

УДК 622.74

МЕТОДОЛОГИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССА ВИБРАЦИОННОГО МЕХАНИЧЕСКОГО ОБЕЗВОЖИВАНИЯ МЕЛКИХ УГЛЕЙ

Букин С. Л., проф. каф. ОПИ ГОУВПО «ДОННТУ», к.т.н., доцент,
Шамахметова Д. С., студентка группы ОПИ-16, ГОУВПО «ДОННТУ».

эл. адрес: s.bukin08@gmail.com

Аннотация. В статье рассмотрены основные факторы, влияющие на процесс обезвоживания мелкозернистых углей на вибрационных грохотах. В качестве функции отклика выбрана эффективность процесса обезвоживания, которую можно оценить как отношение максимальной молекулярной влагоёмкости к влажности продукта после обезвоживания.

Ключевые слова: обезвоживание, уголь, крупность, мелкий класс, основные факторы, эффективность обезвоживания.

Annotation. The article considers main factors affecting the process dehydration of fine-grained coals on vibrating screens. As a response function, the efficiency of the dehydration process was selected, which can be estimated as the ratio of the maximum molecular moisture capacity to the moisture content of the product after dehydration.

Key words: dehydration, coal, fineness, small class, the main factors, effectiveness of dehydration.

Обогащение углей в водной среде предопределяет обязательное применение в технологии операций обезвоживания продуктов обогащения. На углеобогатительных фабриках для этих целей широко используются средства механического обезвоживания. Длительный опыт использования разнообразных обезвоживающих машин позволяет установить обратно пропорциональную зависимость удельного «веса» «проблем» обезвоживания от крупности обрабатываемого материала [1-4].

Вибрационные грохоты находят широкое применение для обезвоживания обводнённых крупных и мелких продуктов обогащения. Они имеют хорошие технологические показатели при обезвоживании продуктов обогащения крупных классов ($> 10...13$ мм), поэтому обезвоживание крупных классов на виброгрохотах является окончательной операцией, осуществляемой в одну стадию. Получить кондиционную влажность мелких классов (0,5-13 мм) угля на типовых вибрационных грохотах ГИСЛ или ГИСТ в одну стадию не удаётся [5].

Таким образом, интенсификация процессов обезвоживания мелких классов коксующихся и энергетических углей на вибрационных грохотах до сих пор остаётся актуальной научно-технической задачей.

Настоящая работа посвящена исследованию процессов механического обезвоживания мелкого угля с целью определения оптимальных режимов работы вибрационных грохотов и снижения фронта второй стадии обезвоживания.

Известно, что влагу, содержащуюся в зернистом продукте можно разделить на адсорбированную (связанную), капиллярную и свободную (гравитационную) [1]. Вибрационные грохоты позволяют снизить или удалить только гравитационную влагу. Для удаления такой влаги из зернистого материала кроме гравитационной силы (ускорение $1 g$) используют силы инерции, которые могут существенно превосходить силы гравитации. Для повышения эффективности обезвоживания мелких классов углей на вибрационных грохотах перспективно применение динамического режима с высокой интенсивностью ($>4 g$) [6-15].

К сожалению, в открытой печати отсутствуют рекомендации по обоснованному выбору параметров динамического режима обезвоживающего виброгрохота в зависимости от гранулометрического состава углей.

Длительный опыт эксплуатации вибрационных грохотов позволяет выделить группы наиболее значимых факторов, существенно влияющих на

эффективность обезвоживания: структура обезвоживаемого материала, режим работы машины и время процесса.

Структура пористой среды, которая в основном зависит от гранулометрического состава обезвоживаемого продукта, характеризуется такими показателями, как плотность, пористость, удельная поверхность, эквивалентный гидравлический радиус (диаметр) [1].

Плотность является базовой характеристикой всех сыпучих материалов. Различают истинную и насыпную плотности. *Истинная (действительная) плотность* – это масса единицы объёма материала в абсолютно плотном состоянии, т.е. без пор и пустот. Истинная плотность ρ (кг/м³, г/см³) определяется по формуле

$$\rho = \frac{m}{V}, \quad (1)$$

где m - масса образца; V - объём образца в абсолютно плотном состоянии.

Истинная плотность – постоянная физическая величина для конкретного материала, которая не может быть изменена.

