

УДК 661.653

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СЕРНОГО КОЛЧЕДАНА**Никандров М.И., Никандров И.С., Шурашов А.Д., Горшков А.С., Краснов Ю.В.***Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, филиал,
Дзержинск, e-mail: gorshkov_as@mail.ru*

Определены необходимые для расчета грейферов, фронтальных погрузчиков и другой техники данные по физико-механическим свойствам флотационного серного колчедана, включая: насыпную плотность, угол естественного откоса, удельное сопротивление внедрению режущего органа, начальное давление уплотнения, сопротивление одноосному сжатию, коэффициент уплотнения материала, модуль уплотняемости, коэффициент трения по стали и коэффициент бокового давления. Даны диаграммы состав-свойства колчедана. Получены уравнения зависимости свойств от температуры (0 – минус 20 °С) и доли воды в колчедане (0–0,2), необходимые для использования в системе автоматического проектирования рабочих органов подъемно-транспортных механизмов. Показано увеличение всех свойств с понижением температуры и повышением доли влаги в колчедане за исключением насыпной плотности и коэффициента трения по стали. Последний уменьшается с повышением доли влаги и температуры смерзшегося колчедана, а насыпная плотность при этом увеличивается.

Ключевые слова: колчедан, свойства, температура, влажность, влияние**RHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES PYRITES****Nikandrov M.I., Nikandrov I.S., Shurashov A.D., Gorshkov A.S., Krasnov Yu.V.***Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev, branch, Dzerzhinsk,
e-mail: gorshkov_as@mail.ru*

The data on the physic-mechanical properties of the flotation sulfur pyrite, including: bulk density, natural slope angle, specific resistance to the insertion of the cutting organ, initial seal pressure, uniaxial compression resistance, material compaction factor, modulus of compaction are determined for the calculation of grapples, front loaders and other equipment, the coefficient of friction in steel and the coefficient of lateral pressure. The composition-property diagram of pyrite is given. The equations of dependence of properties on temperature (0 – minus 20 °C) and water share in pyrite (0–0,2), necessary for use in system of automatic designing of working bodies of hoisting-and-transport mechanisms are received. An increase in all properties with decreasing temperature and an increase in the share of moisture in pyrite are shown, with the exception of the bulk density and the coefficient of friction in steel. The latter decreases with an increase in the fraction of moisture and temperature of the frozen pyrites, and the bulk density increases in this case.

Keywords: pyrites, properties, temperature, humidity, influence

Серный колчедан в основном содержит сульфид железа и является сырьем для производства серной кислоты. Содержание влаги в нем летом допускается до 8% [1]. При хранении на складе колчедан смерзается в монолитную корку толщиной 2–2,2 м [2]. В результате при транспортировании колчедана из штабеля в бункер транспортера подачи колчедана к печам сжигания зачерпывание смерзшегося сырья грейфером затруднено [3]. Это часто приводит к вынужденной остановке цеха.

Свойства сыпучих материалов после смерзания существенно отличаются от свойств исходных материалов [4]. Это определяется тем, что сыпучий материал после охлаждения ниже температуры замерзания воды скрепляется в монолитный блок кристаллизующимся льдом. Материал смерзшейся корки теряет подвижность, после разрушения слоя корки и рыхления смерзшегося материала он вновь приобретает сыпучесть, но свойства взрыхленного сыпучего материала значительно отличаются от свойств исходных материалов из-за покрытия частиц тонкой корочкой

льда, влияющей на характер взаимодействия частиц друг с другом в точках их контакта.

Для расчета разрушения смерзшейся корки колчедана, определения сопротивления зачерпыванию необходимы данные по физико-механическим свойствам для различных температур и влажности колчедана. Эти данные необходимы для проектирования специальных грейферов – рыхлителей колчедана.

Цель исследования

Получение отсутствующих данных по физико-механическим свойствам смерзшегося флотационного колчедана и определение влияния температуры и влажности колчедана на его свойства.

