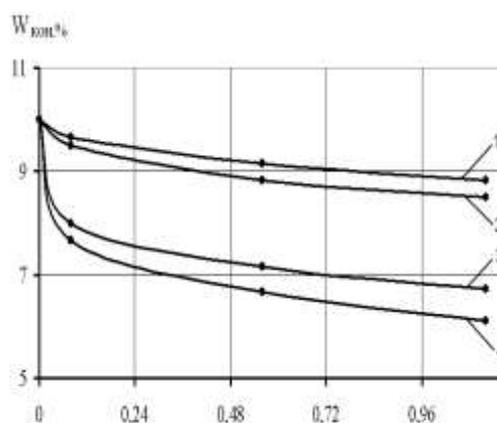
1. Обоснование использование комплексного метода обезвоживания

На основании существующих недостатков конструкций и методов обезвоживания возникла необходимость применения комплексного метода обезвоживания [6] с использованием вибрационного, вакуумного и электроосмотического (рис. 1). Применение комплексного метода обезвоживания позволяет повысить эффективность обезвоживания, снизить эксплуатационные затраты.

Привлекательность использования комплексного метода состоит в том, что в процессе использования возможна интенсификация более глубокого обезвоживания легкофильтруемых и труднофильтруемых концентратов за счет извлечения влаги из пор и капилляров твердого остатка. Это связано с изменением сил поверхностного натяжения жидкости или разложения молекул жидкости под действием гальванического тока, когда части молекул воды, разлагаемых в этом поле, переносятся от одного полюса к другому через обезвоживаемый слой пористой горной массы. Этот известный в физике процесс назван электроосмосом [7].



Рисунок 1 – Общий вид обезвоживающего устройства



1 – вибрационное воздействие; 2 – воздействие вибрацией и электроосмосом; 3 – воздействие вибрацией и вакуумом; 4 – воздействие вибрацией, электроосмосом и вакуумом

Рисунок 2 – Предварительные исследования комплексного обезвоживания

Вибрационное обезвоживающее устройство, представленное на рисунке 1, в виде короба с сетчатым дном выполняет эту функцию. С помощью вибрации происходит удаление свободной влаги и обеспечивает непрерывное движение сыпучей влажной массы по рабочему органу обезвоживающего устройства с постоянным контактом с электродом. Эффективность прохождения жидкости сквозь слой горной массы к перфорированной поверхности на слив в предлагаемом устройстве интенсифицируется за счет разряжения в вакуумной

камере. В этом случае на жидкость действует, помимо гравитационных сил, воздушная тяга, что увеличивает скорость обезвоживания материала. При работающем устройстве его контакты подключены к источнику постоянного тока, создающего электрическое поле, определяющее условия электроосмотического движения жидкости от загрузки (от анода) к металлической сетке (катод). С помощью электрокинетического воздействия (электроосмоса) усиливается воздействие на капиллярную и поровую влажность за счет ослабления поверхностного натяжения жидкости в канале. При вибрационном воздействии горная масса перемещается, сегрегирует и, проходя над сеткой, влага удаляется в камеру сбора. Процесс обезвоживания усиливается отрицательным давлением в камере сбора за счет вакуумирования. Таким образом, в процессе непрерывно движущегося слоя горной массы происходит обезвоживание по трем механизмам.

Предварительные исследования комплексного метода обезвоживания [8, 9], представленные на рис. 2 показали, что каждый из механических методов с определенной степенью влияет на процесс обезвоживания, но при использовании комплексного метода обезвоживания достигается минимальное содержание влаги в горной массе.

2. Термическая сушка – последняя стадия обезвоживания

Сушка - это процесс, сопровождающийся тепло- и массообменом между теплоносителем и влагой высушиваемого материала. При термической сушке скорость испарения воды из влажного материала зависит главным образом от пористости. При естественной сушке (свободное испарение) в отсутствие принудительного движения теплоносителя процесс идёт относительно медленно. При искусственной сушке процесс ускоряется. При нагревании твёрдого материала давление паров жидкости на его поверхности возрастает и пары диффундируют в поток сушильного агента. Возникающий при этом градиент концентрации влаги в материале заставляет её перемещаться из глубины слоев к поверхности со скоростью, зависящей от характера связи влаги с материалом. Для сушки используют сушилки различных типов: с непосредственным контактированием материала и теплоносителя (сушилки барабанные, кипящего слоя, турбинные и трубы-сушилки) и с косвенным нагревом материала через разделительную стенку (шнековые сушилки и сушилки с вращающимся барабаном).

