

К ВОПРОСУ ОБ ИССЛЕДОВАНИИ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НЕКОТОРЫХ ПОРОД КАМЕННОГО УГЛЯ ШАХТ КУЗБАССА

В. П. ШУБИН

Введение

Как осадочная органогеновая порода, каменный уголь относится к аморфному строению и является анизотропным твердым телом. Вместе с этим каменный уголь представляет собой твердое тело, обладающее большим сопротивлением деформации сжатия. Отдельные пласты каменного угля обладают большой связанностью, обусловленной силами взаимного сцепления, в этом основное отличие каменного угля, как твердого тела, от металла. Как известно, в металлах существует межкристаллическая прослойка, состоящая как из атомов самого металла, так и посторонних примесей. Каменный уголь и другие горные породы относятся к хрупким телам, что вполне соответствует их внутреннему строению. Однако, при определенных условиях, каменные угли и окружающие их породы способны к деформации без явного разрушения, т. е. к пластической деформации.

Насколько нам известно, систематического исследования пластических деформаций горных пород вообще и каменного угля, в частности, не проводилось в значительной степени из-за трудностей экспериментирования. Каменные угли и окружающие его породы надо отнести к телам несовершенной плотности, т. е. к телам, обладающим в известной степени и плотностью и пористостью. Под плотностью каменного угля и других пород мы будем понимать степень заполнения данного объема породы веществом. Аналитически это определяется отношением объемного веса к удельному весу. Вводя относительную плотность Δ , имеем:

$$\Delta = \frac{\gamma}{\rho} \cdot 100.$$

Помимо пористости каменноугольного пласта и окружающих его пород, мы вводим, как неперемное условие, наличие трещиноватости. В этой трещиноватости концентрируются перенапряжения при деформации каменного угля. Очевидно, образование осадочной каменноугольной породы происходило под очень большим давлением. Адамс и Гибсон [1], изучая вопрос деформации горных пород при высоком давлении, путем опытов пришли к выводу, что в земной коре даже на глубине 17 км небольшие трещины и пустоты могут существовать. Трещины и поры по своим размерам подразделяются на видимые и скрытые, недоступные вооруженному глазу. Наличие этих трещин понижает механические свойства каменного угля.

Значительная часть горных пород, в частности каменный уголь, не подчиняется линейному закону Гука. Это отступление от закона пропор-

циональности особенно заметно на многих изверженных породах, у которых силы сцепления между кристаллами или прочность цемента меньше прочности самих зерен. Кварциты, у которых цемент имеет прочность, равную прочности зерен, подчиняется закону Гука. По исследованиям Филлипса [2], при динамическом приложении нагрузки, закон Гука справедлив и для гранита и других кристаллических зернистых пород. По исследованиям М. В. Классен-Неклюдовой [3], несоблюдение линейного закона Гука вообще характерно для поликристаллов.

Каменный уголь, обладая достаточно высокой прочностью на сжатие, имеет очень малую прочность на растяжение, причем по нашим исследованиям (табл. 1) отношение $\sigma_{в. раст} k - \sigma_{в. сжат}$ колеблется в пределах (усилие параллельно слоям).

Таблица 1

Наименование угля	$\sigma_{в. раст}$	$\sigma_{в. сжат}$	$\frac{\sigma_{в. раст}}{\sigma_{в. сжат}}$
			в %
Анжеро-Судженский	6,75	49,4	13,65
Ленинский	10,15	47,6	21,3
Прокопьевско-Киселевский	12,5	212,1	5,89
Хакасский	10,0	47,9	20,85
Черемховский (Иркутскуголь)	11,0	36,6	29,9

Наряду с достаточно хорошо изученными свойствами различных горных пород, несмотря на широкое развитие научно-исследовательских работ по отношению к ископаемым углям СССР, последние все еще остаются очень мало изученными со стороны их механических свойств. Что касается механических свойств сибирских углей и, в частности, углей Кузнецкого бассейна, то они почти совершенно не изучены. Мы располагаем только одной работой инж. П. К. Мурзина [4], выполненной им по заданию кафедры технологии твердого топлива Сибирского химико-технологического института. Статическому исследованию подвергались образцы угля пласта „Мощный“ Прокопьевского месторождения. По своим физическим свойствам угли этого пласта характеризуются большой твердостью и относительно высоким сопротивлением разрушению; они являются типичными для углей всего Прокопьевско-Киселевского района. Для испытания были изготовлены 68 образцов, из которых 64 испытывались на сжатие с определением модуля нормальной упругости E и предела пропорциональности. Геометрическая форма образцов—правильная призма с размерами $25 \times 25 \times 60$ мм. Остальные 4 образца представляли собой кубик размерами $25 \times 25 \times 25$ мм и были испытаны на определение временного сопротивления сжатию.

Инж. П. К. Мурзин проводил испытания на машине Амслера мощностью в 2 т, с применением в качестве экстензометра зеркального прибора Мартенса.

