

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ**

**ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

**К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ ПО КУРСУ  
«БРИКЕТИРОВАНИЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ»**

Донецк 2008

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ

ДОНЕЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ ПО КУРСУ  
«БРИКЕТИРОВАНИЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ»

(для студентов специальности 7.090303

«Обогащение полезных ископаемых»)

Утверждено на заседании кафедры  
«Обогащение полезных ископаемых»  
Протокол № 2 от 22 сентября 2008 г.

Донецк 2008

УДК 622. 7 : 622. 8

Методические указания к лабораторным работам по курсу "Брикетиrowание полезных ископаемых" (для студентов специальности 7.090303 "Обогащение полезных ископаемых") / Сост.: П.В.Сергеев, - Донецк: ДонГТУ, 2008. - 30 с.

Дан перечень лабораторных работ, в которых изложены необходимые теоретические положения, методика выполнения и описаны применяемые в работах приборы и оборудование.

Составители: П.В.Сергеев

## ОСНОВНЫЕ ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

К выполнению лабораторных работ допускаются студенты, прошедшие инструктаж и усвоившие основные правила техники безопасности при работе в лаборатории брикетирования.

При работе с механизмами следует соблюдать следующие правила техники безопасности:

1. Перед пуском оборудования необходимо предварительно осмотреть его и убедиться в исправности. Неисправное оборудование включать запрещается.
2. Проверить наличие ограждений у вращающихся частей и заземления у электропусковой аппаратуры.
3. Перед пуском оборудования необходимо закрепить съемные части и оповестить всех присутствующих о его включении.
4. Быть внимательным при работе с механизмами.
5. Не распускать концов одежды, головных уборов и волос во избежание их попадания в движущиеся части гидравлического пресса.
6. Не прикасаться к токоведущим частям электрооборудования.
7. Электропривод должен быть немедленно (аварийно) отключен от сети при: несчастном случае с человеком; при появлении дыма или огня из электродвигателя или его пускорегулирующей аппаратуры; сильном снижении числа оборотов электродвигателя, сопровождающимся его быстрым нагревом.
8. По окончании работы следует отключить все источники электропитания.

При работе со связующими реагентами использовать защитные перчатки, не допускать попадания связующих на открытые участки тела. В противном случае немедленно промыть участок горячей водой с мылом. Глаза промываются 2-% раствором борной кислоты. При разогреве связующих типа битума не допускать повышения их температуры свыше  $100^{\circ}\text{C}$  для предотвращения выплескивания кипящих водосодержащих примесей. Запрещается применение в качестве связующих неизвестных реагентов или веществ из неподписанных емкостей.

Все работы в лаборатории брикетирования проводятся при непосредственном руководстве преподавателя.

# ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

## Связующие углебрикетного производства

### и их характеристики

#### 1. Общие положения

Связующие - вещества, обеспечивающие соединение разобщенных частиц брикетируемого материала в прочный кусковой продукт - брикет. Связующие могут быть органического или неорганического происхождения и должны удовлетворять следующим требованиям:

- высокая адгезионная активность к брикетируемому материалу ;
- устойчивость к воздействию атмосферных осадков, температурных перепадов, солнечной радиации, окислителей;
- наличие эластичных и пластических свойств;
- не разрушать структуру брикетируемого материала в процессе брикетирования и в готовом брикете;
- высокая когезионная прочность ;
- содержать достаточную долю спекающихся компонентов, обеспечивающих термическую стойкость брикетов при горении;
- высокая теплота сгорания, низкая температура воспламенения, малый выход летучих веществ;
- отсутствие токсичных компонентов, действующих на организм человека;
- минимальное вредное воздействие на окружающую среду при хранении, транспортировании, окусковании и горении;
- низкая себестоимость производства, недефицитность.

В практике углебрикетного производства применяются органические связующие, полученные при химической переработке нефти, угля, сланцев и других природных высокомолекулярных веществ.

Нефтесвязующее - твердый тяжелый остаток от крекинг-переработки высокосернистой нефти черного или темно-бурого цвета. Основные физико-химические характеристики: плотность 1040-1060 кг/ м<sup>3</sup>; температура размягчения, плавления и вспышки 70-75; 103-103; 210-220 °С соответственно. Представляет собой смесь индивидуальных парафиновых, нафтеновых и аромати-

ческих углеводов, а также их гибридных соединений с разветвленной структурой. Первая группа углеводов образует масляную фракцию связующих и низкомолекулярные смолы, вторая - тяжелые смолы, асфальтены, карбены и карбоиды. Нефтесвяжующие (нефтяные битумы) нашли наиболее широкое применение в практике брикетирования углей благодаря высоким технологическим и эксплуатационным свойствам.

Каменноугольный пек - хрупкий твердый остаток перегонки каменноугольной смолы коксования, получаемый при температуре 360-380 °С. Имеет сложную химическую структуру и состоит из взаимосвязанных высоко конденсированных ароматических и гетероциклических соединений и продуктов их уплотнения. В групповом химическом составе преобладают смолы, карбены и карбоиды, масла, представленные легкими и средними ароматическими углеводородами. Область применения ограничена вследствие токсичности отдельных компонентов.

Сульфит-спиртовая барда (ССБ) - побочный продукт переработки измельченной древесины в целлюлозу. Наиболее эффективны жидкие бардные концентраты (КБЖ) с содержанием сухих ССБ 44-50% и твердые бардные концентраты (КБТ), в которых содержание ССБ достигает 80%. Вяжущая способность обусловлена наличием в групповом химическом составе солей лигносульфоновых кислот - активных ПАВ. Однако высокая растворимость ССБ в воде резко снижает водоустойчивость получаемых брикетов, что ограничивает область применения данного связующего. Кроме того, повышенное содержание серы (5-10%) в ССБ отрицательно влияет на последующую переработку угольных брикетов.

Помимо указанных продуктов в углебрикетном производстве в качестве связующих могут применяться гуматы углепереработки, сланцевые битумы, смолы и фусы полукоксования, смеси органических веществ.