Наибольшее распространение получили газовые барабанные сушилки. В них можно осуществлять сушку мелкодисперсной и крупнокусковой горной массы с размером кусков до 300 мм. Газовая барабанная сушилка представляет собой наклоненный вращающийся барабан, внутри которого размещены лопатки для пересыпки горной массы. Влажная горная масса с помощью питателя подается в верхний конец барабана.

К достоинствам барабанных сушильных установок можно отнести достаточно широкий спектр сушимых материалов с различными физическими

свойствами, а также использование при сушке различные топочные газы с достаточно высокой температурой ($t = 700-900$ °С). Применение газов с высокой температурой делает барабанные сушилки экономичными. Также одним из важнейших достоинств является способность сушить материалы не обладающих сыпучей способности (флотационные концентраты, шламы, вязкие материалы и т.д.)

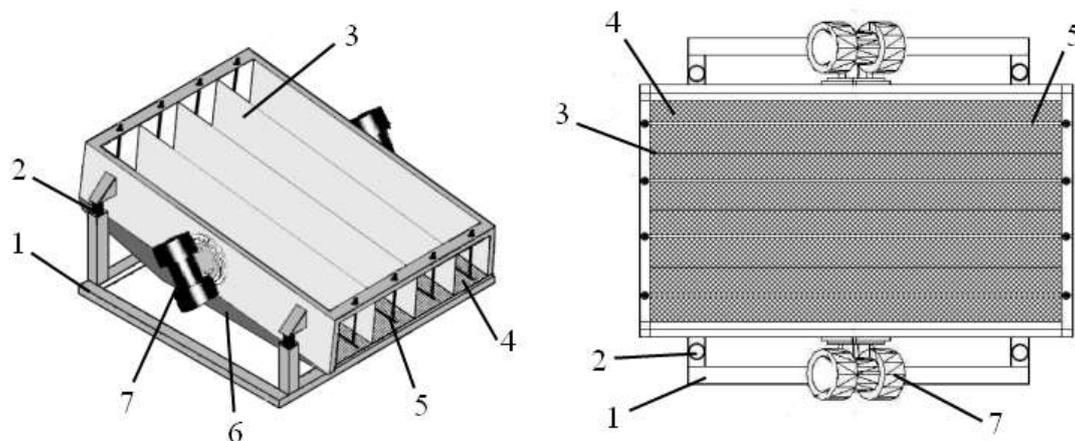
К недостаткам барабанных сушилок необходимо отнести их металлоемкость, достаточно большие размеры и сложность в обслуживании.

Ленточная сушилка представляет собой тоннельную камеру, внутри которой движется конвейерная лента, несущая на себе высушиваемый материал. Горячий воздух, нагретый ТЭНами до определенной температуры, с помощью вентилятора циркулирует внутри сушильной камеры, тем самым обеспечивая процесс сушки. Температура воздуха и расход электроэнергии через пульт управления задается оператором и контролируется автоматикой. Также оператор может в некоторых пределах регулировать скорость движения ленты по тоннелю, тем самым определяя время нахождения высушиваемых изделий внутри камеры.

Более эффективно применять многоленточные сушильные установки с лентами из металлических сеток, в которых сушильный материал пересыпается с одной ленты на другую, при этом перегретый воздух (топочный газ) движется навстречу движения материала.

Основными недостатками ленточных сушильных установок является то, что они очень громоздки, возникает большая сложность в обслуживании металлических лент из-за перекосов и растяжек. Достаточно низкая производительность и сильный расход тепла.

Для сравнения в таблице 1 представлена техническая характеристика обезвоживающего устройства комплексного действия (рис. 3) и ленточной сушилки (конвейерной).



1 – опорная рама; 2 – резиновые амортизаторы; 3 – перегородка; 4 – сетчатая поверхность; 5 – электропроводящий стержень; 6 – вакуумная камера; 7 – инерционный вибровозбудитель

Рисунок 3 - Общий вид обезвоживающего устройства комплексного действия (ОУ)

Таблица 1 – Сравнительная техническая характеристика обезвоживающего устройства комплексного действия (ОУ) и ленточной сушилки

Наименование	ОУ	СК-1-600
Тип перфорированной поверхности	сетчатый	сетчатый
Характер работы	непрерывный	непрерывный
Площадь перфорированной поверхности, м ²	4,5	3,6
Способ транспортировки	вибрационный	конвейерный
Теплоноситель - температура рабочей зоны, С ⁰	-	0-125, 0-250
Количество нагревательных элементов	-	12
Габаритные размеры (ДхШхВ), мм	4500х1000х1100	5300х1050х1500
Масса, кг	не более 300	не более 600
Потребляемая мощность приводов, кВт	4-5	18-22
Производительность, т/ч	20	5
Напряжение питания, В	380	380
Остаточная влажность, %	до 4	регулируемая