Материалы и методы исследования

Температуру образцов колчедана определяли ртутным термометром с точностью $\pm 0,5\%$. Влажность колчедана определяли весовым методом с точностью $\pm 0,5\%$. Образец колчедана марки КСФ-2 содержал 81,2% частиц размером менее 0,25 мм, 12%

размером 0,25–0,5 мм, остальное – фракция 0,5–1 мм. Определение физико-механических свойств проводили по методикам [5]. Смерзшиеся образцы флотационного колчедана готовили замораживанием влажного материала, уплотненного в разъемных формах, усилием 500 кг/м². Температура замораживания менялась в пределах от –5 °С до –20 °С.

Для определения свойств образцы дробленого материала отсеивали на ситах. Для исследования отбирали фракцию размером частиц от 1 до 5 мм.

Результаты исследования и их обсуждение

К общим свойствам сыпучего материала относятся насыпная плотность и угол естественного откоса [6]. Анализ полученных данных показал, что насыпная плотность колчедана при температурах от 5 до 40 °С определяется его влажностью и равна

$$\gamma = \gamma_0(1 + k_1\omega), \quad (1)$$

где γ_0 – насыпная плотность сухого колчедана, равная 1750 кг/м³;

k_1 – коэффициент влияния влажности на насыпную плотность;

ω – доля влаги в колчедане.

При температуре замерзания воды насыпная плотность колчедана скачкообразно снижается на 115 кг/м³ и при дальнейшем понижении температуры взрыхленного смерзшегося колчедана (фракция 1–5 мм) возрастает вновь. Наличие скачка плотности в точке кристаллизации воды объ-

ясняется вспучиванием материала, выделяющимися кристаллами льда и влиянием кристаллов льда, плотность которых ниже плотности колчедана, на плотность смерзшегося дробленого колчедана.

Исследованием показано, что насыпная масса смерзшегося серного колчедана определяется уравнением

$$\gamma_{см} = \gamma_0(1 + k_1\omega) - a + k_2t, \quad (2)$$

где a – коэффициент учета вспучивания материала за счет выпадения кристаллов льда, равный 115 кг/м³;

ω – доля влаги в колчедане;

t – температура колчедана, град;

k_1 – коэффициент влияния влажности, равный 1,1;

k_2 – коэффициент влияния температуры, равный 5 кг/град · м³.

Экспериментально определено, что угол естественного откоса смерзшегося серного колчедана меняется в пределах 31–38 градусов. Как видно из таблицы, с увеличением влажности материала с 0 до 12% угол откоса возрастает на 4–7 градусов.

Зависимость угла откоса от влажности и температуры

Влажность, %	Температура, °С			
	+ 20	–5	–10	–20
0	31	–	–	30
5,2	–	33	33	32
10,6	–	36	35	33
11,2	38	–	–	34

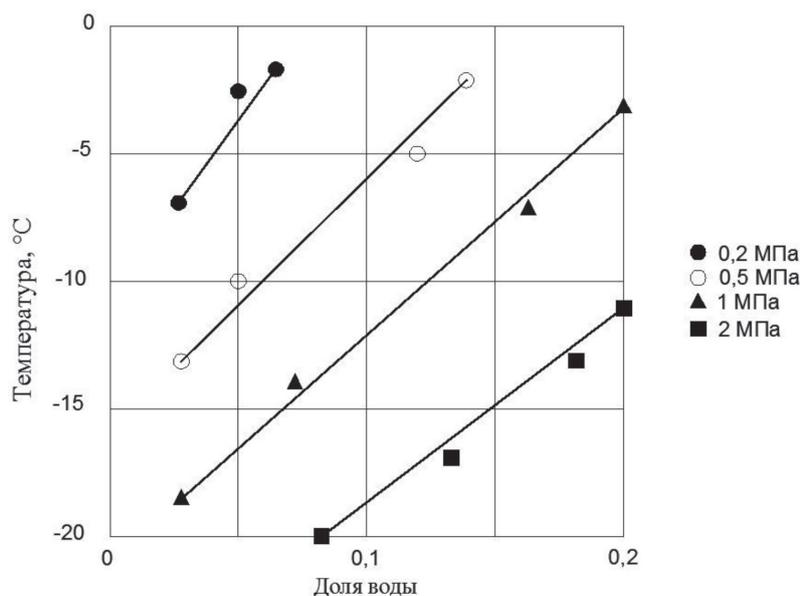


Рис. 1. Диаграмма влияния температуры (t) и доли воды в смерзшемся колчедане на его сопротивление одноосному сжатию

Сопротивление зачерпыванию материала определяется удельным сопротивлением внедрению резца шины (или клыка) в смерзшийся колчедан, сопротивлением материала одноосному сжатию, модулем уплотнения материала, коэффициентом трения частиц смерзшегося материала по стали, коэффициентом бокового давления. В связи с этим данные свойства для серного колчедана определены экспериментально.

