

**ИССЛЕДОВАНИЕ УГЛОВ ТРЕНИЯ ДРОБЛЕННЫХ ПОРОД,  
ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ ЗАКЛАДКИ НА ШАХТАХ  
ПРОКОПЬЕВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КУЗБАССА**

Ю. А. РЫЖКОВ

(Представлено научным семинаром кафедры разработки пластовых  
месторождений)

Угол трения сыпучих материалов является важным параметром при расчете и проектировании устройств для транспорта под действием собственного веса. Значение угла трения необходимо знать, например, при проектировании различных воронок, люковых устройств, бункеров, скатов, трубоспусков, винтовых и ступенчатых спусков, а также при выборе систем разработки с закладкой выработанного пространства.

Трущимися поверхностями при работе с закладкой чаще бывают, с одной стороны, различные дробленые коренные породы, песок, шлаки; с другой — дерево, железо, бетон, железобетон и почва выработки. В некоторых самотечных устройствах (например, ступенчатых спусках) поверхностью скольжения служат насыпные породы различной крупности.

Угол трения сыпучих материалов в воздушной среде зависит от материала поверхности скольжения, петрографического состава, крупности, влажности, формы, характера поверхности, крепости, удельного веса и температуры частиц.

Большинство исследователей, изучавшее этот показатель сыпучих тел, приходит к выводу, что угол трения для близких по петрографическому составу пород зависит, главным образом, от материала поверхности скольжения, крупности и влажности частиц [1, 2, 3]. Исследования, проведенные с целью установления возможности применения самотечной закладки на наклонном падении в шахтах Рура, показали, что угол трения зависит, в основном, от материала поверхности скольжения [4].

На угол трения оказывают влияние и другие вышеперечисленные факторы, однако, о них в литературе приводятся самые общие, в большинстве случаев, качественные данные. Например, шаровидные, округлые, кубические и ромбические частицы катятся при меньшем угле наклона поверхности, чем плоские вытянутые куски [5, 6]. Частицы с гладкой поверхностью имеют меньший коэффициент трения [6].

В данной работе приводятся результаты исследования углов трения дробленых коренных пород Ново-Усятского карьера, используе-

мых на шахтах Прокопьевского месторождения Кузбасса, в зависимости от крупности и влажности по деревянным, железным, бетонным и насыпным из пород днищам.

### Свойства пород

Породы Ново-Усятского закладочного карьера представлены, в основном, аргиллитами (70%) и песчаниками. Твердость по шкале Мооса — 4—8, сопротивление сжатию — 400 — 1100 кг/см<sup>2</sup>. Форма кусков чаще удлиненно-плитчатая, реже плитчатая, кубическая и столбчатая. Куски остrokромчатые с раковистым изломом. Объемный вес пород в разрыхленном состоянии и естественная влажность пород различной крупности представлены в табл. 1.

Таблица 1

Крупность породы, мм	Объемный вес, т/м <sup>3</sup>	Влажность, %
0—3	1,43	3,04
3—6	1,17	2,53
6—13	1,21	2,11
13—25	1,26	1,84
25—50	1,26	1,65
50—100	1,28	1,08

### Набор и приготовление проб

Набор проб для исследования углов трения производился на дробильной фабрике Ново-Усятского карьера и фабрике № 2 Усятского карьероуправления. Из большого числа частичных проб составлены две усредненные смеси, представляющие: первая — шихту самотечной закладки; вторая — шихту гидравлической (пневматической) закладки. Средняя крупность смеси № 1 — 63,5 мм; смеси № 2 — 21,9 мм. Для получения однородных классов по крупности производился рассев материала на ручных ситах с диаметром отверстий 3; 6; 13; 25; 50 и 100 мм.

### Методика определения углов трения

Для определения углов трения дробленых закладочных материалов была принята методика ИГД АН СССР, проводившего аналогичные исследования с железными рудами [2, 3]. Экспериментальные установки для определения углов трения руд и закладочных материалов отличались друг от друга конструктивно. Последняя представляла собой станины, в которых неподвижно укреплялся бункер с выпускным окном, перекрывающимся шибером. К нижней части бункера укреплялось на шарнирах деревянное днище с угломером, позволяющим определять углы наклона днища. Опускание днища и подъем породы в бункер осуществлялось с помощью ручной лебедки, соединенной посредством металлического канатика и блока с днищем или бадьей. Конструкция установки позволяла производить исследования закономерностей движения дробленых пород по деревянному, железному, бетонному и насыпному из пород днищам. На деревянное днище, выполненное из необработанных плах, с размерами 950×500 мм пришивался лист железа или укладывалась площадка с бетоном. Состав бетона —

гравий с размерами частиц 0,5—25 мм, песок и цемент. Насыпное днище представляло собой деревянный ящик с размерами, соответствующими размерам днища и высотой 60 мм. Ящик был разделен перегородками на 3 отсека, в которые насыпалась порода разной крупности.