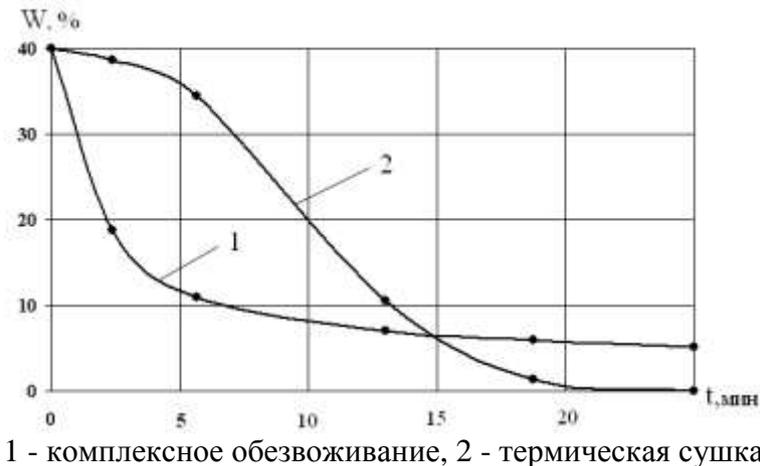
Из таблицы 1 видно, что обезвоживающее устройство (ОУ), при практически одинаковых размерах и характеристиках, имеет явное преимущество в низкой потребляемой мощности приводов и отсутствием теплоносителя. Затраты на обезвоживания 1 тонны горной массы до 4-5% на обезвоживающем устройстве комплексного действия составят приблизительно в 7-10 раз дешевле, чем при термической сушке.

Процесс термической сушки в ленточной сушилке связан с подводом к влажному материалу источника тепла и отводом влаги (в виде пара), также происходит затраты энергетических и временных ресурсов на нагрев материала. При этом термическая сушка включает в себя следующие процессы: подвод тепла, фазовое превращение жидкости в пар и непосредственное удаление пара из рабочей зоны сушильного аппарата.

3. Графическое изображение процесса обезвоживания на различных устройствах

При работе обезвоживающего устройства комплексного действия (ОУ) эти процессы отсутствуют, так как при обезвоживании пар не образуется из-за отсутствия нагрева. На рисунке 4 представлен график изменения влажности в материале при комплексном и термическом обезвоживании. Из графиков видно, что при термической сушке требуется дополнительные энергетические ресурсы на прогрев материала до выделения пара, а также увеличивается время нахождения сушильного материала в рабочей камере. При комплексном обезвоживании происходит моментальное удаление свободной влаги за счет

вибрационного и вакуумного воздействия.



1 - комплексное обезвоживание, 2 - термическая сушка

Рисунок 4 - График изменения влажности в материале при комплексном и термическом обезвоживании

Электрокинетический метод (в виде электроосмоса) действует непосредственно на капиллярную влажность, при этом ослабевает сила поверхностного натяжения жидкости и капиллярную влажность можно легче извлекать.

Выводы.

На основании проведенного анализа можно сделать вывод, что использование обезвоживающего устройства комплексного действия является обоснованным и экономически целесообразным для использования в технологической цепи переработки полезных ископаемых. Затраты на обезвоживания 1 тонны горной массы до 4-5% влажности на обезвоживающем устройстве составят приблизительно в 7-10 раз меньше, чем при термической сушке.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Наумович В.М. Искусственная сушка торфа. М.: Недра. 1984, 222 с.
2. Groenewold H., Tsotsas E, *Drying in fluidized beds with immersed heating elements*, Chemical engineering science, 2007, № 62 (1-2), pp. 481-496.
3. Абрамов А.А. Переработка, обогащение и комплексное использование твердых полезных ископаемых: Учебник для вузов. В 3 т., М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2004, Т. II. Технология обогащения полезных ископаемых, 510 с.
4. Лыков А.В. Теория сушки, М.: Энергия, 1968, 218 с.
5. Гухман А.А. Применение теории подобия к исследованию процессов тепло- и массообмена, М.: Высшая школа, 1974, 328 с.
6. Патент на корисну модель № 92897, UA, МПК В 01 D 61/56 (2006.1). Пристрій для зневоднення/ Надутый В.П., Сухарев В.В., Костыря С.В. – Заявка № 2014 03 312; Заявл. 01.04.2014, Опубл. 10.09.2014. Бюл. № 17. – 4 с.
7. Радущкевич В.Л., Гольберг Г.Ю. Интенсификация фильтрационного обезвоживания угольных флотошламов с помощью электроосмоса, Вестник ИОТТ. – Люберцы, 1994, Вып. 2, С. 70-76.
8. Надутый В.П., Сухарев В.В., Костыря С.В. Результаты комплексного обезвоживания горной массы на вибрационном устройстве, Вібрації в техніці та технологіях: Всеукр. наук.-техн. журнал, Вінниця, 2014, Вип. 1(73), С. 88-93.
9. Надутый В. П., Елисеев В.И., Луценко В.И., Костыря С.В. Теоретические оценки влияния некоторых параметров процесса комплексного обезвоживания измельченной горной массы, Геотехнічна механіка, Вип. 126, Дніпропетровськ, 2016, С. 36-42.

