

Д-р техн. наук С.П. Минеев,
(ИГТМ НАН Украины)
инж. А.Л. Сахненко,
инж. С.А. Обухов
(МТП "Южный")

ОЦЕНКА РЕОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ АГРЕГИРОВАННОЙ УГЛЕПОРОДНОЙ МАССЫ

Виконано оцінку реологічних параметрів мерзлої вуглепородної маси стосовно до вибору оптимальних режимів її розукріплення.

VALUATION OF REOLOGICAL PROPERTIES OF FROZEN COAL MASS

Valuation of reological properties of frozen coal mass have done for definition destruction's properties.

Вопросы прочности смерзшейся углепородной массы являются актуальными, поскольку транспортируемый в вагонах в зимнее время уголь агрегируясь превращается в сплошной монолитный материал, создающий значительные затруднения для предприятий, выполняющих разгрузочно-перегрузочные работы [1, 2]. Причем, правильное определение и выбор эффективного технологического решения для восстановления сыпучести смерзшейся углепородной массы в условиях промышленного предприятия, в значительной мере, зависит от прочностных параметров углепородной массы, находящейся в транспортном средстве. Ранее выполненными исследованиями установлено, что основными факторами, определяющими степень смерзаемости углепородной массы является ее влажность, температура окружающего воздуха, фракционный состав, продолжительность нахождения груза в холодное время, а также тип транспортного средства, включая материал корпуса вагона [1, 3]. До настоящего времени проведены широкие исследования по установлению механизма смерзания влажного сыпучего груза [3-7], установлено, что транспортируемая в течение 3 суток в угольная масса при влажности 18% и температуре 25-26°C, состоящая на 80 % из класса 3-0 мм и 20 % класса 10-3 мм промерзла полностью в железнодорожном вагоне.

В тоже время, создание и разработка эффективных технологий разупрочнения агрегированного материала в современных условиях сопряжено с решением ряда задач по описанию этих процессов. Для практического использования полученных решений необходимы численные значения величин деформационных и прочностных характеристик. В этой связи весьма полезной задачей является исследование упругих характеристик (модуль упругости, прочность, коэф. Пуассона) и неупругих свойств смерзшейся углепородной массы (коэф. затухания, энергоемкость разрушения и другие неупругие характеристики). Методики определения этих параметров разработаны и достаточно широко апробированы [7, 8].

Поэтому для решения 2-го блока указанных задач, авторы в данной статье изложили результаты комплекса исследований по определению реологических

параметров агрегированной углепородной массы, выполненных в ИГТМ НАН Украины, НГУ и морпортовской лаборатории.

Для исследования реологических свойств смерзшегося углепородного конгломерата брались образцы призматической формы, размером 100*100*100 мм, изготовленные из 6 составов смесей каменного угля и аргиллита (ГКХ «Павлоградуголь», ш. Западно-Донбасская, гор. 480 м) с различным содержанием угля и породы и их фракций (см. таблицу 1).

Таблица 1

№ смеси	количество угля, %				количество аргиллита, %			
	общее	по фракциям			общее	по фракциям		
		пыль	1-3 мм	5-7 мм		пыль	1-3 мм	5-7 мм
1	80,0	20,0	30,0	50,0	20,0	20,0	30,0	50,0
2	80,0	50,0	30,0	20,0	20,0	50,0	30,0	20,0
3	100,0	33,3	33,3	33,3	0	0	0	0
4	80,0	33,3	33,3	33,3	20,0	33,3	33,3	33,3
5	90,0	33,3	33,3	33,3	10,0	33,3	33,3	33,3
6	70,0	33,3	33,3	33,3	30,0	33,3	33,3	33,3

Для изготовления образцов фракции угля и аргиллита отделялись с помощью калиброванных сит, смешивались между собой, после чего в полученную смесь добавлялась вода в количестве 10 до 30 % для получения влажности смеси. Затем смесь вновь тщательно перемешивалась и помещалась в специальную обойму из жести для придания ей формы параллелипипеда и подавалась в морозильную камеру с температурой $-5^{\circ} \dots -10^{\circ} \text{C}$, где выдерживались в течение не менее 24 часов. Опытным путем было установлено, что для полного промерзания объема образца принятого размера этого времени достаточно. В соответствии с работой [9], понижение температуры ниже 0°C приводит к смерзанию рыхлых влажных пород. По существу, рыхлая порода при этом перестает существовать – возникает особая скальная монолитная порода, имеющая в качестве цементирующего вещества лед со своеобразной ледовой (криогенной) текстурой.