В бункер загружалось в среднем 150 кг породы. Вес порции для мелких фракций принимался меньшим, чем для крупных фракций. При каждом опыте из модели выпускалась одна порция.

Началу опытов предшествовала загрузка бункера породой, установка днища в горизонтальное положение строго по уровню и выверка угломера. Затем днище с помощью лебедки медленно опускалось до того момента, когда масса породы, находившаяся на днище и бункере, начинала скользить по наклонной плоскости. В этот же период фиксировался угол наклона днища (угол трения) с помощью угломера. Точность измерения угла наклона днища составляла 30 сек. Опыты для каждого однородного класса и смесей повторялись от 4 до 8 раз. Углы трения принимались средними. С породами естественной влажности проведено около 350 опытов.

Зависимость угла трения от влажности получена для смеси № 1 и класса 12—25 мм по железному днищу.

### Результаты экспериментов

Углы трения пород естественной влажности Ново-Усятского закладочного карьера в зависимости от крупности и поверхности скольжения представлены на графике (рис. 1), а соответствующие им коэффициенты трения — в табл. 2.

Таблица 2

Крупность породы, мм	Поверхность скольжения			
	Железо	Гладкое дерево	Необработан- ное дерево	Бетон
0—3	0,56	0,61	0,82	0,87
3—6	0,51	0,57	0,75	0,77
6—13	0,50	0,56	0,73	0,74
13—25	0,49	0,54	0,68	0,70
25—50	0,48	0,54	0,64	0,68
50—100	0,45	0,53	0,63	0,68
Смесь № 1	0,47	0,55	0,63	0,69
Смесь № 2	0,49	0,57	0,64	0,72

Экспериментальные исследования углов трения закладочных материалов подтвердили закономерности, установленные ИГД АН СССР для руд. Анализируя экспериментальные данные, необходимо заметить, что на угол трения (и соответственно коэффициент трения) наибольшее влияние оказывает характер поверхности скольжения. Если принять среднее значение угла трения породы для однородных классов по железу за 100%, то углы трения для других поверхностей увеличиваются соответственно: для гладкого дерева на 12%, необработанного дерева на 34%, бетона на 38%.

Заметим, что в исследованиях ИГД АН СССР углы трения железных руд по деревянному днищу оказались большими, чем по бетонному; в нашем же случае наоборот. Это объясняется разным качеством поверхности скольжения и подтверждается исследованиями угла трения по дереву с гладкой и необработанной поверхностями (рис. 1).

С увеличением крупности однородных классов, а также при увели-

чении крупных фракций в смесях угол трения уменьшается. В исследованном интервале крупности однородных классов разница между значениями минимальных углов крайних классов (наиболее крупного 50—100 мм и наиболее мелкого 0—3 мм) составляет: для железного днища — 5°, деревянного с гладкой поверхностью — 3,5°, деревянного с необработанной поверхностью — 7,5°, бетонного — 7°.