Все образцы имели высоту, ориентированную по отношению слоеватости, а именно: высота параллельна слоям; высота перпендикулярна слоям и высота под углом 45° к слоям. Величина нагрузки на образец передавалась с интервалами в 50 кг. Согласно графикам, полученным инж. П. К. Мурзиным, зависимость между напряжениями и деформациями при напряжениях от 100 кг/см^2 и выше приближается к прямой. До напряжения 100 кг/см^2 прямая зависимость не наблюдается. Экспериментальные данные, полученные инж. П. К. Мурзиным, представлены табл. 2.

Таблица 2

Расположение высоты образцов к слоям	Времен. сопрог. σ_v кг/см ²		Модуль E кг/см ²	
	от и до	среднее	от и до	среднее
Перпендикулярно	258÷278	272	30800÷35600	32600
Параллельно	205÷250	226	29900÷40800	34600
Под 45°	145÷206	190	25300÷28900	28600

В отношении механических свойств углей других месторождений мы также располагаем весьма ограниченными сведениями. В трудах профессора Л. Б. Левенсона [5] указано на работы, проводившиеся в Днепропетровске под руководством академика А. И. Динника с некоторыми углями Донбасса (пласты „Смоляниновский“ и „Бутовский“) и инж. Бероновским—в Ленинграде—с донецкими антрацитами. В результате этих работ для углей получены величины разрушающего напряжения на сжатие и модуля упругости первого рода. А. А. Песковатский [6] описывает эти опыты и приводит таблицу полученных результатов (см. табл. 3). Автор указывает, что эти опыты в СССР проведены впервые.

В опытах инж. Бероновского получено:

$$\begin{aligned} \text{для угля} & \quad \sigma_v = 20 \div 40 \text{ кг/см}^2 \\ \text{для антрацита} & \quad \sigma_v = 90 \text{ кг/см}^2 \end{aligned}$$

Таблица 3

Место взятия пробы	Верхняя пачка						Нижняя пачка					
	⊥ слоям		вдоль слоев		с боков		⊥ слоям		вдоль слоев		с боков	
	σ_v	E	σ_v	E	σ_v	E	σ_v	E	σ_v	E	σ_v	E
1. Смоляниновский пласт, шахта 12÷18 Буденовского месторождения, 7 восточная лава	17	6700	36	5500	26	6000	48	8500	46	8500	31	12000
2. Бутовский пласт, шахта Бутовка Сталинского месторождения, 16 восточная лава . . .	—	—	—	—	—	—	—	—	43	18600	47	23000

В таблице сохранены обозначения автора. Здесь σ_v —временное сопротивление; E —модуль упругости.

Подробные опыты по испытанию крепости и эластичности угля и других горных пород были проведены инж. О. Мюллером. Он указывает, что при испытании на сжатие кубиков угля в специальной стальной форме, открытой только с одной стороны при давлении в 100 кг/см², наблюдалось отслаивание угля параллельно обнаженной плоскости, а при давлении в 170 кг/см² наступало полное разрушение образца.

При испытании по методу Кармана со всесторонним сжатием образцов получилась следующая зависимость между величиной временного сопротивления угля сжатию и величиной бокового давления (табл. 4).

Таблица 4

Боковое давление кг/см ²	0	250	500	750
Сжатие кг/см ²	200	1250	1700	1930

Из этих цифр следует, что при всестороннем сжатии уголь может выдерживать во много раз большие давления, чем при одностороннем. Далее автор указывает, что зависимость между давлением и деформацией угля в процентах при всестороннем сжатии получилась следующая (табл. 5).

Таблица 5

Давление кг/см ²	200	300	400	500	1000
Деформация %	0,63	0,83	1,08	1,25	2,22

Величина модуля упругости E , полученная из тех же опытов, оказалась равной:

$$E = (0,24 \div 0,557) 10^{11}.$$

О. Флейшер приводит следующие данные о временном сопротивлении угля сжатию (табл. 6).

Таблица 6

Уголь	Времен. сопрог. сжатию кг/см ²		Модуль упругости E кг/см ²	
	от и до	среднее	от и до	среднее
Блестящий	156 ÷ 386	247	20000 ÷ 37200	26520
Полосатый	174 ÷ 385	254	16400 ÷ 38100	25648
Матовый	216 ÷ 390	300	30000 ÷ 47500	36449

Зависимость между временным сопротивлением угля сжатию и временным сопротивлением скалыванию по различным направлениям к напластованию установил проф. М. М. Протождяконов [7] в лаборатории брикетирования МГИ. Им получены следующие результаты (табл. 7).

Таблица 7

Деформация	Усилие I напластованию	Усилие II напластованию	Усилие под 45° к напластованию
Сжатие кг/см ²	88, 130, 188, 220, 224, 262, 283, 318, 396 Среднее 234	40, 62, 63, 75, 90, 100, 114, 115, 121, 126, 135, 142, 144, 148, 156, 173, 178, 178, 264, 335, 356 Среднее 151	26, 26, 29, 32, 40, 42, 48, 56, 72, 78 Среднее 45
Сдвиг кг/см ²	17,4; 30,8; 40,6; 43,2; 44,4; 62,4. Среднее 40,2.	15,4; 16,2; 17,8; 20,2; 21,4; 31,4. Среднее 20,4	20,6

Приняв разрушающее усилие в направлении перпендикулярном к напластованию при сжатии сдвига за 100%, проф. Протодьяконов приводит сравнительную таблицу прочности (табл. 8).