В своем естественном состоянии (неуплотнённом) сыпучие материалы характеризуются насыпной плотностью. Под *насыпной плотностью* сыпучих материалов понимают количество сыпучего продукта, которое находится в свободно засыпанном состоянии в единице объёма.

Насыпная плотность учитывает не только объём частиц материала, но и пространство между ними, поэтому насыпная плотность гораздо меньше, чем истинная. Например, истинная плотность каменной соли составляет 2,3 т/м³, а насыпная – 1,02 т/м³ [16].

Пористость – свойство горных пород, определяемое наличием в ней пустот (пор, трещин и каверн) [17, 18]. Различают полную и открытую пористость. Полная пористость определяется объёмом всех пор в породе, открытая – пор, сообщающихся между собой.

Количественно пористость горных пород обычно выражается процентным отношением объёма пустот к общему объёму материала [19]

$$П = \frac{V_1 - V_2}{V_1} 100, \quad (2)$$

где V_1 – объём, занимаемый средой, включая поры; V_2 – объём твёрдой фазы.

Величина пористости может быть выражена как отношение веса воды, полностью заполняющей поры грунта, к весу абсолютно сухого грунта (весовая пористость) [19].

Кроме того, пористость материала может характеризоваться коэффициентом полной (или абсолютной) пористости K_n , которая определяется как отношение объёма пор к объёму твёрдой фазы материала [19]

$$K_n = \frac{V_1 - V_2}{V_2} 100, \quad (3)$$

или через плотности по формуле

$$K_n = \frac{\rho - \rho_0}{\rho} 100, \quad (4)$$

где: ρ – истинная (действительная) плотность материала; ρ_0 - насыпная плотность материала в сухом состоянии.

Через коэффициент пористости можно выразить пористость и наоборот:

$$П = \frac{K_n}{1 + K_n}, \quad K_n = \frac{П}{1 - П}. \quad (5)$$

Характеристикой влажности грунта является его весовая пористость, то есть когда поры полностью заполнены водой.

Удельная поверхность - усреднённая характеристика размеров внутренних полостей (каналов, пор) пористого тела или частиц раздробленной фазы дисперсной системы [20]. Удельная поверхность пропорциональна дисперсности или, что тоже, обратно пропорциональна размеру частиц дисперсной фазы.

Удельную поверхность выражают отношением общей поверхности пористого или диспергированного в данной среде тела к его объёму или массе. Поверхность, приходящуюся на единицу объёма продукта, называют *удельной объёмной поверхностью* S_0 пористой среды ($\text{м}^2/\text{м}^3$ или $1/\text{м}$):

$$S_0 = S_2/V_1, \quad (6)$$

т.е. отношение поверхности твёрдых частиц S_2 к объёму V_1 , занимаемому средой.

Поверхность, приходящуюся на единицу массы продукта, называют *удельной массовой поверхностью* S_0^* пористой среды ($\text{м}^2/\text{кг}$):

$$S_0^* = S_2/\rho. \quad (7)$$

Существует ряд моделей, позволяющих определять удельную поверхность материала [21].

Для частиц правильной шарообразной формы диаметром d и углом укладки $60\dots 90$ град (рис. 1) распространение получила модель Сликтера:

$$S_0 = \frac{6(1 - \Pi)}{d}. \quad (8)$$

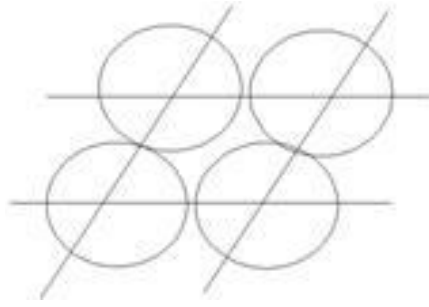


Рис. 1 – Укладка зёрен модели Сликтера

Модель К. Г. Оркина представляет собой уточнённую модель Сликтера. Он предложил аналитический способ определения удельной поверхности на базе результатов гранулометрического анализа (ситового анализа) [21]:

$$S_0 = \frac{6(1 - \Pi)}{d_{эф}} = \frac{6(1 - \Pi)}{M_0} k_\phi \sum_{i=1}^N \frac{M_i}{d_i}, \quad (9)$$

где M_0 – масса навески горных пород; M_i – навеска частиц в i -м сите; N – количество сит; d_i – средневзвешенный диаметр частиц, которые осели на данном сите; k_ϕ – коэффициент, учитывающий форму частиц (1,2...1,4); $d_{эф}$ – эффективный диаметр частиц, равный

$$d_{эф} = \frac{M_0}{k_\phi \sum_{i=1}^N \frac{M_i}{d_i}}. \quad (10)$$

Известен ещё один метод расчёта удельной поверхности, который также базируется на результатах гранулометрического состава материала [22]

$$S_0 = k_\phi \sum_{i=1}^N \frac{\gamma_i}{d_i}, \quad (11)$$

где γ_i – выход i -го класса крупности материала, %; \bar{d}_i - средний диаметр i -го класса крупности материала, мм; N – число рассматриваемых в ситовом анализе классов крупности.