При испытаниях образец извлекался из каркаса, устанавливался на плиты гидравлического пресса, где производилось его нагружение в режиме одноосного сжатия до 70 % от предела прочности. В ходе испытаний фиксировалась деформация образца при постоянной нагрузке. Время испытаний составляло 15 минут. Деформация определялась при помощи двух индикаторов часового типа (ИЧ-10), расположенных напротив противоположных граней образца. Принципиальная схема испытательного стенда приведена на рисунке 1.

Расчет реологических параметров испытываемых образцов производился по известным зависимостям, согласно методики, изложенной в работе [7]. По полученным экспериментальным данным (ε, t) , реологические параметры определялись с помощью соотношений:

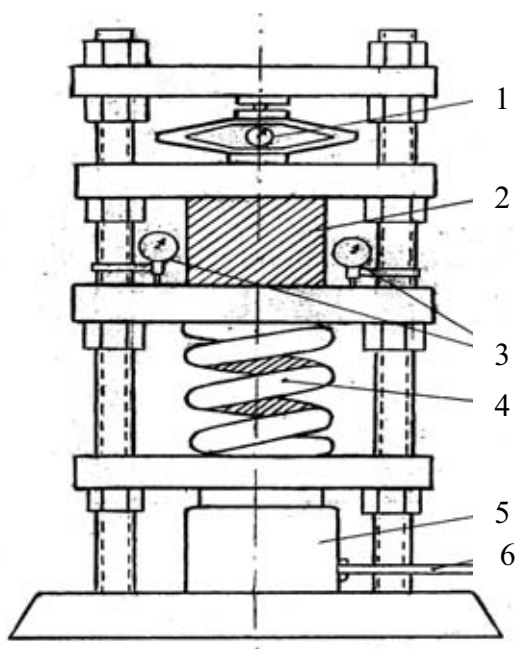
$$\chi = \frac{a}{1+a} \beta; \beta = \frac{b}{\gamma} (1+a) \quad (1)$$

где:

$$a = \frac{y_{\max} + 1 - y_0}{y_0} \quad (2)$$

где y_{\max} , y_0 - максимальное и начальное значения деформации соответственно, м; n - число измерений ($n = 1, 2, 3 \dots 15$); t - время, сек.; $\gamma = 0,6$.

$$b = \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n \left[- \frac{\ln \left(1 - \frac{y_i - y_0}{ay_0} \right)}{\gamma t_i^{1-\alpha}} \right] \quad (3)$$