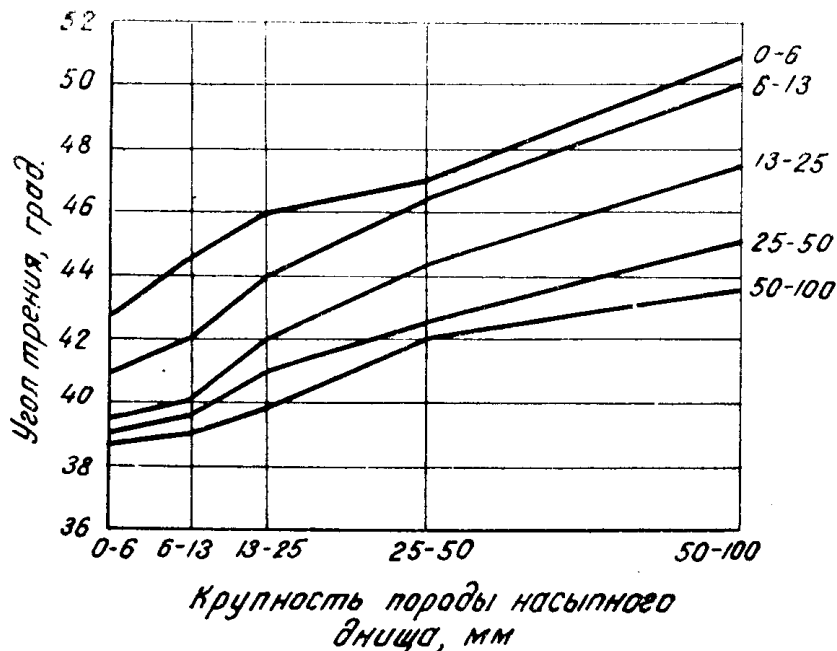


Рис. 1. Зависимость угла трения пород естественной влажности от крупности и поверхности скольжения: 1—по бетону; 2—необработанному дереву; 3—гладкому дереву; 4—железу.

Угол трения смеси № 1 на 2—3° меньше, чем у смеси № 2 для всех поверхностей скольжения.

Как видно из рис. 1, наиболее резко угол трения уменьшается с увеличением крупности до предела, соответствующего классу 13—25 мм. Например, в случае скольжения по бетонной поверхности угол трения фракций 0—3 мм составлял 41°, то уже для фракций 13—25 мм он уменьшился до 35°, изменяясь в незначительных пределах для более крупных фракций. Аналогичная закономерность наблюдается и для других поверхностей скольжения.

Наличие влаги в породах в значительной степени влияет на величину угла трения (рис. 2). Увеличение количества воды вначале ведет к увеличению угла трения, а затем к его снижению. Это влияние проявляется в большей степени у мелких фракций и смесей и меньше у крупных однородных классов. Последующее добавление воды в крупнокусковые материалы почти не сказывается на угле трения, в то время как мелкие фракции приобретают свойства текучести.

Данные исследования углов трения пород различной крупности по насыпному днищу приведены на рис. 3, а соответствующие им значения коэффициентов трения — в табл. 3.

Углы трения (соответственно и коэффициенты трения) увеличиваются с уменьшением крупности выпускаемого материала и увеличением крупности пород насыпного днища.

Полученные экспериментальным путем углы трения могут быть использованы при установлении минимальных углов наклона различных

устройств для транспорта под действием собственного веса пород. Минимальные углы наклона рекомендуется принимать на 5—10° больше угла трения пород [2, 3, 5].

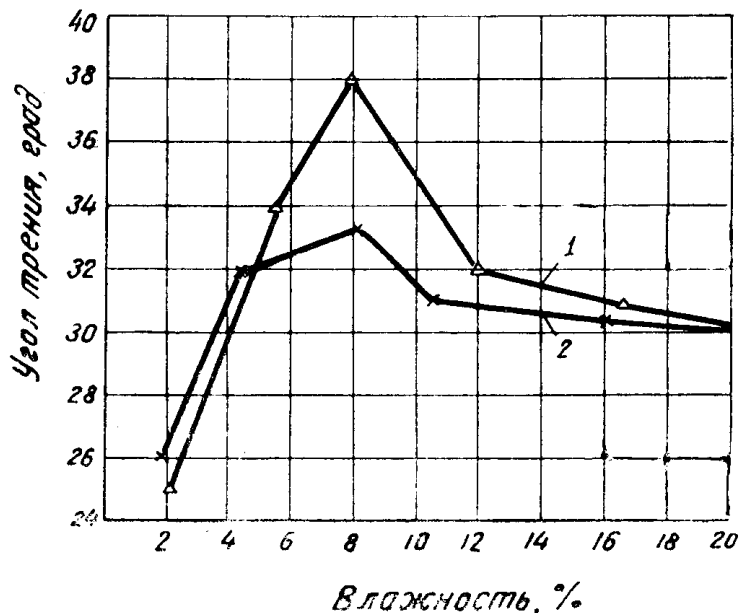


Рис. 2. Зависимость угла трения породы от влажности по железному днищу: 1—смеси № 1; 2—класса 13—25 мм

Таблица 3

Крупность породы, мм	Материал днища— дробленые породы различной крупности, мм				
	0—6	6—13	13—25	25—50	50—100
50—100	0,8	0,81	0,83	0,9	0,95
25—50	0,81	0,83	0,87	0,92	1,0
13—25	0,82	0,84	0,90	0,98	1,09
6—13	0,87	0,90	0,97	1,05	1,19
0—6	0,92	0,99	1,04	1,07	1,24