Таблица 8

Деформация	Усилие \perp напластованию в %	Усилие \parallel напластованию в %	Усилие под 45° к напластованию в %
Сжатие	100	65	19
Сдвиг	100	60	33

Все опыты проф. Протодьяконова проведены с углем, взятым из котельной МГИ неизвестного пласта и месторождения. Это до некоторой степени снижает ценность полученных выводов.

Весьма существенное значение в теории ударного перфораторного бурения имеет вопрос о коэффициенте трения угля по стали и угля по углю. Проф. М. М. Протодьяконов [7] приводит ряд значений коэффициентов трения угля по стали. Так, по данным проф. П. С. Кузьмина [8], значения коэффициентов трения угля по стали равны:

$$\begin{aligned} \text{антрацит} & f_{\text{дв}} = 0,29 \\ \text{смолистый уголь} & f_{\text{дв}} = 0,32. \end{aligned}$$

По данным проф. А. С. Ильичева [9] коэффициент трения угля по стали при движении и покое имеет следующее значение (табл. 9).

Таблица 9

Источник	f покоя	f движения
По Скленару	0,4÷0,5	0,35
По Марьусу	0,5	0,2
По Кюпперсу	0,4	0,3
По Л. Б. Левенсону для подмос- ковного угля	0,42÷0,63	—

Инж. В. А. Мирон [10] приводит следующие данные о коэффициенте трения покоя и движения угля по железу (табл. 10).

Таблица 10

Источник	Сорт угля	f покоя	f движения
По А. Н. Диннику и Г. А. Скура- тову	антрацит	0,84	0,29
	бурый уголь	1,00	0,58
	мелкий уголь	0,84	0,32
	смолистый уголь	0,84	0,32
По Е. Ф. Меллеру	антрацит	0,24÷0,3	—
	уголь	0,35÷0,6	—

Значение $f_{\text{движ}}$ по Е. Ф. Меллеру может быть принято, как

$$f_{\text{движ}} = 0,75 f_{\text{покоя}}.$$

Проф. В. И. Белов [11] принимает для угля $f_{\text{движ}} = 0,4$.

Наконец, проф. М. М. Протодьяконов [7] провел серию опытов над углем на сконструированном им приборе. При этом он определял значение коэффициента трения движения при различных нагрузках от 5 до 30 кг. Им получены самые разнообразные значения без каких либо закономерностей. В табл. 11 приведены средние значения из 5 замеров при каждой нагрузке.

Таблица 11

Пласт	Коэффициент трения при нагрузке (кг)						Среднее
	5	10	15	20	25	30	
Фоминский	0,07	0,07	0,10	0,11	0,11	0,10	0,10
Ремовский	0,04	0,12	0,17	0,17	0,14	0,13	0,13
Майдановский	0,13	0,19	0,19	0,17	0,17	0,11	0,16
Хрустальный	0,26	0,13	0,16	0,19	0,18	0,17	0,18

Доктор технических наук, проф. В. М. Огиевский [12] приводит термические параметры ряда горных пород, в том числе и каменного угля. Определение теплопроводности и температуропроводности горных пород производилось в лабораторных условиях методом охлаждения испытываемых образцов в аэродинамической трубе с вынужденным потоком воздуха. Точность определения колебалась в пределах:

для теплопроводности $5 \div 8\%$
 для температуропроводности $3 \div 5\%$
 для удельной теплоемкости $4 \div 6\%$

В табл. 12 мы приводим данные, относящиеся только к каменному углю.

Таблица 12

№ п. п.	Горные породы	Объемный вес	Термические параметры		
			Теплоемкость a	Температуропроводность	Теплопроводность
1	Бурый уголь Челябинского месторождения	1210	0,270	6,65	0,218
2	Бурый уголь Коркинского месторождения	1202	0,273	6,59	0,216
3	Каменный уголь Карагандинского месторождения	1275	0,252	7,15	0,230
4	Каменный уголь Кизеловского месторождения	1346	0,244	7,18	0,238
5	Антрацит Егоршинского месторождения	1440	0,226	8,64	0,282

Здесь $a = \frac{\lambda}{c\gamma}$; где a — коэффициент температуропроводности;

λ — коэффициент теплопроводности;
 c — удельная теплоемкость;
 γ — объемный вес (плотность).

Проф. В. М. Огиевский установил, что на температурные параметры влияет пористость пород: чем она больше, тем ниже теплопроводность

и температуропроводность, и наоборот. Большое значение также имеет влажность, с увеличением которой теплопроводность пород возрастает.

Вопрос о твердости каменных углей разработан крайне слабо. В нашем распоряжении имеется только одна работа, посвященная этой проблеме [13]. В этой работе определялась твердость подмосковных углей основных типов, на приборе „Склероскоп Шора“. Результаты приведены в табл. 13.

