

3. Арсеньев С.Я., Прудовский А.Д. Внутрикарьерное усреднение железных руд. – М.: Недра, 1980. – 248 с.

#### **ABSTRACT**

**The purpose** of work consists of increasing of the definiteness of the task of the linear programming at the operative planning of work of mine transport equipment of iron-ore quarry. It is suggested to labour the removal of unjointness of limiting of the task structuring of them and selection of the parameters of the productivity in accordance with the mine transport situation folded on the open-pit.

**The methods** of solving the task of setting of loading on the embarking, transport and receiving equipment of the open -pit are examine the structural analysis of the systems of mine transport situation on the open-pit and linear programming.

**Findings.** The results of the researches are presented as additional rules of algorithm of forming the task of the operative planning.

**The originality** consists of improvement of the methodology of task of the operative planning by her additional structuring in accordance to the folded mine transport situation on the open-pit and adaptivity of the determination of plan parameters of the productivity of the equipment.

**Practical implications** of the results consists of the increase of correctness of determination of plan indexes of the productivity of separate pieces of equipment and quarry on the whole, reduction of plan and actual indexes of work of equipment of the open-pit, and also improvement of the mathematical and programmatic providing of automatic systems of the operative planning.

**Keywords:** operative planning, iron-ore open-pit, unjointness of the system of limitations, structural analysis of mine transport situation.

УДК 622.272+541.1

© А.А. Гайдай, М.В. Петлёванный

### **МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ УЛУЧШЕНИЯ СТРУКТУРНО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТВЁРДОГО ТОПЛИВА ТЕХНОГЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ, КАК ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ**

© A. Haidai, M. Petlyovanyi

### **METHODOLOGICAL ASPECTS IMPROVE STRUCTURAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF SOLID FUEL TECHNOGENIC DEPOSITS AS DISPERSE SYSTEMS**

Обоснованы технологические параметры, влияющие на улучшение структурно-механические свойства минерального сырья техногенных месторождений, как дисперсных систем. Применяемыми методами исследований являлись: измерения структурно-

механических свойств дисперсных систем – погружения конуса, тангенциального смещения пластинки, закручивания цилиндра и другие. Практическая ценность исследований заключается в установлении необходимости физико-химического влияния и выборе технологических параметров для улучшения физико-механических свойств дисперсных угольных шламов и золошлаков.

Обґрунтовано технологічні параметри, що впливають на поліпшення структурно-механічних властивостей мінеральної сировини техногенних родовищ, як дисперсних систем. Застосовуваними методами досліджень були: вимірювання структурно-механічних властивостей дисперсних систем - занурення конуса, тангенціального зміщення пластинки, закручування циліндра та інші. Практична цінність досліджень полягає у встановленні необхідності фізико-хімічного впливу і виборі технологічних параметрів для поліпшення фізико-механічних властивостей дисперсних вугільних шламів і золошлаків.

Месторождения, которые представлены хранилищами угольных шламов и золошлаков занимают огромные площади, что приводит к отчуждению сельскохозяйственных угодий и ощутимому ухудшению экологической ситуации территорий. Но количество полезных горючих компонентов, в таких хранилищах вторичного сырья, составляют порядка 20-75%, которые можно переработать в топливо. В данном случае решается актуальная промышленная и социальная проблема потребления в дополнительном твёрдом топливе и снижение экологической нагрузки регионов, где ведётся подземная разработка угольных месторождений, а также сжигание угля на теплоэлектростанции.

В качестве эффективной переработки вторичных энергетических ресурсов и приведения их к техническим требованиям предлагается адгезионно-химическая технология окускования [1].

Для обоснования физико-механических параметров окускованного композиционного топлива необходимо исследование структурно-механических свойств угольных шламов и золошлаков как дисперсных систем. Исследования проводились с помощью методов измерения структурно-механических свойств дисперсных систем. Угольные шламы и золошлаки (фракция 0-2 мм), как дисперсные породы, включающие дисперсную фазу и дисперсную среду, представляют собой систему, основанную на физико-химическом взаимодействии её составляющих.