С. Е. Андреев, В. В. Зверевич, В. А. Перов пришли практически к аналогичной зависимости и предложили определять удельную массовую поверхность смеси частиц шарообразной или кубической формы по формуле [4, 23]

$$S_0^* = \frac{6}{100\rho} \sum_{i=1}^N \frac{\gamma_i}{\bar{d}_i}, \quad (12)$$

где ρ - плотность материала частиц, кг/м³; \bar{d}_i - средний диаметр шара или длина ребра куба i -го класса крупности, м; γ_i - выход i -го класса крупности, %.

В общем виде они предложили определять удельную поверхность S_0^* зёрен для класса x_1 - x_2 (d_1 - d_2), используя уравнение [23]

$$S_0^* = \frac{60}{\rho} bn \int_{x_1}^{x_2} x^{n-2} e^{-bx^n} dx. \quad (13)$$

Так как форма зёрен отличается от шара или куба, вводят коэффициент формы $k_\phi = 0,5 \dots 0,7$, с учётом которого удельная объёмная поверхность продукта равна

$$S_0 = 6/(k_\phi d). \quad (14)$$

В гидравлике *гидравлическим радиусом* δ называется отношение площади живого сечения канала (трубки) к её смоченному периметру или отношение объёма трубки к её поверхности. Для цилиндрической трубки диаметром d гидравлический радиус равен

$$\delta = d/4. \quad (15)$$

В случае пористой среды, которую можно рассматривать как совокупность поровых каналов, гидравлический радиус будет равен отношению всех пор среды к поверхности её зёрен.

Для элементарного слоя среды объёмом $V_1 = 1$ объём пор $V_3 = K_n \cdot V_1$, а удельная поверхность единицы объёма будет S_0 . Следовательно, гидравлический радиус δ пористой среды равен

$$\delta = K_n/S_0 \text{ или } \delta = K_n/S_0^*, \quad (16)$$

а эквивалентный гидравлический диаметр $d_{\text{эк}}$ каналов пористой среды равен учетверённому гидравлическому радиусу:

$$d_{\text{эк}} = 4\delta. \quad (17)$$

Таким образом, эквивалентный гидравлический диаметр $d_{\text{эк}}$ является интегральным параметром структуры зернистого материала и может быть принят в работе для характеристики пористой среды, обезвоживаемой на грохоте.

Определение эквивалентного гидравлического диаметра $d_{\text{эк}}$ производится в следующей последовательности:

1. Определяем истинную (действительную) плотность материала ρ и его насыпную плотность ρ_0 в сухом состоянии.

Определение истинной плотности пористых тел является далеко не простой задачей [24].

Обычно *истинная (действительная) плотность* угля определяется пикнометрическим методом [25-27] с использованием насыщающей жидкости, в качестве которых используют дистиллированная вода, керосин, бензол,

этиловый спирт и другие жидкости, в которых не растворяются твёрдые частицы, причём плотность пикнометрической жидкости необходимо определить отдельно.

Для определения истинной плотности материала пробу измельчают до крупности - 5 мм, перемешивают, сокращают и вновь измельчают до крупности - 0,2 или - 0,063 мм [25]. При тонком измельчении разрушается только часть пор, но остаются ещё замкнутые поры, недоступные для проникновения в них жидкого или газообразного вещества, применяемого с целью заполнения пор. Затем тщательно вымытый и высушенный пикнометр заполняют пикнометрической жидкостью и термостатируют при $(20 \pm 0,2)$ °С в течение не менее 30 мин. По истечении этого времени проверяют уровень жидкости в пикнометре с меткой, тщательно вытирают фильтровальной бумагой внутреннюю поверхность пикнометра выше метки и всю наружную поверхность, закрывают пробкой и взвешивают на аналитических весах. Затем освобождают пикнометр от жидкости, высушивают и взвешивают вместе с пробкой. Засыпают через воронку образец материала в таком количестве, чтобы дно пикнометра было покрыто слоем толщиной в 1...2 зерна. Закрывают пробкой и взвешиванием определяют навеску образца. Затем навеску заливают пикнометрической жидкостью (до половины широкой части пикнометра), в открытом виде ставят в термостат при 80...90 °С и выдерживают при этих условиях примерно 1 ч, следя за тем, чтобы образец был все время покрыт жидкостью. Во время кипения жидкости воздух, заполняющий поры материала, удаляется, и поры заполняются жидкостью.