Таблица 13

Наименование углей	Твердость по Шору		
	минимальная	максимальная	средняя
Сапропелиты			
Богхеды	45	60	53
Полубогхеды	35,5	49,1	40,5
Гумиты			
Полублестящие	31,1	37,3	35,2
Полуматовые-гумусовые			
Однородные	32,1	40,0	35,97
Штриховатые	32,3	37,4	34,24
Полосчатые	32,5	36,1	34,6
Слоистые	31,1	34,9	33,65
Матовые			
Однородные	23,2	32,9	27,7
Штриховатые	24,7	35,2	29,06
Полосчатые	26,5	33,0	30,1
Слоистые	26,9	31,8	29,2

В заключение обзора необходимо указать на способ, предложенный А. В. Яценко [14] для определения крепости угля путем выкалывания его из забоя особым рычажным прибором (авторское свидетельство № 127242 5/VI—34). Выкалывание производится коротким плечом рычага, которое заводится в скважину, пробуренную под 45° к поверхности угля. Автор предлагает считать за показатель крепости угля усиление в килограммах, приходящееся на 1 см линии наименьшего сопротивления, когда плоскость забоя перпендикулярна к направлению кливажа, а прибор устанавливается перпендикулярно к плоскости напластования пласта. К сожалению, никаких опытных данных в статье нет. Нет этих данных и вообще ни в одной из работ.

Подводя итоги всего вышеизложенного, можно прийти к выводу о том, что вопрос исследования физико-механических свойств каменного угля находится в зачаточном состоянии. Имеющиеся самые разнообразные значения тех или иных показателей не дают возможности сделать какое-либо обобщение, с целью использования их в практике расчета и конструирования перфораторов ударного бурения. Кроме этого, в отношении ряда характеристик свойств каменного угля, таких как твердость, пластичность, упругость, коэффициент Пуассона, релаксационные свойства, модуль касательной упругости, вообще никаких данных не имеется.

Каменноугольные пласты шахт Кузнецкого бассейна в этом отношении представляются совершенно неисследованными. Все это дает нам основание поставить ряд экспериментальных исследований над каменными углями

Кузбасса. Мы ставим перед собой задачу выяснить следующие физико-механические свойства каменного угля:

1. Временное сопротивление угля растяжению.
2. Временное сопротивление угля сжатию.
3. Временное сопротивление угля сдвигу.
4. Модуль нормальной упругости E при сжатии.
5. Значение коэффициента Пуассона μ .
6. Связь между пределами прочности различных деформаций.
7. Временное сопротивление угля кручению.
8. Модуль касательной упругости G при кручении.
9. Пластические свойства каменного угля и его релаксационные качества.
10. Коэффициент трения угля по стали и угля по углю.
11. Твердость угля—статическая и динамическая.

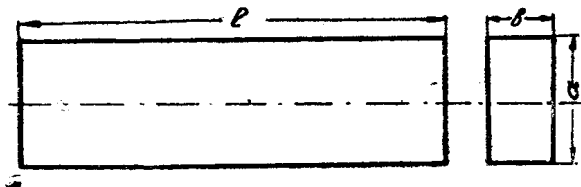
Для этой цели мы исследовали угли Кузнецкого бассейна: Анжеро-Судженского района, Ленинского района, Прокопьевско-Киселевского района, Хакасский.

Кроме того, мы имели в своем распоряжении Черемховский каменный уголь.

Вся экспериментальная работа проводилась в лаборатории кафедры сопротивления материалов Томского политехнического института им. С. М. Кирова. Ниже мы приводим данные наших исследований с подробным описанием методики проведения работы. Весь экспериментальный цифровой материал указан в протокольной части работы.

Временное сопротивление углей Кузбасса растяжению

Для определения предела прочности углей растяжению нами были изготовлены образцы, имеющие размеры: $a = 60$ мм; $b = 20$ мм; $l = 200$ мм. Схема образцов показана на фиг. 1. Опыты производились на машине системы Амслера мощностью в 2000 кг. Ввиду того, что каменный уголь при деформации растяжения разрушается хрупко, определить значения модуля



Фиг. 1

нормальной упругости и предела пропорциональности не представляется возможным. В силу этого мы ограничились определением только предела прочности и лишь с целью сравнения прочности углей сопротивлению сжатию и сопротивлению растяжению. Результаты опытов сведены в табл. 14.

Сравнивая значения σ_s растяжения со значением σ_s сжатия, можно вывести заключение о том, что каменные угли всех месторождений Кузбасса имеют очень незначительное сопротивление растяжению.

Таблица 14

(сила II напластованию)

Уголь	№ образца	Размеры образца см			Площадь сечения F см ²	Разрушающая сила P кг	σ_b кг/см ²	Среднее σ_b
		a	b	l				
Анжеро-Судженский	1	6,0	2,0	20	12	74,0	6,2	6,75
	2	—	—	—	12	87,0	7,3	
Ленинский	1	—	—	—	12	126,0	10,5	10,15
	2	—	—	—	12	118,0	9,8	
Прокопьевский	1	—	—	—	12	146,0	12,2	12,5
	2	—	—	—	12	153,0	12,8	
Хакасский	1	—	—	—	12	120,0	9,9	10,0
	2	—	—	—	12	121,0	10,1	
Черемховский	1	—	—	—	12	136,0	11,4	11,0
	2	—	—	—	12	127,0	10,6	

Таблица 15

(сила II напластованию)