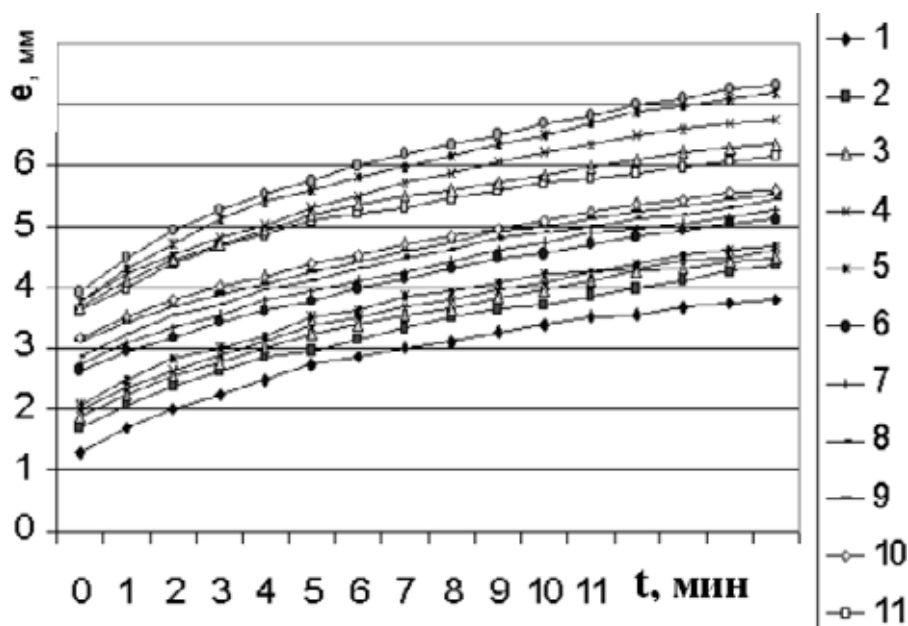


1 – динамометр; 2 – образец; 3 – индикаторы часового типа; 4 – пружина; 5 – гидродомкрат;
6 – трубопровод к маслостанции

Рис. 1 – Стенд для проведения эксперимента.

По данным проведенного эксперимента построены графики ползучести образцов сmerzшейся углепородной смеси в координатах “деформация- время” (рис. 2). Представленные на рис. 2 кривые деформирования идентичны. В них явно прослеживается увеличение ползучести образца с повышением температуры и увеличением влажности испытываемой смеси. Аналогичные графики могут бать приведены и для образцов углепородной массы, изготовленной из смесей №2-6. Приводить их, из-за ограниченности объема материала статьи, не имеет смысла, так как они подобны друг другу и потому особой смысловой нагрузки практически нести не могут. Все полученные данные по результатам оп-

ределения реологических свойств образцов из смесей 1-6 осреднены и сведены в таблицу №2.



1 – W=10 %, t=-10° C; 2 – W=15 %, t=-10° C; 3 – W=20 %, t=-10° C; 4 – W=25 %, t=-10° C;
 5 – W=30 %, t=-10° C; 6 – W=10 %, t=-7° C; 7 – W=15 %, t=-7° C; 8 – W=20 %, t=-7° C;
 9 – W=25 %, t=-7° C; 10 – W=30 %, t=-7° C; 11 – W=10 %, t=-5° C; 12 – W=15 %, t=-5° C;
 13 – W=20 %, t=-5° C; 4 – W=25 %, t=-5° C; 5 – W=30 %, t=-5° C.

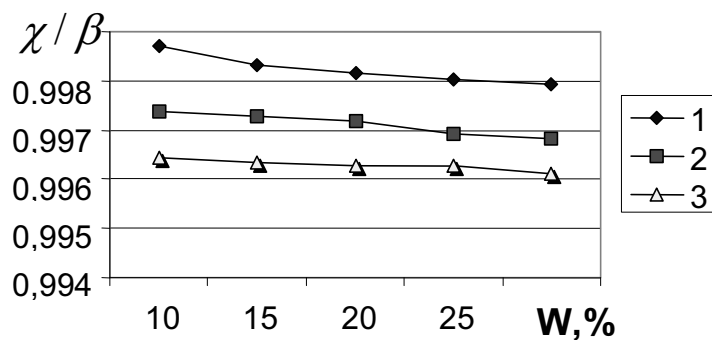
Рис. 2– Зависимость деформации образца смерзшейся углепородной массы от времени нагружения.

Таблица 2 – Осредненные реологические параметры мерзлой углепородной массы при различно температуре и влажности

Влажность, %	Предел прочности на одноосное сжатие, кПа	энергоёмкость разрушения, кДЖ	χ	β	χ/β
1	2	3	4	5	6
10	4,0/6,0/10,0	0,7/1,2/1,9	0,11462/ 0,19982/ 0,31738	0,11504/0,2003 4/ 0,31778	0,99636/ 0,99738/0,99872
15	10,0/20,0/27,0	2,6/3,4/6,2	0,11638/ 0,13603 / 0,23292	0,11601/ 0,13641/ 0,23331	0,99629/0,99729 /0,99830
20	16,0/35/44,0	4,5/5,7/8,2	0,12321/ 0,13653/ 0,21419	0,12368/0,1369 2/ 0,21459	0,99621/0,99718 /0,99815
25	22,0/49,0/62,0	6,2/7,9/10,4	0,14243/0,11560/ 0,19839	0,14297/0,1159 6/ 0,19879	0,99621/0,99692 /0,99804
30	28,0/64,0/79,0	7,8/9,7/11,2	0,13851/0,11511/ 0,19000	0,13905/ 0,11547/ 0,19039	0,99610/0,99684 /0,99792

* $a_1/a_2/a_3$ - значения исследуемых параметров , соответственно при температуре $t_1=-5^\circ \text{C}$, $t_2=-7^\circ \text{C}$ и $t_3 = -10^\circ \text{C}$.