После измерения массы пустого пикнометра, наполненного жидкостью и при замене части жидкости пробой исследуемого материала можно рассчитать действительную плотность по формуле:

$$\rho = \frac{m_3 - m_1}{(m_4 - m_3) - (m_2 - m_1)} \cdot \Delta, \quad (18)$$

где ρ – действительная плотность исследуемого материала, кг/м³; Δ – плотность жидкости, свободной от растворённого воздуха и в зависимости от температуры, кг/м³; m_1 – масса пустого пикнометра, кг; m_2 – масса пикнометра с жидкостью, кг; m_3 – масса пикнометра с пробой исследуемого материала, кг; m_4 – масса пикнометра с жидкостью и пробой исследуемого материала, кг.

Насыпную плотность определяют взвешиванием массы высушенной пробы заполнителя в мерном сосуде [17, 28]. Отбирают пробу заполнителя испытываемого материала объемом 5...40 л и высушивают до постоянной массы. Высушенный до постоянной массы материал высыпают в предварительно взвешенный мерный сосуд с высоты 100 мм над его верхним краем до образования над верхом сосуда конуса, который удаляют металлической линейкой вровень с краями сосуда (без уплотнения) и взвешивают. Пористый материал высыпают через воронку.

Насыпную плотность материала ρ_0 (кг/м³) вычисляют с точностью до 1 кг/м³ по формуле

$$\rho_0 = \frac{m_1 - m_2}{V}, \quad (19)$$

где m_1 - масса мерного сосуда с заполнителем, кг; m_2 - масса мерного сосуда, кг; V – объём мерного сосуда, м³.

Насыпную плотность заполнителя вычисляют как среднее арифметическое значение результатов 2-3-х параллельных измерений, при проведении которых каждый раз используют новую порцию материала, которые отличаются не более чем на 5 %.

Размер мерного сосуда и объём пробы для испытания в зависимости от крупности материала принимают из [28].

2. *Пористость* может быть определена экспериментальным или экспериментально-расчётным способом. Экспериментальный (прямой) способ

основан на замещении порового пространства в материале сжиженным гелием и требует сложной аппаратуры для испытаний. Экспериментально-расчётный метод определения пористости [17, 25, 29] использует найденные опытным путём значения истинной плотности материала ρ и его средней плотности ρ_o в сухом состоянии. Коэффициент пористости K_n вычисляют по формуле (4).

3. Выполняем *ситовый анализ* исходного материала. Данный вид анализа регламентируется стандартами, например, для угля [30]. Сущность метода заключается в том, что материал просеивают на ситовом анализаторе, в котором сита с разным размером ячейки [31] установлены последовательно друг над другом: вверху сита с наибольшей ячейкой, последовательно вниз размер ячейки сита уменьшается. Ситовый анализ позволяет определить размер частиц, отделить частицы разного размера друг от друга и вычислить количественное соотношение частиц различной дисперсности. По результатам ситового анализа строим характеристику крупности исследуемого материала [23].

4. Определяем *коэффициенты b и n уравнения Розина-Рамлера* [23]

$$R = 100e^{-bd^n}, \quad (20)$$

где R – суммарный выход класса $+d$, мм; d – отверстие сита, мм; b и n – коэффициенты, характеризующие гранулометрический состав обезвоживаемого угля.

Эти коэффициенты вычисляются известным способом [23].

Двойным логарифмированием уравнение (20) приводится к виду

$$y = a + nx,$$

$$\text{где } y = \ln\left(\ln \frac{100}{R}\right), \quad a = \ln b, \quad x = \ln d.$$

В работе [11] описан способ определения коэффициентов b и n методом наименьших квадратов:

$$n = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}, \quad a = \bar{y} - m\bar{x}, \quad b = e^a, \quad (21)$$

где i – номер точки на характеристике крупности.