Уголь	$\sigma_{в\ раст}$	$\sigma_{в\ сжат}$	$\frac{\sigma_{в\ раст}}{\sigma_{в\ сжат}}$
Анжеро-Судженский	6,75	49,4	13,65
Ленинский	10,15	47,6	21,3
Прокопьевский	12,5	212,1	5,89
Хакасский	10,0	47,9	20,85
Черемховский	11,0	36,6	29,9

Испытание каменных углей Кузбасса на деформацию сжатия

В механической лаборатории кафедры сопротивления материалов Томского политехнического института из полученных нами углей были изготовлены образцы для испытания их на сжатие. Все образцы, принятые к испытанию, имели размеры кубиков $25 \times 25 \times 25$ мм. Необходимо отметить, что точных размеров достичь было очень трудно, в силу чего наблюдались у некоторых образцов отклонения в ту или другую сторону в пределах $1-2$ мм. Подсчет предела прочности таких образцов был обработан путем пересчета на случай кубика с размерами $25 \times 25 \times 25$ мм.

Определение предела прочности угля на сжатие

Уголь	№ образца	Размеры образца мм			Площадь сечения	Разруш. нагрузк. Р кг	Параллель- но напласт- тованию		Перпендик. напласт- ованию		Под углом 45°	
		b	a	h			σ_b	средн.	σ_b	средн.	σ_b	средн.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Анжеро-Судженский	1	25	25	25	6,25	400	64		—	—	—	—
	2	25	25	25	6,25	340	54,4		—	—	—	—
	3	25	25	25	6,25	200	32,0		—	—	—	—
	4	25	25	25	6,25	181	28,9		—	—	—	—
	5	25	25	25	6,25	457	73,1		—	—	—	—
	6	25	25	25	6,25	260	41,6	49,4	—	—	—	—
	7	25	25	25	6,25	395	63,2		—	—	—	—
	8	25	25	25	6,25	253	41,3		—	—	—	—
	9	25	25	25	6,25	400	64,0		—	—	—	—
	10	25	25	25	6,25	336	53,8		—	—	—	—
	11	25	25	25	6,25	195	31,2		—	—	—	—
	12	25	25	25	6,25	283	46,9		—	—	—	—
Анжеро-Судженский	1	25	25	25	6,25	600	—	—	96			
	2	25	25	25	6,25	317	—	—	50,7			
	3	25	25	25	6,25	475	—	—	77,0			
	4	25	25	25	6,25	630	—	—	101,0			
	5	25	25	25	6,25	570	—	—	91,3			
	6	25	25	25	6,25	342	—	—	55,0	75,6		
	7	25	25	25	6,25	325	—	—	52,1			
	8	25	25	25	6,25	454	—	—	72,7			
	9	25	25	25	6,25	508	—	—	81,4			
	10	25	25	25	6,25	605	—	—	96,9			
	11	25	25	25	6,25	348	—	—	55,7			
	12	25	25	25	6,25	492	—	—	78,6			
Анжеро-Судженский	1	25	25	25	6,25	289	—	—	—	—	46,2	
	2	25	25	25	6,25	226	—	—	—	—	36,2	
	3	25	25	25	6,25	195	—	—	—	—	31,3	38,1
	4	25	25	25	6,25	280	—	—	—	—	44,8	
	5	25	25	25	6,25	203	—	—	—	—	32,5	
Ленинский	1	25	25	25	6,25	391	62,5					
	2	25	25	25	6,25	318	50,9					
	3	25	25	25	6,25	222	35,6					
	4	25	25	25	6,25	437	70,0					
	5	25	25	25	6,25	320	51,2					
	6	25	25	25	6,25	210	33,6	47,6				
	7	25	25	25	6,25	250	40,0					
	8	25	25	25	6,25	243	38,9					
	9	25	25	25	6,25	315	50,4					
	10	25	25	25	6,25	276	44,2					
	11	25	25	25	6,25	292	46,7					
	12	25	25	25	6,25	300	48,1					