Влияние природы связующего на его адгезию к угольной поверхности связано прежде всего с его молекулярной массой, формой макромолекул и полярностью. Оптимальные клеящие свойства проявляются у связующих (адгезивов) со средней молекулярной массой. С понижением молекулярной массы увеличивается подвижность адгезива, но уменьшается его когезия. Адгезивы с высокой молекулярной массой отличаются малой диффузионной способностью. Форма макромолекул определяет степень упорядоченности и структуру в целом клеевой пленки связующего на угольной поверхности. Полярность адгезива зависит от концентрации в нем полярных функциональных групп. Максимальная адгезия в зоне контакта "уголь-связующее" наблюдается при отсутствии разности в полярностях контактирующих фаз. Поэтому полярные адгезивы наиболее эффективны на слабо и сильно окисленных углях с высокой концентрацией поверхностных полярных кислородсодержащих групп (карбоксильных, карбонильных, хиноидных и пр.). И, наоборот, аполярные адгезивы име-

ют повышенную адгезионную активность к не окисленной гидрофобной угольной поверхности. Регулирование адгезионных свойств связующих осуществляется модификацией их группового химического состава путем повышения или уменьшения концентрации полярных функциональных групп за счет введения модифицирующих химических веществ-добавок или воздействия на уже имеющиеся соединения с помощью окислителей или восстановителей.

## 2. Цель работы

Определение влияния на механическую прочность угольных брикетов природы и свойств органических связующих..

## 3. Материалы и оборудование

Для выполнения данной работы необходимы следующие материалы и оборудование:

- проба угля (антрацита) крупностью 0-3 мм и массой 1000 г;
- пробы связующих - нефтебитума, лигносульфоната, мелассы, сульфатного мыла- массой 200 г каждая;
- металлическая пресс-форма ;
- электроплитка для нагрева угля и нефтебитума ;
- технические весы с разновесами ;
- ртутный термометр со шкалой до 150 °С ;
- гидравлический пресс типа ИП-1;
- приспособление для выталкивания готовых брикетов.

## 4. Методика выполнения работы

1. Исходя из общей массы углебрикетной шихты (50 г) и фиксированного расхода связующего (8 % ) рассчитать навески угля и связующего для приготовления заданного количества шихты.
2. Тщательно перемешать навеску угля и отобранного связующего.
3. Полученной шихтой заполнить пресс-форму и с помощью гидравлического пресса ИП-1 осуществить прессование при давлении 50 МПа. Прессование осуществлять по методике, приведенной в приложении.

4. На каждом образце связующего получить три брикета. На брикеты наклеить бумажные ярлыки с указанием даты проведения опытов, учебной группы и вида связующего.

5. Повторить операции по пп. 2-4 для каждого из применяемых в работе связующих.

6. Полученные брикеты поместить в сушильный шкаф для последующего термоупрочнения.

7. Механические испытания брикетов на прочность осуществить на следующем занятии по методике, приведенной в приложении (см. п.2.3)

8. Полученные значения усилия при раздавливании  $F_p$  пересчитать на величину механической прочности брикетов на раздавливание  $\sigma_p$  по формуле:

$$\sigma_p = \frac{4 \cdot F_p}{\pi \cdot D^2} \cdot \frac{1}{10^3}, \text{ МПа}$$

где  $F_p$  - усилие раздавливания брикетов, кН ;  $D$  - внутренний диаметр канала пресс-формы, м.

9. Данные по механической прочности брикетов на раздавливание занести в таблицу.

Вид связующего	Механическая прочность брикетов на раздавливание, МПа			
	$\sigma_1$	$\sigma_2$	$\sigma_3$	$\sigma_{cp.}$
лигносульфонат				
меласса				
нефтебитум				
сульфат. мыло				

9. По данным таблицы сделать сравнительный вывод о брикетирующей способности каждого из связующих.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

### Исследования влияния на процесс брикетирования углей и антрацитов расхода связующего вещества

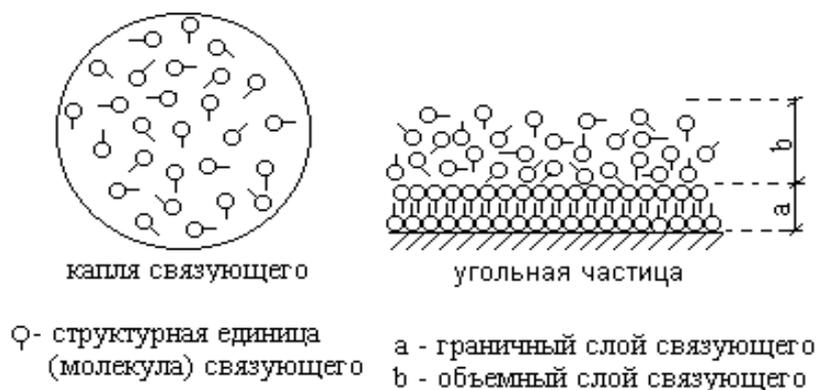
#### 1. Общие положения

Расход связующего – один из важнейших технологических факторов, влияющих на эффективность брикетирования углей. Дозирование связующего (адгезива) в исходную шихту должно обеспечивать полное покрытие им частиц брикетируемого материала (субстрата). При неполном покрытии поверхности материала связующим в объеме формирующихся брикетов возникают зоны контакта угольных частиц по непокрытым связующим участкам. Эти зоны отличаются пониженным сцеплением между частицами субстрата, что приводит к снижению механической прочности брикетов в целом. Как правило, разрушение брикетов при их последующих сушке, охлаждении, хранении и транспортировании происходит именно по этим локальным зонам пониженной прочности.