Наличие структуры придает системе своеобразные механические свойства. Эти свойства – упругость, прочность, пластичность, вязкость – зависят от химической природы веществ, образующих данную систему, определяются молекулярными силами сцепления между элементами структуры, взаимодействием их с дисперсионной средой и степенью развития структуры во всем объеме системы. Поэтому улучшение структурно-механических свойств, необходимое для процесса их окускования требует исследования [2].

Для оценки характеристики механических свойств структурированных дисперсных систем, наиболее рациональными методами, являются определение их деформационных свойств: прочности – предельного напряжения на сдвиг; модуля упругости; релаксационных характеристик; последействия и др. [3].

Во многих случаях для оценки структурированной дисперсной системы можно ограничиться определением наиболее простой и практически важной

величины – механической прочности структуры, т.е. предельного напряжения сдвига  $P$  при малых скоростях деформации.

Методы измерения структурно-механических свойств дисперсных систем [3-8] можно разделить на три группы:

1) Методы извлечения рабочей части прибора из исследуемой системы. Сюда относится метод извлечения цилиндра с острой нарезкой по Воларовичу-Толстому (предварительно такой цилиндр - шуруп - должен быть полностью заправлен или ввинчен в исследуемую систему).

2) Методы проникновения наконечника (индентора) правильной геометрической формы и дающего отпечатки, подобные друг другу (конуса, пирамиды), в практически безграничный объем исследуемой системы. Эти методы позволяют подробно исследовать процесс пластического течения системы при заданных напряжениях и скоростях деформации и получать кривые течения, т.е. реологические характеристики структурированных пластично-вязких систем. Определяемое по наибольшему погружению наконечника (конуса, пирамиды) предельное напряжение сдвига характеризует пластическую прочность системы, соответствующую верхнему пределу текучести.

3) Методы сдвига внутри исследуемой системы при сохранении постоянства поверхности контакта индентора с системой, т.е. при сохранении постоянства передаваемого системе напряжения сдвига. К методам этой группы относится метод тангенциального смещения пластинки, помещенной внутри системы по Вейлеру - Ребиндеру, а также метод закручивания цилиндра, погруженного в систему (метод Шведова). Ценной особенностью этих методов является возможность определить абсолютные значения всех упругопластических характеристик структурированных систем.

Для обоснования параметров улучшения структурно-механических свойств были применены методы и выполнены исследования:

*Метод погружения конуса*

Метод погружения конуса выделяется своей простотой, а также строгой обоснованностью расчета, и дает возможность производить измерения при малых деформациях сдвига, т.е. малых градиентах скорости с переходом в пределе к оценке статического предельного напряжения сдвига или предельного давления, которое для большинства пластично-вязких систем могут характеризовать прочность их структуры. Данный метод описан и представлен в работах [3, 4, 8].

Этот метод состоит в определении динамики погружения конуса в исследуемую систему под действием постоянной нагрузки  $F$ , что и дает условную реологическую характеристику - кривую течения, которая выражает зависимость скорости погружения  $\frac{dh}{dt}$  от напряжения сдвига  $P$ , непрерывно уменьшающегося по мере погружения вследствие увеличения площади контакта конуса с системой. Соответственно уменьшается и скорость погружения  $V = \frac{dh}{dt}$ ,

пока она не станет практически равной нулю при наибольшем погружении  $h_m$ . Предельное напряжение сдвига  $P_m$ , то есть наибольшее из всех статических напряжений, возможных в данной системе, равно наименьшему значению действующего напряжения  $P_i$ , соответствует уравниванию внешней силы  $F$  пластической прочностью структуры.