5. *Удельную поверхность* чаще всего определяют по количеству адсорбированного материалом инертного газа и по воздухопроницаемости слоя порошка или пористого материала. Адсорбционные методы позволяют получать наиболее достоверные данные.

Для определения удельной поверхности и распределения пор по радиусам пористых тел по теории БЭТ (Брунауэра, Эммета и Теллера) методом сорбции азота, при температуре жидкого азота, итальянская фирма «Карло Эрба» выпускала прибор «SORPTOMATIC» (время измерения — приблизительно один образец в сутки) [20]. К сожалению, этот прибор, как и многие другие приборы, позволяющие определять удельную поверхность материала (Товарова Т-3, ПСК-2, NOVA, NOVAtouch, Malvern, Multisizer и др.), нам недоступны, поэтому для определения удельной поверхности используем аналитические методы (9-14), результаты которых целесообразно сравнить.

5. По известным величинам пористости K_n и удельной поверхности S_0^* вычисляем гидравлический радиус δ пористой среды по формуле (16).

6. Рассчитываем значение эквивалентного гидравлического диаметра $d_{\text{эк}}$ по формуле (17).

Режим работы виброгрохота, совершающего гармонические колебания, принято характеризовать следующими параметрами: амплитуда колебаний a , частота колебаний ω , угол α подбрасывания материала и угол β наклона обезвоживающей поверхности к горизонту. В качестве интегрального динамического параметра может быть принят коэффициент интенсивности K , равный [33, 34]

$$K = \frac{a\omega^2 \sin(\alpha \pm \beta)}{g \cos(\beta)}, \quad (22)$$

где g – ускорение земного тяготения.

При горизонтальном угле наклона обезвоживающей поверхности ($\beta=0$) и её вертикальных колебаниях ($\alpha=0$) коэффициент интенсивности K_0 равен

$$K_0 = \frac{a\omega^2}{g}. \quad (23)$$

Для полигармонических колебаний коэффициент интенсивности определяется из выражения

$$K_0^* = \frac{\sum_{i=1}^n a_i \omega_i^2}{g}, \quad (24)$$

где a_i , ω_i – соответственно амплитуда и частота колебаний i -й гармоники ($i=1, 2, \dots, n$).

Для определения коэффициента интенсивности динамического режима K_0 в гармоническом режиме необходимо определить ускорение ($a\omega^2$) движения рабочего органа вибрационного стенда, а для бигармонического режима – ускорение измеряется дважды, для каждой гармоники. Измерение виброускорения колебаний рабочего органа может производиться при помощи виброрегистрирующего устройства «Vibrodon» [35].

Влажность исходного продукта определяются экспериментально [28, 36-38]. Методика определения содержания влаги основана на высушивании материала до постоянной массы. После увлажнения каждую навеску исходного материала быстро всыпают в предварительно высушенный и взвешенный сосуд, после чего взвешивают вместе с сосудом, а затем высушивают в

сушильном шкафу до постоянной массы и взвешивают ещё раз. Влажность исходного и обезвоженного продуктов определяется [3, 4, 37, 38] как отношение массы воды в продукте к массе сырого продукта

$$W = \frac{m_e - m_c}{m_c}, \quad (25)$$

где m_e - масса влажного продукта; m_c - масса сухого продукта.

Эффективность процесса обезвоживания η можно оценивать как отношение максимальной молекулярной влагоёмкости $ММВ$, широко используемой в почвоведении и грунтоведении [1, 39], к влажности W продукта после обезвоживания

$$\eta = \frac{ММВ}{W} 100, \%. \quad (26)$$

Максимальная молекулярная влагоёмкость (ММВ) - метод определения влаги, не удаляемой механическими методами (центрифугирования, фильтрования и т.д.). Используется в теории и практике обезвоживания, в частности полезных ископаемых. ММВ является, по сути, интегральной (суммарной) оценкой ряда видов влаги - капиллярной внутренней и частично внешней, пленочной, которая механически не удаляется. Дифференциальная их оценка по методу ММВ невозможна.

ММВ устанавливается экспериментально, например, путём отжатия воды из исследуемого образца, помещённого между двумя пакетами фильтровальной бумаги под прессом, при определённом давлении и в течение заданного отрезка времени [40].