С другой стороны, расход связующего во многом определяет толщину его пленки на субстрате, а также соотношение между количеством связующего в структурированных граничных (адсорбционных) слоях и объёмных. Граничным принято называть слой, находящийся в непосредственном контакте с твердым материалом. В этом слое за счет взаимодействия с субстратом образуются цепи ориентированных в пространстве молекул и макромолекул связующего (см. рис. 2.1). Упорядочивание молекул связующего за счет их пространственной ориентации приводит к структурированию граничного слоя. При этом молекулы адгезива соединяются в единую пространственную сетку, отличающуюся высокой механической (когезионной) прочностью. Высокий уровень когезии в граничном слое обусловлен усилением межмолекулярных взаимодействий за счет резкого сближения молекул адгезива в ориентированных слоях. По мере утолщения клеевой пленки и, соответственно, большей удаленности молекул (макромолекул) от твердой поверхности структурированность связующего резко уменьшается. При этом граничный слой переходит в объёмный, свойства которого (адгезия и когезия) не отличаются от свойств исходного связующего.

Следовательно, максимальная прочность брикетов может быть достигнута при полном распределении связующего на поверхности брикетируемого материала в виде граничных (адсорбционных) слоев. При прочих равных условиях это достигается оптимизацией расхода связующего. При его передозировке возрастает доля и толщина граничных слоев, увеличиваются непроизводительные потери связующего в поровые и пустотные пространства в субстрате, происходит замасливание поверхности брикетов и бандажей прессов, что, в свою

очередь, приводит к ухудшению как качества брикетов, так и условий работы оборудования.



**Рис.2.1 Структура связующего вещества в исходном состоянии и на поверхности твердой частицы**

Расход связующего зависит от многих факторов: природы и загрязненности адгезива, его вязкости, температуры адгезива и субстрата, удельной поверхности субстрата и др. Как правило, расход связующего задается в процентах от массы подготавливаемой к брикетированию углесвязующей шихты и в случае брикетирования каменных углей и антрацитов изменяется в пределах 6-12%. В каждом конкретном случае углебрикетного производства оптимальный расход связующего определяется экспериментальным путём в лабораторных или стендовых условиях с последующим уточнением в ходе промышленных испытаний.

## 2. Цель работы

Определение оптимального расхода связующего (заданного типа) для брикетирования антрацита.

## 3. Материалы и оборудование

Для выполнения данной работы необходимы следующие материалы и оборудование:

- проба угля (антрацита) крупностью 0-3 мм и массой 1000 г;
- проба связующего - лигносульфоната (50% концентрации) - массой не менее 200 г;
- металлическая пресс-форма ;

- технические весы с разновесами ;
- гидравлический пресс типа ИП-1;
- приспособление для выталкивания готовых брикетов.

#### 4. Методика выполнения работы

1. Отобрать три пробы лигносульфоната массой, соответствующей его расходу 6, 9 и 12% (в пересчете на сухую массу) . При этом навеска брикетной шихты для каждого из значений расхода связующего должна составлять 50 г;

2. Отобрать три пробы угля массой (50- x), где x -масса пробы связующего, рассчитанная по п.1 ;

3. Тщательно перемешать связующее с углем;

4. Приготовленной шихтой заполнить пресс-форму и с помощью гидравлического пресса ИП-1 осуществить брикетирование при давлении прессования 50 МПа;

5.Изготовить по три брикета для каждого значения расхода связующего.

6. Испытания брикетов на прочность осуществлять не ранее, чем через сутки после их высушивания в естественных условиях.

7. Испытания брикетов на прочность осуществлять в соответствии с п.2.3 Приложения. Пересчет полученных данных на прочность брикетов на раздавливание  $\sigma_p$  - по методике, приведенной в лабораторной работе №1.

8. Расчетные значения  $\sigma_p$  занести в таблицу:

Расход связующего,%	кая прочность на раздавливание, МПа			
	$\sigma_1$	$\sigma_2$	$\sigma_3$	$\sigma_{cp}$
6.0				
9.0				
12.0				

9. По полученным данным построить график зависимости  $\sigma_{ср} = f(Q_{св})$  и определить оптимальный расход связующего. Сделать выводы о влиянии расхода связующего на механическую прочность брикетов.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

### Давление прессования и его влияние на процесс брикетирования угля со связующими

#### 1. Общие положения

Давление прессования оказывает существенное влияние на процессы структурообразования в брикетах. С приложением внешнего давления рыхлая брикетная шихта превращается в прочный и компактный кусковой продукт - брикет. В свою очередь, эффективность прессования определяется способностью исходного материала к пластическим деформациям. Пластичность - это способность брикетируемой смеси изменять свою форму под влиянием внешних сил без образования трещин и сохранять эту форму после прекращения действия внешних нагрузок. Физическая сущность прессования заключается в пластической деформации материала, подвергающегося действию внешних давлений. Пластическая деформация возникает, когда деформирующее усилие заставляет материал течь, подобно жидкости. Для расчета пластической деформации наиболее приемлемо следующее уравнение :

$$\frac{F}{S} - N = \eta \cdot \frac{dv}{dh} ,$$

где  $F$  - деформирующая сила, Н ;  $S$  - поверхность сдвига, на которую она действует,  $m^2$  ;  $N$  - предельное напряжение сдвига, Па ;  $\eta$  - вязкость , Па·с ;  $dv/dh$  - градиент скорости движения частиц.

Процесс прессования начинается с уплотнения брикетируемой шихты за счет сближения частиц. Первыми уплотняются верхние слои, находящиеся ближе к месту приложения давления, далее начинают уплотняться последующие слои. Давление прессования распространяется волнообразно уменьшаясь в глубине брикета. Уплотнение прекращается вследствие усиления трения между частицами. Дальнейший рост давления приводит к контакту зерен по слоям связующего на их поверхности. Первоначально частицы контактируют по рыхлым объемным слоям. Под действием внешней нагрузки связующее из объемного слоя начинает перетекать в пустоты и неплотности в структуре брикетируемого материала. С одной стороны, это способствует дополнительному упрочению брикетов, а с другой - приводит к непроизводительным потерям связующего в крупных порах и трещинах. Нарастание давления сопровождается

дальнейшим сближением твердых зерен. При контакте зерен по граничным слоям достигается максимальная прочность брикета поскольку в этих слоях аутогезия связующего достигает максимальной величины и приближается к когезии структурированных слоев.