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Ленинский	1	25	25	25	6,25	565	—	—	90,6	103,8		
	2	25	25	25	6,25	785	—	—	125,5			
	3	25	25	25	6,25	957	—	—	153,1			
	4	25	25	25	6,25	771	—	—	123,5			
	5	25	25	25	6,25	760	—	—	121,8			
	6	25	25	25	6,25	500	—	—	80,0			
	7	25	25	25	6,25	496	—	—	77,5			
	8	25	25	25	6,25	580	—	—	92,8			
	9	25	25	25	6,25	632	—	—	101,0			
	10	25	25	25	6,25	715	—	—	114,2			
	11	25	25	25	6,25	560	—	—	89,6			
	12	25	25	25	6,25	500	—	—	80,1			
	1	25	25	25	6,25	250	—	—	—	—	40,1	53,0
	2	25	25	25	6,25	280	—	—	—	—	44,7	
	3	25	25	25	6,25	356	—	—	—	—	53,0	
	4	25	25	25	6,25	392	—	—	—	—	62,8	
	5	25	25	25	6,25	400	—	—	—	—	64,0	
Проконьевский	1	25	25	25	6,25	1250	200	212,1				
	2	25	25	25	6,25	1280	205					
	3	25	25	25	6,25	1238	198					
	4	25	25	25	6,25	1180	189					
	5	25	25	25	6,25	1450	232					
	6	25	25	25	6,25	1500	240					
	7	25	25	25	6,25	1350	216					
	8	25	25	25	6,25	1245	199					
	9	25	25	25	6,25	1260	202					
	10	25	25	25	6,25	1560	250					
	11	25	25	25	6,25	1360	217					
	12	25	25	25	6,25	1240	198					
	1	25	25	25	6,25	1550	—	—	248	250,2		
	2	25	25	25	6,25	1600	—	—	256			
	3	25	25	25	6,25	1780	—	—	278			
	4	25	25	25	6,25	1530	—	—	242			
	5	25	25	25	6,25	1440	—	—	230			
	6	25	25	25	6,25	1370	—	—	219			
	7	25	25	25	6,25	1530	—	—	245			
	8	25	25	25	6,25	1360	—	—	218			
	9	25	25	25	6,25	1620	—	—	259			
	10	25	25	25	6,25	1720	—	—	282			
	11	25	25	25	6,25	1670	—	—	267			
	12	25	25	25	6,25	1580	—	—	254			
	1	25	25	25	6,25	890	—	—	—	—	142	167,1
	2	25	25	25	6,25	870	—	—	—	—	139	
	3	25	25	25	6,25	960	—	—	—	—	154	
	4	25	25	25	6,25	1260	—	—	—	—	202	
	5	25	25	25	6,25	1240	—	—	—	—	198	

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Хакасский	1	25	25	25	6,25	390	62,5	47,9				
	2	25	25	25	6,25	330	52,8					
	3	25	25	25	6,25	210	33,6					
	4	25	25	25	6,25	191	30,6					
	5	25	25	25	6,25	407	65,1					
	6	25	25	25	6,25	270	43,2					
	7	25	25	25	6,25	306	49,0					
	8	25	25	25	6,25	268	41,3					
	9	25	25	25	6,25	400	64,1					
	10	25	25	25	6,25	326	52,2					
	11	25	25	25	6,25	215	34,4					
	12	25	25	25	6,25	290	46,4					
Хакасский	1	25	25	25	6,25	560	—	—	89,6	69,7		
	2	25	25	25	6,25	337	—	—	53,9			
	3	25	25	25	6,25	400	—	—	64,1			
	4	25	25	25	6,25	600	—	—	96,1			
	5	25	25	25	6,25	520	—	—	83,2			
	6	25	25	25	6,25	300	—	—	52,8			
	7	25	25	25	6,25	315	—	—	50,5			
	8	25	25	25	6,25	420	—	—	67,2			
	9	25	25	25	6,25	480	—	—	76,7			
	10	25	25	25	6,25	520	—	—	83,2			
	11	25	25	25	6,25	340	—	—	54,4			
	12	25	25	25	6,25	400	—	—	63,9			
	1	25	25	25	6,25	270	—	—	—	—	43,2	38,1
	2	25	25	25	6,25	236	—	—	—	—	37,8	
	3	25	25	25	6,25	215	—	—	—	—	34,4	
	4	25	25	25	6,25	260	—	—	—	—	41,6	
	5	25	25	25	6,25	210	—	—	—	—	33,6	
Черемховский	1	25	25	25	6,25	210	33,6	36,6				
	2	25	25	25	6,25	250	40,1					
	3	25	25	25	6,25	150	24,0					
	4	25	25	25	6,25	270	43,2					
	5	25	25	25	6,25	300	48,0					
	6	25	25	25	6,25	265	42,4					
	7	25	25	25	6,25	190	30,4					
	8	25	25	25	6,25	180	28,8					
	9	25	25	25	6,25	195	31,3					
	10	25	25	25	6,25	200	32,0					
	11	25	25	25	6,25	250	40,1					
	12	25	25	25	6,25	280	44,8					
Черемховский	1	25	25	25	6,25	820	—	—	131,0	148,3		
	2	25	25	25	6,25	1500	—	—	245,0			
	3	25	25	25	6,25	930	—	—	148,5			
	4	25	25	25	6,25	800	—	—	128,0			
	5	25	25	25	6,25	900	—	—	143,8			
	6	25	25	25	6,25	795	—	—	127,1			
	7	25	25	25	6,25	1000	—	—	160,0			
	8	25	25	25	6,25	940	—	—	150,1			
	9	25	25	25	6,25	860	—	—	137,5			
	10	25	25	25	6,25	790	—	—	126,2			
	11	25	25	25	6,25	940	—	—	150,1			
	12	25	25	25	6,25	830	—	—	132,8			
	1	25	25	25	6,25	420	—	—	—	—	67,2	70,0
	2	25	25	25	6,5	390	—	—	—	—	62,4	
	3	25	25	25	6,25	430	—	—	—	—	68,8	
	4	25	25	25	6,25	500	—	—	—	—	79,9	
	5	25	25	25	6,25	450	—	—	—	—	72,0	

При изготовлении образцов было уделено большое внимание на заправку торцов, так как от этого зависит степень равномерности распределения сжимающей силы по площадям торцов. Образцы изготовлялись таким образом, что высота их по отношению к напластованию располагалась либо параллельно, либо перпендикулярно, либо под углом 45°. Из каждого сорта угля изготовлено по 29 образцов, из них 12 параллельно напластованию, 12 перпендикулярно напластованию и 5 образцов под углом 45° (по отношению к высоте).