Литература:

1. Бейлин М. И. Теоретические основы процессов обезвоживания углей [Текст] / М.И. Бейлин. – М.: Недра, 1969. – 240 с.
2. Баттаглия А. Обезвоживание продуктов обогащения и циркуляция моечных вод [Текст] / А. Баттаглия. – М.: Недра, 1967. – 308 с.
3. Руденко Р. К. Обезвоживание и пылеулавливание [Текст] / Р.К. Руденко, М.М. Шемаханов. – М.: Недра, 1981. – 350 с.
4. Чуянов Г. Г. Обезвоживание, пылеулавливание и охрана окружающей среды [Текст] / Г.Г. Чуянов. – М.: Недра, 1987. – 260 с.
5. Рудавина Е. В. Результаты обезвоживания угольных шламвл нефлотационной крупности на ОФ [Текст] / Е.В. Рудавина, А.Д. Полулях // Збагач. корисних копалинь. Наук. техн. зб. – 2019. – Вип. 72 (113). – С. 120–129.
6. Лапшин Е. С. Пути интенсификации обезвоживания минерального сырья на вибрационных грохотах [Текст] / Е.С. Лапшин, А.И. Шевченко // Науково-техніч. зб. НГУ. "Збагачення корисних копалин". – Дніпропетровськ, 2011. – Вип. 47(88). – С. 144–151.
7. Лапшин Е. С. Анализ состояния развития вибрационного грохочения при обезвоживании минерального сырья [Текст] / Е.С. Лапшин, А.И. Шевченко // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. — Днепропетровск: ИГТМ НАНУ, 2012. — Вып. 101. — С. 84–104
8. Букин С. Л. Интенсификация технологических процессов вибромашин путем реализации бигармонических режимов работы [Текст] / С.Л. Букин, С.Г. Маслов, А.П. Лютый, Г.Л. Резниченко // Науково-техніч. зб. НГУ. "Збагачення корисних копалин". – Дніпропетровськ, 2009. – Вип. 36(77). – С. 81–89.
9. Букин С. Л. Новые обезвоживающие виброгрохоты инерционного типа с бигармоническим режимом работы [Текст] / С.Л. Букин, А.П. Лютый, С.Г. Маслов // Сб. науч. тр. по мат. междунаrod. науч.-практ. конф. «Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании '2006». – Одесса: Черноморье, декабрь 2006 г. – С. 31–34.

10. Букин С. Л. Один из методов повышения эффективности процесса обезвоживания мелких классов углей на виброгрохоте [Текст] / С.Л. Букин, Н.А. Гапонов // Сб. мат. конф. «Компл. процессы обогащения, перераб. и использования мин.-сырьевых ресурсов». – Донецк: ДонНТУ, 26.10.2017 г. – С. 47–60.

11. Гаркушин Ю. К. Современное состояние теории механического обезвоживания и методов его интенсификации [Текст] / Ю. К. Гаркушин // Збагачення корисних копалинь. Наук. техн. зб. – 2001. – Вип. 12 (53). – С. 39–47.

12. Молчанов А. Е. Эффективность обезвоживания мелких продуктов углеобогащения по показателю максимальной влагоёмкости [Текст] / А.Е. Молчанов, Ю. Н. Бочков, В. В. Бобриков // Научно-технический вестник ИОТТ. Люберцы, 1995, № 4–5, с. 167–176.

13. Молчанов А. Е. Максимальная молекулярная влагоёмкость мелких продуктов углеобогащения [Текст] / А.Е. Молчанов, Ю. Н. Бочков, В. В. Бобриков // Научно-технич. вестник ИОТТ. Люберцы, 1995, № 4–5, с. 176–181.

14. Пути интенсификации обезвоживания мелкого угля и отчистки шламовых вод [Текст] / Каминский В.С. и др. – Т.р. ИОТТ. Проблемы обогащения твердых горючих ископаемых, Т. 2. Вып. 2. - М.: 1973. – С. 3–25.

15. Надутый В. П. Результаты комплексного обезвоживания горной массы на вибрационном устройстве [Текст] / В.П. Надутый, В.В. Сухарев, С.В. Костыря // Вібрації в техніці та технологіях: Всеукр. наук.-техн. журнал. – Вінниця, 2014. – Вип. 1(73). – С. 88-93.

16. Метод определения насыпной плотности [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.korolevpharm.ru/kachestvo/metodiki-i-testy/metod-opredeleniya-nasypnoj-plotnosti.html>/ Дата обращения: 01.11.2019.