Из сказанного следует, что величина давления прессования должна обеспечить сближение контактирующих частиц на расстояния, при которых клеяющие прослойки между ними близки к толщине одного-двух граничных слоев. При превышении оптимального уровня давления возникает перепрессовка материала, сопровождающаяся разрушением частиц с образованием свежих поверхностей, непокрытых связующим. Эти поверхности являются зонами пониженной прочности в структуре брикетов, по которым происходит их разрушение.

В процессе прессования в брикетируемом материале помимо пластических возникают упругие деформации, обусловленные непосредственным воздействием частиц друг на друга. При пере прессовке уровень упругих деформаций превышает предел прочности частиц на сжатие, что вызывает их разрушение.

После снятия давления происходит неравномерное расширение брикета. Разнородные материалы - субстрат и адгезив - по разному воспринимают упругие деформации и неодинаково восстанавливаются. Возникающие растягивающие усилия противоположны по знаку сдавливающим. Поэтому брикет претерпевает некоторое объемное расширение. Различие в коэффициенте объемного расширения адгезива и связующего приводит к возникновению в процессе расширения дополнительных внутренних напряжений, которые тем выше чем больше уровень упругих деформаций при прессовании. Эти напряжения уменьшают прочность брикетов, а в случае резкого их проявления (например, при перепрессовке) могут вызывать разрушение брикетов при их выходе из пресса.

Таким образом, зависимость между прочностью брикетов и давлением прессования носит нелинейный характер и во многом определяется свойствами брикетной шихты и условиями прессования. В каждом конкретном случае брикетирования определенного вида сырья оптимальное давление прессования может быть определено экспериментальным путем.

## 2. Цель работы

Исследование влияния давления прессования на механическую прочность угольных брикетов.

## 3. Материалы и оборудование.

Для выполнения данной работы необходимы следующие материалы и оборудование:

- проба угля (антрацита) крупностью 0-3 мм и массой 1000 г;
- проба связующего - лигносульфоната (50% концентрации) - массой не менее 200 г;
- металлическая пресс-форма ;
- технические весы с разновесами ;
- гидравлический пресс типа ИП-1;
- приспособление для выталкивания готовых брикетов

#### 4. Методика выполнения работы.

1. Отобрать пробу угля (антрацита) крупностью 0-3 мм и массой (200- $x$ ) г, где  $x$  - масса связующего, соответствующая его оптимальному расходу (см. лабораторную работу №2) ;

2. Отобрать пробу связующего (лигносульфоната 50-% концентрации) массой  $x$  , рассчитанной в п.1 ;

3. Тщательно перемешать связующее с приготовленным углем ;

4. Полученную шихту поместить в пресс-форму и с помощью гидравлического прессы ИП-1, контролируя действующую нагрузку по цифровому индикатору , осуществить брикетирование. Значения давления прессования принять: 10 , 20 , 40 , 60 и 80 МПа ;

5. При каждом фиксированном значении давления прессования получить по три брикета ;

6. Испытания брикетов на прочность осуществлять не ранее, чем через сутки после их высушивания в естественных условиях.

7. Испытания брикетов на прочность осуществлять в соответствии с п.2.3 Приложения. Пересчет полученных данных на прочность брикетов на раздавливание  $\sigma_p$  - по методике, приведенной в лабораторной работе №1.

8. Расчетные значения  $\sigma_p$  занести в таблицу:

Давление	Механическая прочность на раздавливание, МПа

прессования	$\sigma_1$	$\sigma_2$	$\sigma_3$	$\sigma_{cp}$
10				
20				
40				

Продолжение таблицы

60				
80				

9. По полученным данным построить график зависимости  $\sigma_{cp}=f(P_{пр})$  и определить оптимальное давление прессования.

#### ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

##### Брикетирование углей различного гранулометрического состава

##### 1. Общие положения

Значение гранулометрического состава определяется влиянием на процесс брикетирования углей и антрацитов суммарной поверхности контакта зерен, пористости структуры образующихся брикетов, степени полидисперсности исходной шихты, содержания в ней крупных и пылевидных частиц, рельефа твердой поверхности.

Теоретический принцип подбора смеси частиц различной крупности заключается в создании композиции, обладающей наиболее плотной упаковкой зерен (см. рис.4.1). Как показали многочисленные исследования, в такой композиции массовое и объемное соотношение зерен может характеризоваться эмпирическим уравнением ( по Фуллеру):

$$P = 100 \cdot \sqrt{d/D} \quad ,$$

где P – доля зерен (% по массе), проходящих через сито с диаметром отверстий  $d$ ;  $d$  – диаметр любого зерна смеси от 0 до D; D- максимальный диаметр зерна в смеси.

С ростом удельной поверхности смеси зерен увеличивается вероятность тонко слоевого распределения связующего с преобладанием в зоне контакта “адгезив-субстрат” граничных структурированных слоев, обладающих (как отмечалось в лабораторной работе № 2) повышенной адгезионной активностью и когезионной прочностью.