Экспериментально установлено, что при влажности 6–8% удельное сопротивление внедрению режущего элемента в смерзшийся колчедан равно 0,475 МПа. Это больше, чем для сухого колчедана (0,350 МПа), но меньше, чем для песка (0,975 МПа).

Начальное давление уплотнения смерзшегося колчедана равно 420 Па. Это также больше, чем для сухого колчедана, для которого начальное давление уплотнения равно 350 Па.

Как видно из рис. 1, сопротивление одноосному сжатию образца размером 100x100x100 мм возрастает с увеличением влажности (до 20%) и понижением температуры образца (до -20°C).

Монолитные образцы получают при доле влаги в образцах более 2%. При влажности колчедана 2% и менее образцы разрушаются до начала испытаний. Критическое содержание воды в колчедане, при превышении которого прочность смерзшегося образца снижалась бы, приближаясь к прочности льда, в опытах не достигалось.

Судя по изменению наклона линий постоянных значений сопротивления одноосному сжатию, с понижением температуры смерзшихся образцов с -5°C до -20°C влияние роста влажности на силу сопротивления сжатию понижается.

Изменение плотности материала определяется коэффициентом уплотнения. Коэффициент уплотнения дробленой смерзшейся массы серного колчедана (фракция 1–5 мм) K_v равен 1,04. Это ниже среднего расчетного значения для большинства сыпучих материалов ($K_p = 1,15$ [4]).

Модуль уплотняемости для сухого колчедана (ψ_0) равен 0,013. Как видно из рис. 2, модуль уплотняемости смерзшегося серного колчедана пропорционален температуре и влажности материала. Это выше его значения для песка (0,003), но меньше, чем для смерзшегося угля (0,036).

Зависимость модуля уплотняемости колчедана от температуры ($t, ^{\circ}\text{C}$) и доли влаги (ω) описывается уравнением

$$\psi = \psi_0(1 - k_3 t)(1 + k_4 \omega), \quad (3)$$

где k_3 – коэффициент влияния температуры, равный $0,00085 \text{ град}^{-1}$;

k_4 – коэффициент влияния влажности, равный 0,041;

ψ_0 – модуль уплотняемости сухого колчедана.

Для серного колчедана, в отличие от других свойств, коэффициент трения по стали уменьшается с повышением влажности колчедана и снижением его температуры (рис. 3).

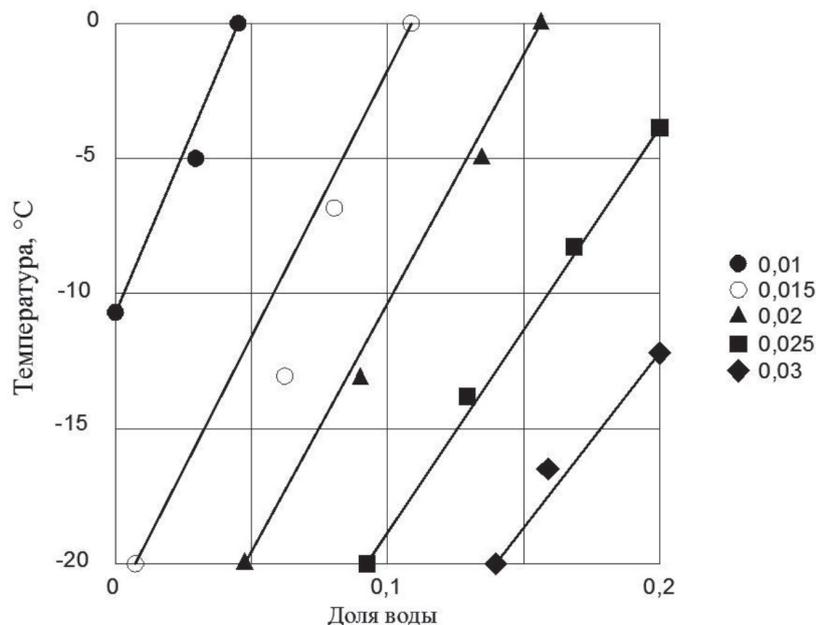


Рис. 2. Диаграмма влияния температуры (t) и доли воды в смерзшемся колчедане на модуль его уплотняемости (ψ)