Величина  $P_m$  вычисляется по предельному погружению конуса  $h_m$ , вызываемому данной нагрузкой  $F$ , предполагая, что при погружении конуса в систему имеет место течение слоя системы вдоль боковой поверхности конуса. Это условие осуществляется в достаточно пластичных системах, поэтому напряжение сдвига  $P$ , вызывающее это течение, определяется проекцией действующей на конус силы  $F$  на образующую конуса  $l$ , отнесенную к единице площади соприкосновения конуса с системой  $S$ :

$$P = \frac{F}{S} = \frac{F \cdot \cos \frac{\alpha}{2}}{\pi l}; \quad (1)$$

$$r = h \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}; \quad (2)$$

$$l = \frac{h}{\cos \frac{\alpha}{2}}; \quad (3)$$

$$P = K_\alpha \cdot \frac{F}{h^2}; \quad (4)$$

где  $K_\alpha = \frac{1}{\pi} \cos^2 \frac{\alpha}{2} \cdot \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2}$  - константа конуса, зависящая только от угла  $\alpha$  при его вершине (в осевом сечении), и, следовательно

$$P_m = K_\alpha \frac{F}{h_m^2} \quad (5)$$

В некоторых дисперсных системах с более прочной и хрупкой структурой течение не возможно, и при внедрении конуса имеет место пластическая деформация смятия. В таких системах методом погружения конуса определяется предельное давление  $P_l$ , которое рассчитывается делением силы, действующей на конус  $F$ , на горизонтальную проекцию  $S_m$

$$P_l = \frac{F}{S_m} = \frac{F}{S_m \cdot \sin \frac{\alpha}{2}} = \frac{F \cdot \cos \frac{\alpha}{2}}{\pi h_m^2 \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \cdot \sin \frac{\alpha}{2}}; \quad (6)$$

$$P_l = K'_\alpha \frac{F}{h_m^2}, \quad (7)$$

где  $K'_\alpha = \frac{1}{\pi} \operatorname{ctg}^2 \frac{\alpha}{2}$  - константа конуса;

$h_m$  - наибольшее погружение конуса.

Применение той или другой формулы определяется инвариантностью результатов, т.е. независимостью вычисляемых предельных напряжений сдвига  $P_m$  или предельных давлений  $P_l$  от угла конуса  $\alpha$  или нагрузки  $F$ .

Пенетрометр – прибор для измерения консистенции полужидких материалов путём определения глубины проникновения испытательного тела стандартных размеров и массы в испытываемую среду. Измеряет число пенетрации – показатель, характеризующий реологические свойства веществ, который равен глубине погружения рабочего тела пенетрометра в единицах десятых долей миллиметра. Например, если рабочее тело пенетрометра погрузилось на 20 мм, число пенетрации будет равно 200.

Обычно пенетрометр применяется в виде свободно скользящего плунжера с закреплённым на нём рабочим телом в виде иглы или конуса. Перед началом измерения острие рабочего тела подводится вплотную к поверхности исследуемой среды, а затем плунжер освобождается и начинает погружаться в среду под собственной тяжестью. Фиксируется глубина проникновения за определённое время (число пенетрации), при определённой температуре и заранее выбранной массе сборки плунжер рабочее тело.

В зависимости от связующего на примере угольного шлама марки А представлена зависимость показателя пенетрации во времени для дисперсной системы (рис. 1).

*Метод тангенциального смещения пластинки*

Одним из наиболее чувствительных методов определения прочности структуры – предельного напряжения сдвига  $P_T$  в структурированных дисперсных системах - является метод тангенциального смещения пластинки.

Принцип этого метода, предложенного С.Я. Вейлером и П.А. Ребиндером, заключается в определении усилия, необходимого для сдвига пластинки, погруженной в исследуемую систему.

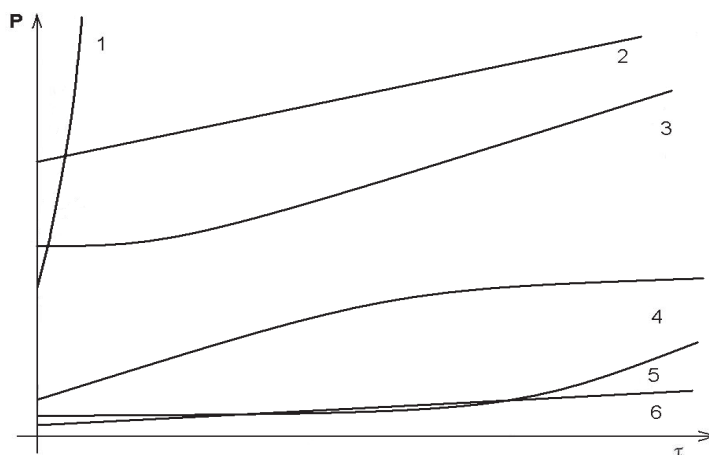


Рис. 1. Зависимость показателя пенетрации во времени для систем угольных шламов с различными связующими:

- 1 – цемент; 2 – гипс; 3 – физический раствор; 4 – жидкое стекло;  
5 – лигнин; 6 – негашеная известь

Прямоугольная или круглая очень тонкая металлическая пластинка (толщиной 50-100 мк) погружена в испытуемое вещество и подвешена на жесткой

нити к кварцевой или стеклянной пружине. Прямоугольная кювета с испытуемым веществом укреплена на специальном столике. Электромотор с редуктором плавно опускает или поднимает столик с постоянной скоростью. Смещение пластинки и растяжение пружины отсчитывают с помощью горизонтального микроскопа, снабженного окулярным микрометром.

Напряжение сдвига в этом методе вычисляется по растяжению пружины и соответствующему этому растяжению пружины усилию  $F$  и боковой поверхности пластинки  $S$

$$P = \frac{F}{2S} \quad (8)$$

Предельное напряжение сдвига, характеризующее прочность структуры системы  $P_m$ , соответствует наибольшему усилию  $F_m$  (при отсутствии скольжения системы вдоль поверхности пластинки), соответственно  $P_m = \frac{F_m}{2S}$ .

Этот метод позволяет определять не только предельное напряжение сдвига, но и модуль упругости, эффективную вязкость, исследовать процесс релаксации, а также снимать полные деформационные кривые при разных скоростях деформации. Метод обладает большой чувствительностью, и применим в широком интервале прочностей структуры, от слабоструктурированных систем до твердообразных систем с высокопрочной структурой [7].

*Метод закручивания цилиндра [6].*

Принцип метода основан на определении упругопластических характеристик структурированных систем по закручиванию цилиндра, подвешенного на упругой нити и погруженного в данную систему. Крутильный прибор имеет точную головку, в которой закреплена упругая нить. На нити подвешен рифленный цилиндр, который полностью погружен в исследуемую систему. При повороте крутильной головки на определенный угол  $\alpha$  крутящий момент передается через нить цилиндру и вызывает сдвиговые деформации в концентрических слоях системы, окружающих цилиндр. Цилиндр при этом также повертывается на некоторый угол  $\beta$  до равновесия между упругостью закрученной нити и сопротивлением деформированной системы. Разность  $\alpha - \beta$  дает угол скручивания нити  $\omega$ , соответствующий определенному усилию  $F$ , устанавливаемому по предварительной градуировке нити.

Рассмотрим равновесие между силой упругости закрученной нити и упругой реакцией деформированных слоев системы. Разделим систему на концентрические слои высотой  $h$ , равной высоте цилиндра, радиусом  $r$  и толщиной  $dr$ . Слой, прилегающий к стенкам сосуда, остается в покое; слой, непосредственно связанный с цилиндром, повертывается вместе с ним на угол  $\beta$ ; все промежуточные слои испытывают деформации сдвига относительно друг друга.

Моменты всех сил, приложенных к поверхности равны, откуда находится модуль упругости системы

$$E = \frac{K}{4\pi h} \left( \frac{1}{r^2} - \frac{1}{r_l^2} \right) \cdot \frac{\beta}{\omega}, \quad (9)$$

где  $r_l = r + dr$ .



При таком определении модуля упругости системы, если диаметр внутреннего цилиндра невелик по сравнению с его высотой, то влиянием дна цилиндра можно пренебречь или оно может быть учтено специальными опытами. На рис. 2 показан общий вид прибора СНС - 2, на котором приводились измерения статического напряжения сдвига анализируемой системы.

*Описание эксперимента в лаборатории (при использовании СНС-2).*

В стакан заливается испытуемый раствор. При вращении стакана раствор увлекает за собой находящийся в нем цилиндр измерительный и всю подвешенную систему до тех пор, пока момент закручивания нити не станет равным крутящему моменту, развиваемому статическим напряжением сдвига раствора на цилиндр. Статическое предельное напряжение определяется по максимальному углу закручивания нити.