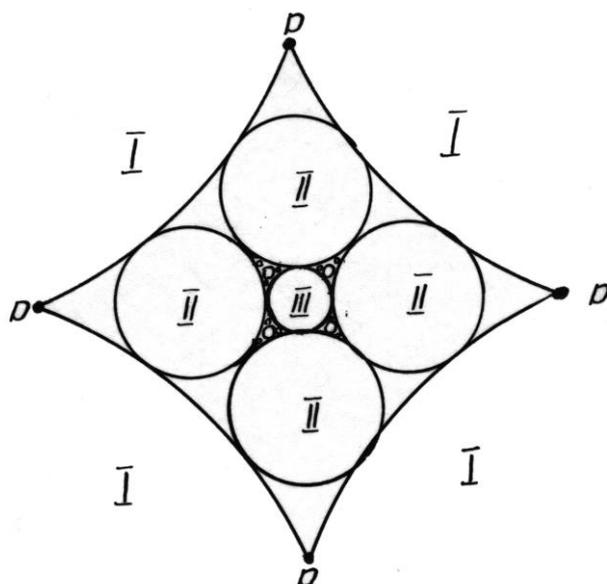


Рис. 4.1 Схема структуры с наиболее плотной упаковкой зерен диаметром I, II, III и т.д. в смеси

На плотность упаковки зерен в брикетах влияет пористость исходной шихты. Прочность брикетов из тонкодисперсных частиц достаточно велика, поскольку такой материал имеет мелкие поры, заполняемые связующим. Брикетты с преобладанием крупных зерен имеют большое количество дефектов в виде крупных пор, незаполненных связующим при его обычных расходах. Поэтому они отличаются низкой прочностью.

Для повышения плотности упаковки рекомендуется вводить в брикетную смесь пылевидные частицы, заполняющие поровые пространства. Наличие пылевидных частиц не только снижает пористость материала, но и увеличивает его удельную поверхность, что, как уже отмечалось, повышает эффективность процесса брикетирования.

Прочность брикета тем больше, чем выше полидисперсность исходного материала и тем ниже, чем однороднее ситовый состав. Однородный состав не позволяет обеспечить высокую плотность упаковки. Зерна укладываются со значительным числом пустот в каркасе. Давление прессования неравномерно распределяется в объеме материала, брикетты легко деформируются.

Неровности и шероховатость материала положительно влияют на механическое закрепление на нем связующего, повышая прочность брикетов.

В практике углебрикетного производства прессованию подвергаются угли крупностью 0-3 или 0-6 мм. Оптимальный ситовый состав для углей крупностью 0-6 мм должен отвечать следующему соотношению классов:

Класс крупности	> 6 мм	3-6 мм	1-3 мм	0-1 мм
Выход класса, %	2-3	28-30	30-32	38-42

Большое содержание угольных зерен крупнее 6 мм вызывает образование крупных пор в структуре брикета и приводит к неоправданному увеличению расхода связующего. Кроме того, такие частицы под воздействием высоких давлений прессования (20-50 МПа) подвержены сравнительно легкому растрескиванию с образованием свежих поверхностей, непокрытых связующим. Эти зоны пониженной прочности сцепления частиц резко ухудшают механические свойства брикетов.

Для углей крупностью 0-3 мм оптимальный ситовый состав имеет следующие показатели: >3 мм – 5-10%; 1-3 мм – 45-50%; 0-1 мм – 40-45%.

Для подготовки углей по крупности его классифицируют на вибрационных грохотах различной конструкции с последующим дроблением надрешетного продукта в молотковых дробилках.

## 2. Цель работы

Определение влияния на механическую прочность брикетов ситового состава исходного угля.

## 3. Оборудование и материалы

Для выполнения данной работы необходимы следующие материалы и оборудование:

- пробы угля (антрацита) крупностью 0-1 мм и 1-3 мм массой по 500 г каждая;
- проба связующего - лигносульфоната (50% концентрации) - массой не менее 100 г;
- металлическая пресс-форма ;
- технические весы с разновесами ;
- гидравлический пресс типа ИП-1;

- приспособление для выталкивания готовых брикетов

#### 4. Методика выполнения работы

1. Отобрать пробу угля (антрацита) крупностью 0-1 мм и массой (50- $x$ ) г, где  $x$  - масса связующего, соответствующая его оптимальному расходу (см. лабораторную работу №2) ;

2. Отобрать пробу связующего (лигносульфоната 50-% концентрации) массой  $x$  , рассчитанной в п.1 ;

3. Тщательно перемешать связующее с приготовленным углем ;

4. Полученную шихту поместить в пресс-форму и с помощью гидравлического пресса ИП-1, контролируя действующую нагрузку по цифровому индикатору , осуществить брикетирование. Значение давления прессования принять 40 МПа ;

5. Повторить операции по п.1-4 при долевом участии в исходном угле класса 1-3 мм 25;50;75 и 100%. При этом масса исходной навески угля и расход связующего остаются постоянными ;

6. Для каждого фиксированного значения ситового состава угля получить по три брикета ;

7. Испытания брикетов на прочность осуществлять в соответствии с п.2.3 Приложения. Пересчет полученных данных на прочность брикетов на раздавливание  $\sigma_p$  - по методике, приведенной в лабораторной работе №1.

8. Расчетные значения  $\sigma_p$  занести в таблицу:

Содержание класса 1-3 мм	Механическая прочность брикетов на раздавливание, МПа			
	$\sigma_1$	$\sigma_2$	$\sigma_3$	$\sigma_{cp}$
0%				
25%				
50%				
75%				
100%				

9. По полученным данным построить зависимость  $\sigma_{ср}=f(\beta_{1-3})$ , где  $\beta_{1-3}$  - содержание в угле класса 1-3 мм. Сделать вывод о характере влияния содержания крупного класса в угле на прочность брикетов.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

### Закономерности брикетирования бурых углей различной влажности

#### 1. Общие положения

Среди большого числа факторов, влияющих на процесс брикетирования бурых углей, необходимо выделить их влажность. В бурых углях влага бывает адсорбционно-связанной и капиллярной. Первая обусловлена адсорбцией молекул воды в виде тонких гидратных пленок на угольной поверхности. Эти структурированные граничные водные слои выступают в роли связующего в зазоре между угольными частицами. Капиллярная влага заполняет поровые пространства между частицами и связывает их между собой за счет капиллярных сил.

На рис. 5.1 приведена типичная зависимость прочности брикетов на сжатие от влажности бурого угля. Как видно из рисунка, зависимость  $\sigma_{сж}=f(W)$  носит экстремальный характер.