На рис. 3 приведены зависимости отношения комплексного показателя реологических параметров χ/β для смеси № 1 от влажности материала при различных температурах замерзания.



1- $t=-10^{\circ}\text{C}$; 2- $t=-7^{\circ}\text{C}$; 3- $t=-5^{\circ}\text{C}$

Рис. 3 – Зависимость комплексного показателя реологических свойств мерзлой углепородной массы от влажности смеси.

Необходимо отметить некоторые явления, отмеченные в процессе эксперимента и состоящие в том, что при приложении нагрузки начиналось интенсивное таяние материала образца, что выражалось в появлении капель воды на его свободных гранях. Это явление можно объяснить тем, что температура замерзания воды зависит от давления, чем оно выше, тем эта температура ниже. Таким образом, прикладывая к образцу сжимающую нагрузку, мы вызывали его принудительное частичное оттаивание. Кроме того, в ходе исследований была отмечена высокая пластичность образцов, что вполне объясняется их интенсивным оттаиванием под нагрузкой, т. е. переходом из хрупкого в текучее состояние.

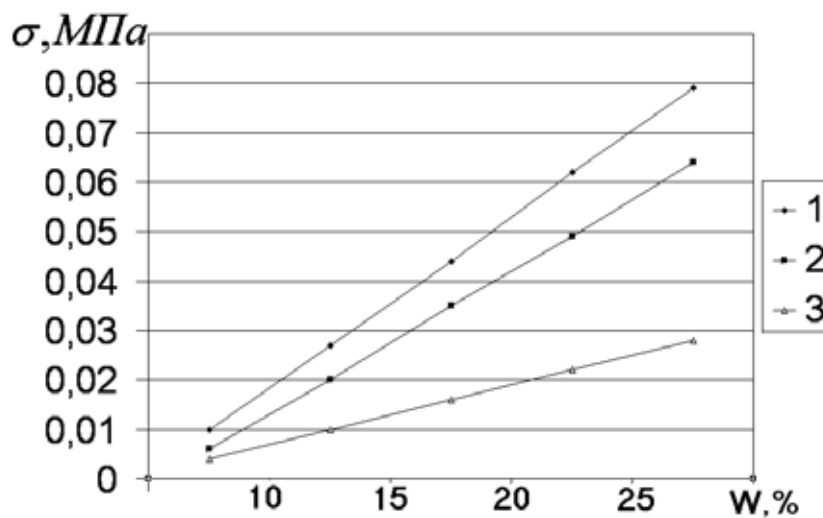
Предел прочности при одноосном сжатии образцов из смерзшейся углепородной массы $\sigma_{сж}^n$ определялся в процессе эксперимента. Несмотря на отмеченные выше особенности разрушения, образцы смерзшейся углепородной массы с размерами 50*50*50 мм при испытаниях нагружались на прессе до появления видимой магистральной трещины, проходящей через объем образца. По динамометру снималась максимальная нагрузка, после достижения которой наблюдался монотонный рост деформации и спад нагрузки. При величине задаваемой надежности 0,90, число опытов составляло (на основе данных предварительных испытаний) не менее 7 на каждую экспериментальную точку. Аналогично, основываясь на тех же соображениях и, с учетом особенностей проводимых экспериментальных исследований, число опытов при заданной надежности также составляло не менее 7.

Предел прочности образца горной породы при одноосном сжатии $\sigma_{сж}^n$ определяли по формуле:

$$\sigma_{сж}^n = \frac{P_{max}}{F} \quad (4)$$

где P - максимальная разрушающая нагрузка при одноосном сжатии, Н; F - средняя площадь поперечного сечения образца, равная полусумме площадей параллельных поверхностей образца до его разрушения, m^2 .