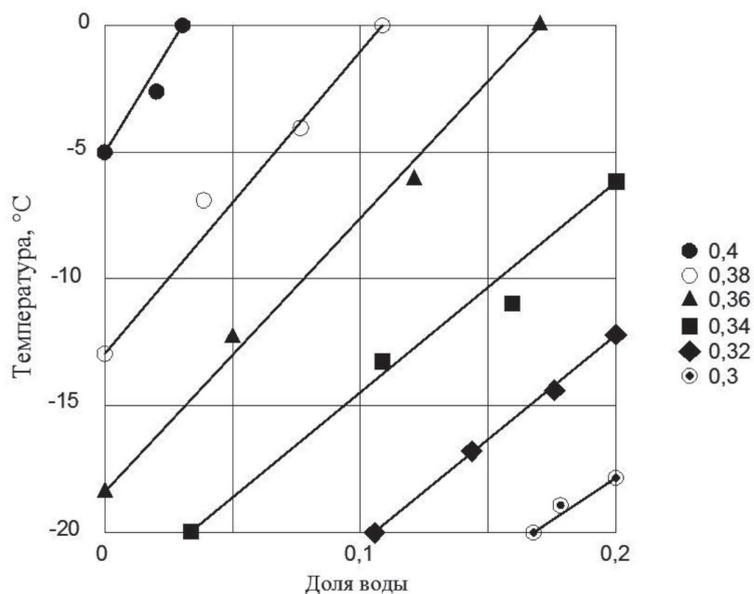


Рис. 3. Диаграмма влияния температуры (t) и влажности колчедана на коэффициент трения по стали

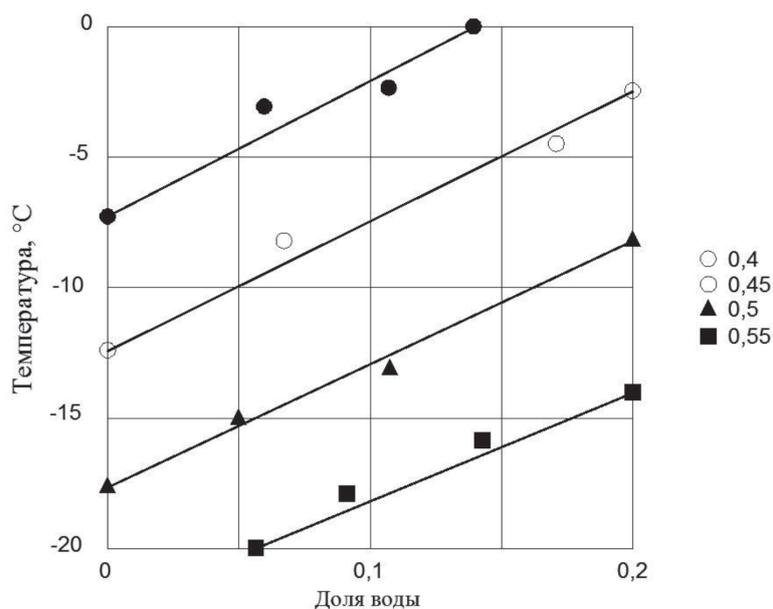


Рис. 4. Диаграмма влияния температуры (t) и влажности колчедана на коэффициент бокового давления

Понижение коэффициента трения по стали с увеличением влажности объясняется ростом доли льда на поверхности контакта частиц с поверхностью стали. В результате контакт твердых частиц колчедана со сталью снижается [7].

При понижении температуры из-за роста прочности льда его разрушение на обледенелой поверхности частиц колчедана снижается. Это способствует уменьшению коэффициента трения.