REFERENCES

1. Naumovich V.M. (1984) *Iskusstvennaya sushka torfa* [Artificial peat drying], Nedra, Moscow, SU.
2. Groenewold H. and Tsotsas E. (2007), «Drying in fluidized beds with immersed heating elements», *Chemical engineering*

science, no.62 (1–2), pp. 481–496.

3. Abramov A.A. (2004) *Pererabotka, obogashchenie i kompleksnoe ispol'zovanie tverdyh poleznykh iskopaemykh: Uchebnik dlya vuzov. V 3 t.* [Processing, enrichment and integrated use of solid minerals. In 3 Vol.], *Izdatel'stvo Moskovskogo gosudarstvennogo gornogo universiteta*, Moscow, RU.

4. Lykov A.V. (1968) *Teoriya sushki* [Drying theory], Energiya, Moscow, SU.

5. Gukhman A.A. (1974), *Primeneniye teorii podobiya k issledovaniyu protsessov teplo- I massoobmena* [Application of the theory of similarity to the study of processes of heat and mass transfer], *Vysshaya shkola*, SU.

6. Nadutyi V.P., Sukharev V.V. and Kostiryа S.V., *Zayavnyk i patentovolodar IGTM NAN Ukrainy* (2014), *Pristriy dlya znevodnennya*, [Device for dehydration], State Register of Patents of Ukraine, Dnepropetrovsk, UA, Pat. no. 92897.

7. Radushkevich V.L. and Golberg G.Yu. (1994) "Intensification of filtration dewatering of coal sludge using electroosmosis", *Vestnik IOTT, Lubertci*, Vol.2, pp. 70-76

8. Nadutyi V.P., Sukharev V.V. and Kostiryа S.V. (2014), "Results of complex dewatering of rock mass on a vibrating device", *Vibration in technology and technology*, Vinnitsa, Vol. 1(73), pp. 88-93.

9. Nadutyi V.P., Eliseyev V.I., Lutcenko V.I. and Kostiryа S.V. (2016), "Theoretical estimates of the effect of some process parameters of the complex dehydration of crushed rock mass", *Geo-Technical mechanics*, Dnepropetrovsk, Vol. 126, pp 36-42

Об авторах

Надутьий Владимир Петрович, доктор технических наук, профессор, заведующий отделом механики машин и процессов переработки минерального сырья, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины (ИГТМ НАН Украины), г. Днепр, Украина, nadutyvp@yandex.ua

Сухарев Виталий Витальевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник отдела механики машин и процессов переработки минерального сырья, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины (ИГТМ НАН Украины), г. Днепр, Украина, agnivik@ukr.net

Костыря Сергей Владимирович, младший научный сотрудник отдела механики машин и процессов переработки минерального сырья, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины (ИГТМ НАН Украины), г. Днепр, Украина, kostyrya81@gmail.com

Джамиль Хаддад, доктор технических наук, доцент, факультет машиностроения, факультет инженерных технологий, Прикладной университет Аль-Балка, Амман, Иордания drjamil@bau.edu.jo

About the authors

Nadutyi Vladimir Petrovich, Professor, Head of Department of Mechanics of Mineral Processing Machines and Processes, Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov of National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM NASU), Dnipro, Ukraine, nadutyvp@gmail.ua

Suharyev Vitaliy Vitaliyovych, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), Senior Researcher of Department of Mechanics of Mineral Processing Machines and Processes, Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov of National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnipro, Ukraine, agnivik@ukr.net