17. Матеріалознавство. Матеріали методичного забезпечення до практичних занять з дисципліни для бакалаврів напряму підготовки 6.050301 Гірництво [Текст] / В.П. Сердюк, М.П. Овчинников, О.А. Гайдай, А.В. Яворський, О.А. Долгий. – Д.: Національний гірничий університет, 2012. – 26 с.

18. Пористость горной породы [Электронный ресурс] / Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/пористость_горных_пород/ Дата обращения: 01.11.2019.

19. Пористость грунтов. Грунтоведение [Электронный ресурс] / Режим доступа: https://studme.org/80719/geografiya/poristost_gruntov Дата обращения: 03.11.2019.

20. Удельная поверхность [Электронный ресурс] / Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/удельная_поверхность/ Дата обращения: 01.11.2019.

21. Удельная поверхность горных пород, её роль при фильтрации нефти и газа [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://students-library.com/library/read/50316-udelnaa-poverhnost-gornyh-porod-ee-rol-pri-filtracii-nefti-i-gaza> / Дата обращения: 01.11.2019.

22. 27. Терновая Е. В. Оценка современных способов гранулометрического анализа измельчённого продукта [Текст] // Наукотехніч. Зб. НГУ. "Збагачення корисних копалин". – Дніпропетровськ, 2014. – Вип. 58(99)-59(100). – С. 81–89.

23. Андреев С. Е. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых [Текст] / С.Е. Андреев, В.В. Зверевич, В.А. Перов. – М.: Госгортехиздат, 1961. – 384 с.

24. Брунауэр С. Адсорбция газов и паров. Т. 1. [Текст] / С. Брунауэр. — М.: Из-во «Иностранная литература», 1948. – 783 с.

25. ГОСТ 2409-2014. Огнеупоры. Метод определения кажущейся плотности, открытой и общей пористости, водопоглощения [Текст]. – 8 с.

26. Самойлик В. Г. Исследования полезных ископаемых на обогатимость: [Текст] / В. Г. Самойлик. – Донецк: ДонНТУ, 2018. – 190 с.

27. Практикум по общей химической технологии [Текст] / А.Я. Авербух, Е.С. Тумаркина, И.П. Мухленов и др. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. школа, 1979. - 421 с.

28. ГОСТ 9758-86. Заполнители пористые неорганические для строительных работ. Методы испытаний (с Изменениями N 1, 2). [Текст].

29. Методы измерения пористости горных пород [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://works.doklad.ru/view/TjHYcyk9UW8/all.html> Дата обращения: 01.11.2019.

30. ГОСТ 2093-82. Топливо твердое. Ситовый метод определения гранулометрического состава. [Текст].

31. ГОСТ Р 51568. Сита лабораторные из металлической проволочной сетки. [Текст].

32. Сухин Н. В. [Текст]

33. Вайсберг Л. А. Проектирование и расчёт вибрационных грохотов [Текст] / Л.А. Вайсберг. – М.: Недра, 1986. – 144 с.

34. Пономарёв И. В. Дробление и грохочение углей [Текст] / И.В. Пономарёв - М.: Недра, 1970. – 368 с.

35. Букин С. Л. Устройство "Vibrodon" - анализатор основных динамических параметров вибрационных машин [Текст] / С.Л. Букин // Сб. мат. конф. «Комплексные процессы обогащения, переработки и использования минерально-сырьевых ресурсов». – Донецк: ДонНТУ, 26.10.2017 г. – С. 28–37.

36. ГОСТ 27314-91. Топливо твердое минеральное. Методы определения влаги. [Текст].

37. ГОСТ Р 52911-2013. Топливо твердое минеральное. Методы определения влаги. [Текст]. – 8 с.

38. ГОСТ 11014-2001. Угли бурые, каменные, антрацит и горючие сланцы. Ускоренные методы определения влаги. [Текст]. – 3 с.

39. Бочков Ю. П. Оценка эффективности механических способов обезвоживания угольной мелочи [Текст] / Ю.П. Бочков, Л.С. Зарубин // Сб. «Теория и практика обезвож. угольной мелочи». – М.: Наука, 1966. – С. 5–19.

40. Тихоненко Д. Г. Практикум з ґрунтознавства [Текст] / Д.Г. Тихоненко, В.В. Дегтярьов, С.В. Крохін та ін. - Вінниця: Нова Книга, 2008. – 448 с.