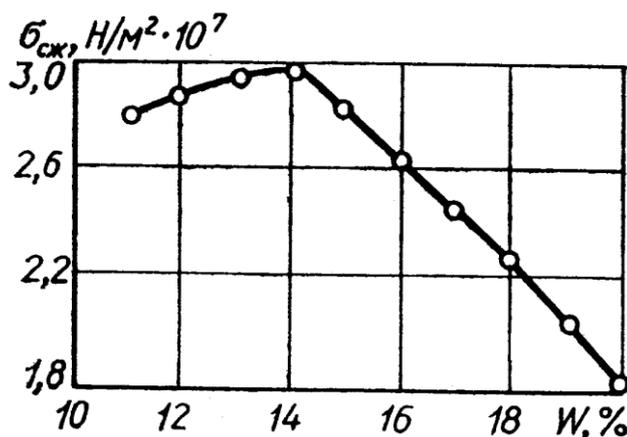


Рис. 5.1 Зависимость прочности брикетов  $\sigma_{сж}$  от влажности  $W$  бурого угля

При содержании влаги ниже 8-10% поверхность частиц недостаточно покрывается водными пленками. Поэтому сцепление частиц в процессе прессова-

ния обеспечивается в основном слабыми межмолекулярными ван-дер-ваальсовыми силами. Для эффективного брикетирования такого угля необходимы высокие давления прессования, компенсирующие недостаток влаги. Это приводит к “перепрессовке” угля. Брикеты получаются непрочными, легко разрушаются. С другой стороны, избыточное содержание влаги (20% и более) сопровождается утолщением гидратных слоев и заполнением водой поровых пространств между частицами. Толстые гидратные слои создают расклинивающее давление жидкости в зазоре между частицами, снижающее эффект прессования, а заполнение пор водой приводит к исчезновению капиллярной составляющей сил сцепления. В результате прочность брикетов резко снижается. Оптимальная влажность угля, соответствующая максимальной прочности брикетов, не является величиной постоянной. Она зависит от давления прессования и крупности угля, а также его природы и окисленности. Оптимальное содержание влаги в бурых углях крупностью 0-6 мм и зольностью до 20% составляет 14-16% при давлении прессования 100-120 Мпа.

На качество буроугольных брикетов существенно влияет распределение влаги в отдельных классах крупности. Мелкие частицы угля быстрее и легче отдают влагу при сушке, чем более крупные зерна. В крупных зернах в процессе сушки влага испаряется только с поверхности, задерживаясь в глубинных участках. Со временем она перемещается к периферии, создавая в брикетах многочисленные трещины. Поэтому для достижения высокой прочности брикетов необходимо обеспечить минимальную влагоразность между крупными и мелкими зернами. Снижение влагоразности может быть достигнуто дроблением крупных зерен (более 3 мм) и тщательным перемешиванием дробленного продукта с классом 0-3 мм. В процессе дробления горячих крупных зерен значительная доля влаги испаряется, что выравнивает влажность материала. Для снижения влагоразности возможно также применение орошения водой мелких классов.

Для сушки бурого угля обычно применяют паровые трубчатые или тарельчатые сушилки, которые обеспечивают более мягкое термическое воздействие на уголь, чем газовые. Как правило, паровые сушилки работают в комплексе с паросиловыми установками ТЭЦ. Мягкий пар из паросиловых установок поступает в сушилку под давлением 0,25-0,4 Мпа и при температуре 140-160°C. Применение газовых сушилок при брикетировании бурых углей нежелательно из-за резкого снижения брикетирующей способности материала, в особенности, тонких фракций.

## 2. Цель работы

Исследование закономерностей брикетирования бурых углей различной влажности.

## 3. Оборудование и материалы

Для выполнения данной работы необходимы следующие материалы и оборудование:

- проба бурого угля крупностью 0-6 мм массой 500 г;
- металлическая пресс-форма ;
- технические весы с разновесами ;
- гидравлический пресс типа ИП-1;
- приспособление для выталкивания готовых брикетов.

#### 4. Методика выполнения работы

1. Приготовить пробы бурого угля влажностью 10, 15, 20 и 25%. Масса проб должна быть не менее 50 г.

2. На каждой пробе угля получить по три брикета при давлении прессования 100 МПа. Прессование осуществлять по методике, приведенной в Приложении.

3. Испытания брикетов на прочность осуществлять в соответствии с п.2.3 Приложения. Пересчет полученных данных на прочность брикетов на раздавливание  $\sigma_p$  - по методике, приведенной в лабораторной работе №1.

4. Полученные данные занести в таблицу.

Влажность угля, %	Механическая прочность брикетов на раздавливание, МПа			
	$\sigma_1$	$\sigma_2$	$\sigma_3$	$\sigma_{cp}$
10				
15				
20				
25				

5. По результатам испытаний построить график зависимости  $\sigma_{cp}=f(W)$ . Сделать вывод о влиянии на прочность буроугольных брикетов влажности исходного сырья.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

### Исследования процесса прессования бурых углей

#### 1. Общие положения

Фактор прессования является важнейшим для получения прочных брикетов. До приложения давления частицы угля контактируют друг с другом по отдельным точкам. С приложением давления точечные контакты переходят в слабые поверхностные, а при максимальном усилии прессования – в прочные связи молекулярных сил сцепления. На рис. 6.1 приведена диаграмма процесса прессования бурого угля в матрице *1* штемпельного прессы с неподвижным упором *2* и штемпелем *3*.