Зависимость коэффициента трения по стали от температуры и влажности колчедана выражается уравнением

$$\mu_{\text{ст}} = \mu_{\text{ст}}^0 (1 + k_5 t) (1 - k_6 \omega), \quad (4)$$

где $\mu_{\text{ст}}^0$ – коэффициент трения по стали для сухого колчедана, равный 0,43;
 k_5 – коэффициент влияния температуры, равный 0,005 град⁻¹;
 k_6 – коэффициент влияния влажности колчедана, равный 1,2.

Судя по полученным данным, коэффициент трения по стали для колчедана меньше, чем для известняка (в 1,5–1,8 раза), но больше, чем для угля (в 1,2 раза).

Коэффициент бокового давления смерзшегося колчедана определяется преимущественно температурой (рис. 4) и определяется уравнением

$$\xi = \xi_0(1 - k_7 t)(1 + k_8 \omega), \quad (5)$$

где ξ_0 – коэффициент бокового давления сухого колчедана при 0 °С, равный 0,38;

k_7 – коэффициент влияния температуры, равный 0,008 град⁻¹;

k_8 – коэффициент влияния влажности колчедана, равный 0,245.

Сравнение коэффициентов бокового давления смерзшихся угля, песка, известняка и колчедана показывает, что величина коэффициента бокового давления серного колчедана в 2–2,2 раза больше, чем у известняка, угля, чем в 1,8 раза, но в 1,2 раза меньше, чем у песка. Это объясняется меньшим расхождением размеров частиц у колчедана и песка по размерам, чем у угля и известняка.

Коэффициент влияния влажности материала k_8 обратно пропорционален величине смачиваемости поверхности материала водой. Для более гидрофобного угля $k_8 = 0,58$, а для гидрофильного песка и колчедана $k_8 = 0,18–0,31$. Как установлено Ребиндером, гидрофильность поверхности водой определяется соотношением теплоты смачивания её водой и углеводородом. Для угля отношение теплот смачивания равно $0,4–0,5 < 1$, тогда как для колчедана оно равно $1,6 > 1$, для песка $2 > 1$.

Заключение

1. Насыпная плотность смерзшегося колчедана влажностью 3–20 % при температурах от минус 5 °С до минус 20 °С меняется в пределах 1700–1900 кг/м³.

2. Сопротивление одноосному сжатию равно 0,3–1,5 МПа, модуль уплотняемости измельченного смерзшегося колчедана равен 0,016–0,021, начальное давление уплотнения 420 Па, коэффициент трения по стали равен 0,33–0,37 и коэффициент бокового давления равен 0,45–0,49.

Список литературы

- ГОСТ 444-75. Колчедан серный флотационный. Технические условия. – М.: ИПК изд-во стандартов, 1975. – 27 с.
- ГОСТ 444-2016. Колчедан серный флотационный. Технические условия. – М.: Стандартинформ, 2017. – 39 с.
- Суровегина Т., Никандров И., Никандров М. Перегрузка смерзшихся сыпучих материалов грейферами [Электронный ресурс]. – LAP Lambert Academic Publishing (2013–11–02) <http://www.lapublishing.com/catalog/details/store/gb/book>.
- Шубин И.Н. Технологические машины и оборудование. Сыпучие материалы и их свойства: учеб. пособие / И.Н. Шубин, М.М. Свиридов, В.П. Таров; М-во образования и науки Рос. Федерации, гос. образоват. учреждение высш. проф. образования «Тамб. гос. техн. ун-т». – Тамбов: Изд-во ТГТУ, 2005. – 75 с.
- Методы определения основных свойств строительных материалов: методические указания к лабораторным работам / Сост. Н.К. Скрипникова, М.Л. Тогицкий. – Томск: Изд-во Томского архитектурно-строительного университета, 2013. – 20 с.
- Мурков О.С. Основы технологии: учебно-методическое пособие. – Витебск: ВФ УО ФПБ «МИТСО», 2009. – 75 с.
- Суровегина Т.Ю., Никандров И.С., Шурашов А.Д. Влияние параметров грейфера на сопротивление внедрению в смерзшийся флотационный колчедан // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 4; URL: <http://www.science-education.ru/110-9813>.