Kostyrya Sergey Vladimirovich, Junior Researcher in Department of Geodynamic Systems and Vibration Technologies, Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov of National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM NASU), Dnipro, Ukraine, kostyrya81@gmail.com

Jamil Haddad, Doctor of Technical Sciences (D.Sc.), Associate Professor, Department of Mechanical Engineering, Al-Balqa Applied University, Amman, Jordan, drjamil@bau.edu.jo

Анотація. Обезводнювання гірської маси є важливим технологічним процесів під час видобутку, переробки і збагачення корисної копалини. Існуючі методи обезводнювання, як правило, енергоємні, і вимагають складного устаткування. Проте при їх використуванні (окрім термічного) залишкова волога кінцевого продукту залишається високою, що не повністю задовольняє вимогам виробництва. Особливо це відноситься до дрібних класів крупності. У статті представлено порівняльний аналіз комплексного методу зневоднення та термічної сушки гірської маси. При порівнянні враховувався головний фактор - витрати енергії на видалення вологи з матеріалу.

Комплексний метод зневоднення є одним із перспективних методів, оскільки в основі його лежить використання одночасно вібраційного, вакуумного і електрокінетичного впливу на гірську масу. Він здатний видаляти з вологого матеріалу порову і капілярну вологу за досить короткий час з мінімальними енергетичними витратами. За допомогою вібрації відбувається безперервне транспортування вологого матеріалу робочим органом пристрою. Ефективність проходження рідини крізь шар гірської маси на перфорованій поверхні посилюється за рахунок розрідження у вакуумній камері. Завдяки електрокінетичному впливу на вологий матеріал слабшає поверхневий натяг рідини у капілярах та збільшується ступінь зневоднення.

У технологіях переробки вологих матеріалів використовуються різні механічні методи попереднього зневоднення із застосуванням сучасного обладнання. Всі вони мають обмежені технічні можливості і не дають достатньо глибокого зневоднення. Механічними способами витягується тільки вільна та слабозв'язана волога, а

порова та капілярна волога практично не видаляються. Тому як допоміжний процес зневоднення корисних копалин використовується термічна сушка з використанням різних джерел теплоти, проте вона є найдорожчим і енергоємним процесом.

Порівняльний аналіз проводиться між зневоднюючим пристроєм комплексної дії та стрічковою сушаркою (конвеєрною). У них схожі габаритні розміри та приблизно однакове споживання приводами електроенергії, проте на зневоднюючому пристрої немає джерела тепла. Для прикладу наведено порівняльну таблицю технічних характеристик та схематичний графік зневоднення гірської маси.

Ключові слова: вібрація, вакуумирование, електроосмос, зневоднення, комплексний метод.

Annotation. Dehydration of mine mass is important technological processes at a booty, processing and enrichment of minerals. Existent methods of dehydration, as a rule, are power-intensive and require the complex equipment. However at their use (except for thermal) remaining moisture of the finished good remains high, that not fully suits of production. Especially it behaves to the small classes of largeness. The article presents a comparative analysis between the complex method of the rock mass dehydration and thermal drying. When comparing, the main factor was taken into account, namely, energy consumed for removing moisture from the material.

The complex dewatering method is one of the promising methods, since it is based on simultaneous use of vibrational, vacuum and electrokinetic effects on the rock mass and is capable to remove humidity from the wet material pores and capillaries during a relatively short time and with minimal energy costs. With the help of vibration, the wet material is continuously transported along the movable operating element of the device. Efficiency of the fluid passaging through the layer of rock mass on a perforated surface is improved with the help of rarefaction in the vacuum chamber. Due to the electrokinetic effect on the wet material, surface tension of the fluid in the capillaries weakens and degree of dehydration increases.

Technologies for processing wet materials apply various mechanical methods of preliminary dehydration with the use of modern equipment. However, all of these methods are limited by technical capabilities and do not give sufficiently deep dehydration. Mechanically, only free and weakly-bound moisture is extracted, and no moisture is removed from the pores and capillaries. Therefore, thermal drying with various sources of heat is used as an auxiliary process for mineral dewatering, but it is the most expensive and energy-intensive process.

A comparative analysis is carried out between the complex dewatering device and a belt dryer (conveyor). They have similar overall dimensions but differ by electricity consumed by the drives, and there is no heat source on the dewatering device. Comparative table of technical characteristics and schematic diagrams of the rock mass dewatering is shown as an example.

Key words: vibration, vacuum, electroosmosis, dehydration, complex method

Стаття надійшла до редакції 10.05.2018

Рекомендовано до друку д-ром техн. наук Блюссом Б.О.