Рис. 2. Прибор СНС-2

Диапазон измерения статического напряжения сдвига: - для нити 0,03 (№1) – 0 - 10(100) Па(мг/см<sup>2</sup>); - для нити 0,04 (№2) – 0 - 30(300) Па(мг/см<sup>2</sup>); - для нити 0,05 (№3) – 0 - 80(800) Па(мг/см<sup>2</sup>). Цена деления шкалы - 1°. Скорость вращения стакана - 0,2 об/мин.

Наружный диаметр измерительного цилиндра - 40 мм. Высота измерительного цилиндра - 60 мм. Внутренний диаметр стакана - 60 мм. Максимальный угол отсчета - 300°. Потребляемая мощность - не более 15 Вт. Внутренний диаметр стакана 60 мм. Размер: 240x160x416 мм. Энергопитание: 220 В, 50 Гц.

Таким образом, на основании исследований физико-механических свойств дисперсных угольных шламов и золошлаков, можно сделать выводы:

- к числу основных факторов, определяющих структурно-реологические свойства дисперсных систем, относятся: сила сцепления в контактах между частицами; координационное число (т.е. число контактов, приходящихся на одну частицу), зависящее от концентрации дисперсной фазы в дисперсионной среде, ее дисперсности и распределения частиц по размеру.

- угольные шламы и золошлаки, как дисперсные породы, которые включают дисперсную фазу и дисперсную среду, представляют собой систему, основанную на физико-химическом взаимодействии ее составляющих. Поэтому улучшение физико-механических свойств, дисперсных угольных шламов должно базироваться на физико-химическом влиянии на них.

### Перечень ссылок

1. Гайдай А.А. Исследования прочностных свойств брикетов из угольных шламов и штыбков, полученных способом холодного окучивания//Сб. научн. тр. /НГУ. – 2006. – №26, Т.1. – 208с.
2. Пахалок И.Ф. Основное оборудование буроугольных брикетных фабрик / М. - Харьков: Углетехиздат, 1952. – 236 с.
3. Ремесников И.Д. Вопросы теории брикетирования бурых углей / М.: Углетехиздат, 1955. – 320 с.
4. Лурье Л.А. Исследования по брикетированию бурых углей /Л.А. Лурье, Г.Ф. Бойцова , Б.М. Равич / М.: Углетехиздат, 1957. – 264 с.
5. Лурье Л.А. Новые направления в развитии брикетирования угля /М.: Углетехиздат, 1956. – 173 с.
6. Воларович М.П. Исследование реологических свойств дисперсных систем / Коллоидный журнал, т. XVI, №3, 1954, – С. 227-240.
7. Перцов А.В. Методические разработки к практикуму по коллоидной химии. 6-ое издание / Москва, 1999 г.
8. Алмазов А.Б. Вероятностные методы в теории полимеров /А.Б. Алмазов, И.П. Павлоцкий / М., Наука, 1971. – 151 с.

### ABSTRACT

**Purpose.** Justify the technological parameters that influence the improvement of structural and mechanical properties of minerals of technogenic deposits, like dispersions.

**Apply research methods are:** measuring the structural and mechanical properties of dispersed systems - cone immersion, tangential offset plates, tightening the cylinder and others.

**Findings:** is the establishment of the main factors determining the structural and rheological properties of disperse systems, which include: traction in the contacts between the particles; coordination number (i.e. the number of contacts per one particle) depending on the concentration of the dispersed phase in the dispersion medium, dispersion and its particle size distribution, and that the sludge and coal ash and slag as dispersed rocks which include dispersed phase and the dispersion medium, is a system based on the physico-chemical interaction of its components.

**The originality** lies in the justification of the parameters to improve the physical and mechanical properties of dispersed solid fuel components, which can be produced from waste deposits.

**Practical implication** of the research is to establish the necessary physical and chemical influences and the choice of process parameters to improve the physical and mechanical properties of dispersed coal ash and sludge.

**Keywords:** *disperse systems, sludge, ash and slag, physical and chemical effects.*