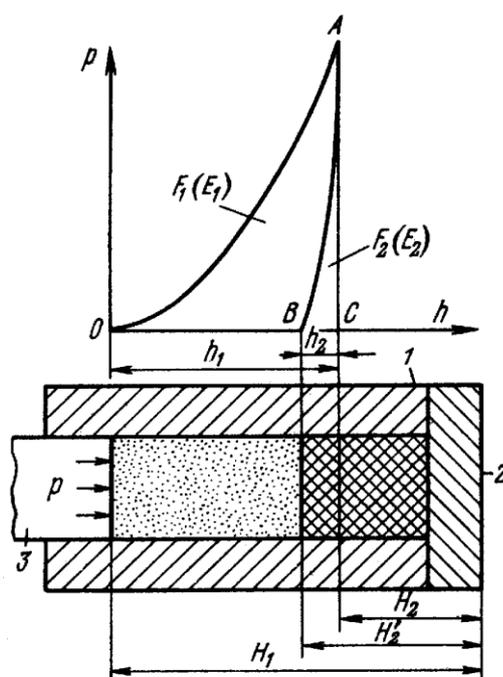


Рис. 6.1 Диаграмма прессования бурого угля в штемпельном прессе

На оси ординат отложено давление прессования  $p$ , на оси абсцисс – ход штемпеля  $h$ . С приложением давления сыпучая масса угля уплотняется. Высота засыпки падает с первоначальной  $H_1$  до конечной  $H_2$ , характеризуясь кривой  $OA$  и абсциссой  $h_1$ . Штемпель, достигнув положения  $H_2$  (максимальное давление прессования), начинает движение в обратную сторону. Этому моменту соответствует противодействие спрессованного материала, описываемое кривой  $AB$ . Происходит объемное расширение брикета на величину от  $H_2$  до  $H_2'$ , что соответствует значению  $h_2$  на абсциссе диаграммы. Величина  $h_2$  характеризует упругость брикета.

Отношение  $H_1/H_2$  называется коэффициентом уплотнения  $k_1$ , а отношение  $H_2'/H_2$  - коэффициентом упругого расширения  $k_2$ . По приведенной диаграмме можно оценить брикетированность материала для любого заданного давления прессования. Энергия прессования расходуется на преодоление сопротивления трения между частицами угля при уплотнении, трение угля о стенки матрицы, упругих и остаточных деформаций. Отсюда основными параметрами прессования являются: уплотнение  $h_1$ ; коэффициенты уплотнения  $k_1$  и упругого расширения  $k_2$ ; расход поглощенной и отданной при упругом расширении энергии  $E_1$  и  $E_2$  соответственно.

Давление прессования - основной параметр, влияющий на прочность брикетов. Особенно велико его значение при брикетировании молодых бурых углей. Практика брикетирования показала, что увеличение давления с 60 Мпа до 220 Мпа позволяет при прочих равных условиях повысить прочность брикетов в 3 раза. Для различных бурых углей существует свой предел давления прессования, выше которого прочность брикетов падает.

На процесс прессования влияют длительность воздействия давления и равномерность его распределения в объеме брикетируемого материала. Уплотнение происходит не мгновенно, а во времени. Это позволяет передавать усилия прессования последовательно от периферийных слоев к глубинным. В первоначальный момент давление распространяется в объеме материала волнообразно. Повышение усилий способствует некоторому выравниванию давления по высоте брикета.

Продолжительность прессования сказывается на соотношении и характере пластических и упругих деформаций. При малых скоростях нарастания давления и длительном его воздействии увеличивается доля пластических и падает доля упругих деформаций. При очень быстром или мгновенном приложении давления отмечаются чрезмерные упругие деформации. Быстрое наложение давления приводит к весьма нежелательному явлению – запрессовке воздуха в пустотах между сдавливаемыми зернами угля. Стремясь покинуть пустоты после снятия давления, воздух разрушает брикеты. При медленном возрастании давления прессования воздух из пустот структурного каркаса удаляется почти полностью. Прочность брикетов сохраняется. Высокая скорость приложения давления приводит к уменьшению динамического коэффициента трения брикетов о стенки пресс-форм. Снижаются прочность брикетов и производительность прессов.

Оптимальное время прессования определяется экспериментально и рассчитывается по следующей формуле:

$$t = 60(L - l) / (H_2 \cdot n) ,$$

где  $L$  – рабочая длина матричного канала, см;  $l$  – глубина захода штампея в матричный канал, см;  $H_2$  – толщина брикета согласно рис. 6.1, см ;  $n$  – число ходов штампея.

Характер снятия давления и выталкивания брикета из пресса определяют интенсивность действия упругих деформаций. Наиболее целесообразно равномерно снимать давление при выталкивании брикетов. Это ослабляет вредное влияние расширяющих усилий на структурный каркас, особенно, если брикет малого объёма.

## 2. Цель работы

Определение характера и степени влияния на прочность буроугольных брикетов давления прессования.

## 3. Оборудование и материалы

Для выполнения данной лабораторной работы необходимы следующие оборудование и материалы:

- проба бурого угля массой не менее 500 г ;
- технические весы с разновесами ;
- металлическая пресс-форма ;
- гидравлический пресс ИП-1;
- выталкиватель готовых брикетов.

## 4. Методика выполнения работы

1. Приготовить пробу бурого угля оптимальной влажности (см. лабораторную работу №5) массой 200 г ;
2. Получить три брикета при давлении прессования 60 МПа ;
3. Повторить операции по п.2 при давлении прессования 100, 140 и 180 МПа;
4. Механические испытания брикетов на прочность осуществить на следующем занятии по методике, приведенной в Приложении (см. п.2.3) ;
5. Данные по механической прочности брикетов на раздавливание занести в таблицу.

Давление прессования	Механическая прочность брикетов на раздавливание, МПа			
	$\sigma_1$	$\sigma_2$	$\sigma_3$	$\sigma_{cp}$
60 МПа				
100 МПа				
140 МПа				
180 МПа				

6. По полученным данным построить график зависимости  $\sigma_{ср}=f(p)$ . Сделать выводы о влиянии давления прессования на прочность бурого угольных брикетов.

**ИНСТРУКЦИЯ**  
по эксплуатации прессы ИП-1

**1. Краткое описание прессы.**

Машина состоит из гидравлического нагружающего устройства (левая часть), пульта управления (правый шкаф) и блока измерения, расположенного сверху на пульте управления.

Гидравлическое нагружающее устройство включает подвижную нижнюю плиту, связанную с поршнем рабочего цилиндра, и верхнюю неподвижную цилиндрическую опору. Нагружающее устройство обеспечивает максимальное усилие сжатия 100 кН.