Полученные результаты для образцов углепородной массы, изготовленные из смеси №1 представлены в виде кривых, построенных по осредненным точкам в координатах «предел прочности на одноосное сжатие – изменение влажности смеси», которые приведены на рис. 4.



1 – $t = -10^{\circ}C$; 2 – $t = -7^{\circ}C$; 3 – $t = -5^{\circ}C$.

Рис. 4 – Зависимость предела прочности на одноосное сжатие от влажности смеси.

Таким образом, проведенный этап исследований по оценке реологических характеристик смерзшейся углепородной массы, показал, что :

1. Углепородная масса начинает смерзаться и набирать прочность при низких температурах лишь при увеличении ее влажности до некоторого значения и различного для разных углей гранулометрического и фракционного состава исследуемых смесей.

2. Увеличение содержания мелких фракций («пыль») в составе смеси углепородной массы приводит к увеличению прочности на одноосное сжатие образцов, что объясняется, по-видимому, большей «цементацией» материала, меньшим содержанием в нем пустот, т.е. его большей монолитностью. Однако увеличение содержания аргиллита в такой смеси образца приводит к уменьшению его предела прочности на одноосное сжатие

3. Комплексный показатель реологических свойств образца из смерзшейся углепородной массы увеличивается с повышением температуры и увеличением влажности смеси.

4. Увеличение содержания аргиллита в смеси исследуемого образца ведет к повышению энергоемкости процесса разрушения. Это связано, по-видимому, с

тем, что при разрушении во вращательно-ударном режиме у угольной части смеси преобладает хрупкое разрушение, а у породной (аргиллит) – вязко-пластическое, причем оба процесса происходят в зоне интенсивного таяния смеси от диссипативного разогрева под воздействием сверла. Вместе с этим, преобладание в смеси крупных фракций приводит к росту энергоемкости процесса разрушения, а энергоемкость разрушения увеличивается с понижением температуры и увеличением влажности смеси, что связано с ростом смерзания смеси.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Браун Д.А. Вопросы борьбы со смерзаемостью грузов.- Днепропетровск: ДГИ, 1940.- 45с.
2. Минеев С.П., Сахненко А.Л., Обухов С.А. Об эффективности разрыхления агрегированного сыпучего груза из полувагонов в зимнее время// Сб. научн. трудов НГУ №17.- Т.2.- Днепропетровск: РИК НГУ, 2003.- С.176-182.
3. Сахненко А.Л. О применении способов восстановления сыпучести смерзшихся при их транспортировании // Геотехнічна механіка: Міжвід. Зб. наук. праць /Ін-т Гетехнічної механіки НАН України.- Киев: Дніпропетровськ, 2003. - Вип.47.- С.168 – 173.
4. Гурин М.А. Исследование некоторых вопросов работы и определение оптимальных параметров часто ударного забойного органа для разработки мезлых грунтов: Автореф. ... дис.к.т.н. - Свердловск:УПИ, 1962.- 22с.
5. Петухов П.З, Гурин М.А. Вибрационные машины для разработки мерзлых грунтов// Промышленно-экономический бюллетень Свердловского СНХ, №4 .- 1961.
6. Гурин Ю.А. Предупреждение смерзания и примерзания горных пород при транспортировке// Горн. Информ.-аналит. Бюл. –М.: МГТУ.- 2000.- Вып. 7. –С. 134-135.
7. Потураев В.Н., Минеев С.П. Использование вибрационных и волновых эффектов при отработке выбросоопасных пластов. - К.: Наук.думка, 1992. - 200 с.
8. Минеев С.П., Сахненко А.Л., Прусова А.А., Кириченко В.Н. Об оценке реологических параметров агрегированного углепородного массива при его виброразупрочнении.- Геотехнічна механіка: Міжвід. Зб. наук. праць /Ін-т Гетехнічної механіки НАН України.- Киев: Дніпропетровськ, 2003.- Вип. 42.- С.56 – 62.
9. Ржевский В.В., Новик Г.Я. Основы физики горных пород: Учебник для Вузов. –М.: Недра, 1984.- 359с.