Таблица 4

Шахта	Сооружение или выработка	Поверхность скольжения	Угол наклона, град
1	2	3	4
Коксовая-1	Бункер	Дерево, покрытое железными листами	50
	Шурф по пласту Лутугинскому	Бетон, железобетон	50—58
	Шурф по пласту Проводник	Металлические трубы диаметром 50 мм	55
	Люк шурфа по пласту Лутугинскому	Железные листы	48

1	2	3	4
3-3-бис	Бункер	Бетон, покрытый железными листами	50
	Скат-бункер	Железобетон	50
	Люк закладочного ствола № 5	Железные листы	45
	Наклонные слои с самотечной закладкой по пласту Мощному	Деревянные желоба	40-46
Черная гора	Длинные столбы с самотечной закладкой по пласту Двойному	Деревянные желоба	39-45
	Диагональные полосы с самотечной закладкой по пласту Двойному	Деревянный настил	45

В табл. 4 обобщены данные о минимальных углах наклона, принимаемых в практике Кузбасса для различных поверхностей скольжения при транспорте дробленых пород Ново-Усятского карьера, а в табл. 5 приведены минимальные углы наклона, установленные расчетным путем.

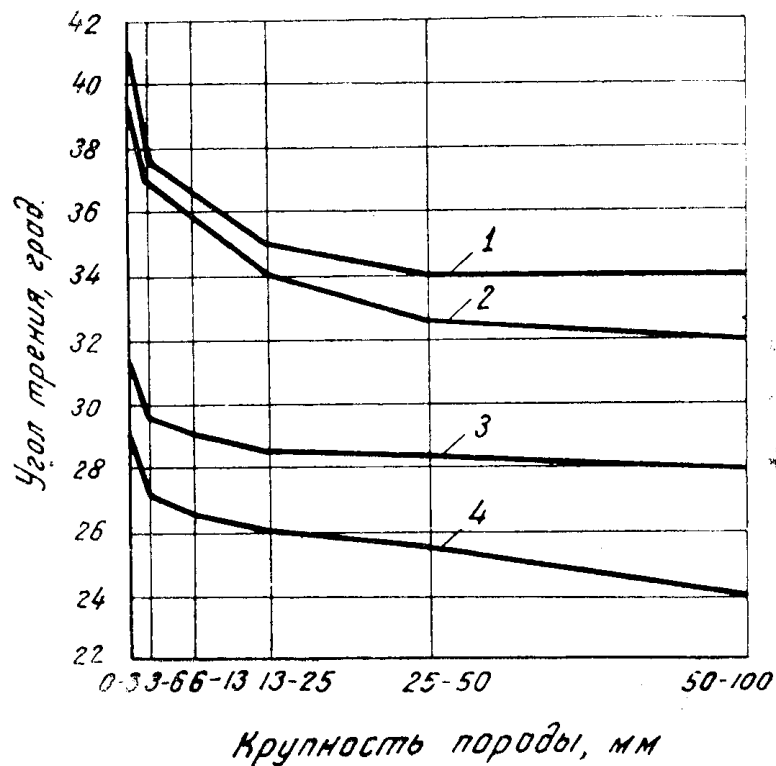


Рис. 3. Зависимость угла трения породы по насыпному дну из пород различной крупности.

Расчетные величины углов наклона по деревянным и бетонным поверхностям скольжения, как видно из табл. 4 и 5, совпадают с данными практики. Однако углы наклона для железных поверхностей завышены против расчетных.

Таблица 5

Поверхность скольжения	Угол трения мелких фракций, град.	Расчетный угол, град.
Железо	29	34—39
Дерево	39,5	44,5—49,5
Бетон	41	46—51

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Спиваковский А. О., Рудничный транспорт, Углетехиздат, 1953.
2. Барон Л. И., Симонян Е. А., Люковая погрузка при подземной добыче руд. Metallurgizdat, 1959.
3. Головская Г. В., Углы наклона рудоприемных и выпускных выработок в днищах блоков. В кн. «Вопросы горного дела», Углетехиздат, 1958.
4. Опыт применения самотечной закладки на наклонных пластах в Рурском бассейне, „Bergfreiheit“, № 6, 1954.
5. Алферов К. В., Бункеры, затворы, питатели. Машгиз, 1946.
6. Деркач В. Г., Копычев П. А., Специальные методы обогащения полезных ископаемых, Metallurgizdat, 1956.