Пульт управления содержит следующие органы управления:

1. Кнопки “Пуск” и “Останов” насоса гидросистемы.
2. “Режим работы” – левая рукоятка, имеет 3 положения: “нагружение” – осуществляется подъём нижней плиты; “О” – фиксирование (остановка) плиты на определенной высоте; “сброс” – сброс давления в цилиндре и опускание плиты.
3. “Скорость нагружения” – правая двойная ручка, имеющая указатель и шкалу, служит для изменения и задания максимального усилия, развиваемого рабочим цилиндром; малая рукоятка – для точного регулирования. При вращении рукояток по часовой стрелке возрастает задаваемое усилие прессования и скорость нагружения
4. Сигнальная лампа – индикатор подачи питающего напряжения на пресс. Подача напряжения осуществляется с помощью выключателя, установленного на левой боковой стенке пульта управления.

Блок измерения содержит цифровой указатель действующей нагрузки (левый индикатор) и указатель действующей скорости нагружения (правый индикатор). Под индикатором нагрузки расположены кнопки задания уровня защиты прессуемого образца от перегрузки. Уровни защиты: 10 кН; 20 кН; 50 кН и 100 кН. При нажатии, например, кнопки “20 кН” масляный насос автоматически отключится в процессе прессования при превышении усилия 20 кН.

Под индикатором скорости нагружения расположены две кнопки выбора диапазона измерения скорости нагружения. Рекомендуется использовать больший диапазон, т.е. нажать перед работой правую кнопку.

На лицевой панели блока установлена рукоятка компенсации массы используемой пресс-формы. Перед прессованием или разрушением образца следует вращением данной рукоятки установить на индикаторе нагрузки “0”.

Кнопка “Пуск-Макс” – служит для обнуления индикатора действующей нагрузки перед прессованием, после прессования при нажатии на кнопку индикатор указывает максимальное значение усилия, действовавшего в процессе последнего прессования.

Левая выступающая кнопка – включение напряжения сети блока измерения.

## **2. Порядок работы на прессе ИП-1**

### 2.1 Подготовка пресса к работе

1. С помощью выключателя подать напряжение на пресс, при этом загорается индикатор на пульте управления.
2. Кнопкой на блоке измерения подать напряжение.
3. Установить ручку “Режим работы” в положение “0”, а рукоятку “Скорость нагружения” в левое крайнее положение.
4. Установить требуемый уровень защиты (принимается в зависимости от используемой пресс-формы и нужного давления прессования).
5. Установить нужный диапазон измерения скорости нагружения.
6. Кнопкой “Пуск” включить насос.
7. Рукояткой “Режим работы” приподнять нижнюю плиту на 10-30 мм, для чего перевести рукоятку в положение “нагружение”, а после подъема плиты на требуемую высоту- в положение “0”.
8. Произвести 2-3 нажатия на кнопку “Пуск-Макс”, произойдет грубое обнуление индикатора нагружения.

Установить пресс-форму на плиту и ручкой “0” выставить нулевые значения во всех регистрах индикатора нагружения.

### 2.2 Работа на машине при прессовании.

1. Выполнить все операции по пп.2.1 .
2. Пресс-форму с шихтой и пуансоном установить по центру нижней плиты, чтобы пуансон при подъеме плиты упирался в верхний упорный цилиндр.
3. Перевести ручку “Режим работы” в положение “Нагружение”. В процессе подъема плиты осторожно совместить пуансон напротив упорного цилиндра.
4. После касания пуансона и упорного цилиндра рукояткой “Скорость нагружения” осуществить прессование. При этом скорость нагружения и развиваемое усилие растут по мере поворота рукоятки по часовой стрелке .
5. В момент достижения требуемого усилия прессования (контроль по индикатору) рукоятку “Режим” перевести в положение “0”, а затем в положение “Сброс”. Опустив плиту на 30-40 мм, зафиксировать её на данной высоте (рукоятка в положении “0”).
6. Извлечь из матрицы упорную шайбу, установить матрицу и выдавить брикет в приемный стакан (повторив операцию по п.3).
7. При необходимости проверки значения максимального усилия, действовавшего при прессовании – нажать кнопку “Макс”.

8. Если требуемое усилие прессования совпадает со значением установленного уровня защиты, автоматика отключает маслосос пресса при некотором превышении установленного уровня защиты (на 2-4%). Для продолжения работы включить насос по истечении 3-4 с.
9. В интервалы времени подготовки шихты к брикетированию насос пресса выключать.

После окончания работы выключить питание на пульте управления и блоке измерения, очистить от грязи и брикетной шихты подвижную плиту.

### 2.3 Работа на прессе при раздавливании брикетов.

1. Выполнить работы по пп.2.1 .
2. Установить уровень защиты 100 кН.
3. Установить брикет между упорными цилиндрами.
4. Осуществить нагружение до разрушения брикета, фиксируя действующую нагрузку по индикатору.

ТАБЛИЦА  
 перевода показаний измерительного блока  
 пресса ИП-1 в давление прессования, МПа  
 при различных внутренних диаметрах прес-  
 формы, мм

Давление прессования МПа	Показания измерительного блока, кН при диаметре пресс-формы			
	25 мм	30 мм	36 мм	50 мм
10	5,0	7,0	10,0	20,0
20	10,0	14,0	20,0	40,0
25	12,5	17,5	25,0	50,0
30	15,0	21,0	30,0	60,0
50	25,0	35,0	50,0	100,0
80	40,0	56,0	80,0	
90	45,0	63,0	90,0	
100	50,0	70,0	100,0	
110	55,0	77,0		
120	60,0	84,0		
150	75,0	105,0		
200	100,0			

Методические указания  
к лабораторным работам по курсу  
«Брикетиrowание полезных ископаемых»  
(для студентов специальности 7.090303  
"Обогащение полезных ископаемых")

Составители: Павел Всеволодович Сергеев