Испытание производилось на двухтонной машине системы Амслера. Результаты опытов сведены в табл. 16.

Ниже мы приводим таблицу средних значений предела прочности (табл. 17).

Таблица 17

Уголь	Предел прочности сжатию σ_B		
	Перпендикулярно напластованию	Параллельно напластованию	Под углом 45°
Авжоро-Судженский	75,6	49,4	38,2
	100 %	65,3%	50,5%
Ленинский	103,8	47,6	53,0
	100 %	45,8%	51,1%
Прокопьевский	250,2	212,1	167,1
	100%	84,8%	66,8%
Хакасский	69,7	47,9	38,1
	100%	68,6%	54,6%
Черемховский	148,3	36,6	70,0
	100%	24,6%	47,1%

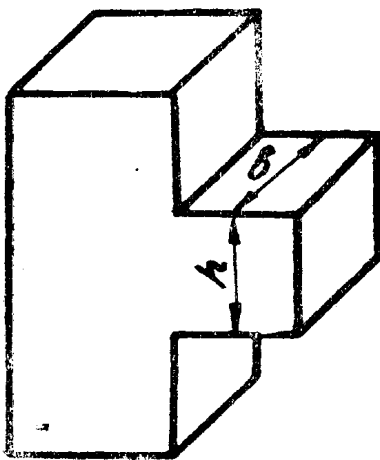
Анализ этой таблицы показывает, что из исследованных нами углей Кузбасса наиболее прочным оказался уголь Прокопьевского месторождения. Установлено также то обстоятельство, что наибольшая прочность угля соответствует случаю расположения силы перпендикулярно напластованию. Необходимо отметить, что угли Черемховского месторождения хорошо сопротивляются действующим силам в направлении перпендикулярном напластованию и очень плохо сопротивляются силе параллельной напластованию. В этом случае Черемховский уголь расслаивается при незначительном пределе прочности. Если принять предел прочности сжатию Прокопьевского угля за 100%, то остальные угли располагаются в следующей последовательности, по их пределам прочности сжатию (табл. 18).

Таблица 18

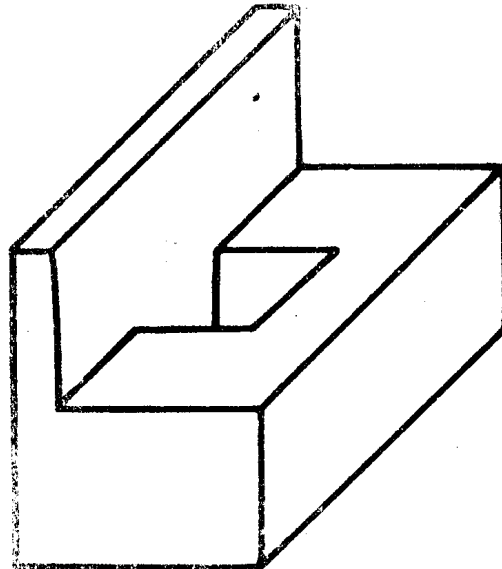
Уголь	Предел прочности σ_b		
	Перпендикулярно напластованию в %	Параллельно напластованию в %	Под углом 45° в %
Прокопьевский	100	100	100
Анжеро-Судженский	30,2	23,3	22,8
Ленинский	41,6	22,5	31,7
Хакасский	27,9	22,6	22,8
Черемховский	59,4	17,3	41,8

Испытание каменных углей Кузбасса на сопротивление сдвигу

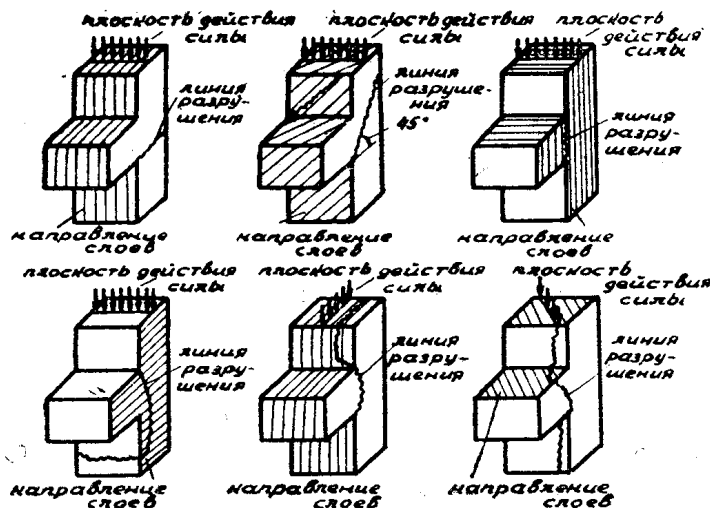
Сопротивление угля сдвигу определялось на образцах, изготовленных по форме, показанной на фиг. 2. Размеры образцов выдерживались около следующих значений: $a = 20$ мм, $b = 20$ мм, $h = 20$ мм. Из каждого сорта угля было изготовлено по 4 образца, из которых два имели высоту h параллельно напластованию и два перпендикулярно напластованию. Для осуществления сдвига был изготовлен прибор, показанный на фиг. 3.



Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4

Образец своей нижней частью вставлялся в отверстие прибора, а на верхнюю часть образца передавалось усилие, которое и производило скалывание выступающей части образца по длине h . Результаты опытов сведены в табл. 19.

Таблица 19

Уголь	N	Размеры		F см ²	P кг	II слоям		I слоям	
		b	h			τ кг/см ²	$\tau_{\text{средн}}$	τ кг/см ²	$\tau_{\text{средн}}$
Анжеро - Судженский	1	2,24	2,03	4,66	72	15,4	16,15	—	—
	2	2,12	2,10	4,46	80	17,9			
	3	2,00	2,10	4,20	112	—	—	26,7	25,0
	4	2,16	2,12	4,58	106	—	—	23,2	
Ленинский	1	2,00	2,00	4,00	76	19,0	19,5	—	—
	2	2,10	2,08	4,18	82	20,0			
	3	2,08	2,16	4,50	100	—	—	22,2	26,65
	4	2,20	2,00	4,40	128	—	—	29,1	
Прохопьевский	1	1,95	2,18	4,28	160	37,4	34,8	—	—
	2	1,96	2,00	3,92	126	32,2			
	3	2,10	1,90	4,00	166	—	—	41,5	41,4
	4	2,20	2,10	4,62	190	—	—	41,2	
Хакасский	1	2,3	1,9	4,38	90	20,5	20,5	—	—
	2	2,2	1,9	4,18	86	20,5			
	3	2,0	2,1	4,20	120	—	—	28,6	28,6
	4	2,1	2,2	2,62	132	—	—	28,6	
Черемховский	1	2,08	2,08	4,34	40	9,2	10,1	—	—
	2	2,10	2,08	4,36	48	11,0			
	3	2,12	2,10	4,46	116	—	—	26,0	28,6
	4	1,96	2,00	3,92	122	—	—	31,1	

При испытании мы наблюдали, что образцы, у которых направление h совпадало с направлением наслоения, давали срез—вдоль слоев; для образцов, у которых направление h было перпендикулярно наслоению, как правило, разрушение происходило по плоскости, направленной примерно под углом 45°. Схемы разрушений показаны на фиг. 4.

Мы считаем необходимым привести сравнительную таблицу пределов прочности при сжатии и сдвиге (табл. 20).

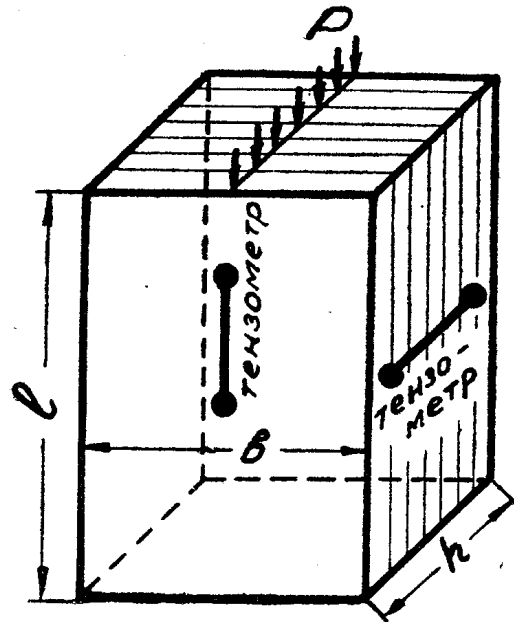
Таблица 20

Уголь	II напластованию		I напластованию		Среднее значение в %
	$\sigma_{сжат.}$	$\tau_{сдв.}$	$\sigma_{сжат.}$	$\tau_{сдв.}$	
Анжеро-Судженский	49,4	16,15	75,6	25,0	30
	100%	32,8%	100%	33,1%	
Ленинский	47,6	19,5	103,8	26,65	25
	100%	40,9%	100%	25,7%	
Прокопьевский	212,1	34,8	250,2	41,4	16
	100%	16,4%	100%	16,6%	
Хакасский	47,9	20,5	69,7	28,6	41
	100%	41,8%	100%	41,2%	
Черемховский	36,6	10,1	148,3	28,6	20
	100%	27,6%	100%	19,3%	

Определение модуля нормальной упругости E углей Кузбасса

Для определения модуля нормальной упругости каменного угля были изготовлены образцы, имеющие форму, показанную на фиг. 5. Все испытания производились на двухтонной машине системы Амслера. Измерительными приборами для деформаций являлись тензометры Хугенбергера с ценой деления в 1 микрон. Опыты производились с целью определить также значение коэффициента Пуассона для каменного угля, поэтому на ряде образцов устанавливалось по 2 тензометра: один параллельно плоскости действия силы, а другой перпендикулярно направлению действующей силы. Таким образом, нами замерялось как абсолютное изменение размеров вдоль оси образца, так и изменение поперечного размера.

В табл. 21 приведены значения цифрового материала, полученного в результате опытов. Данные этих материалов могут быть оформлены в виде ряда графиков, подобных изображенному на фиг. 6 и 7 (таблица приложена к



Фиг. 5

Таблица 21

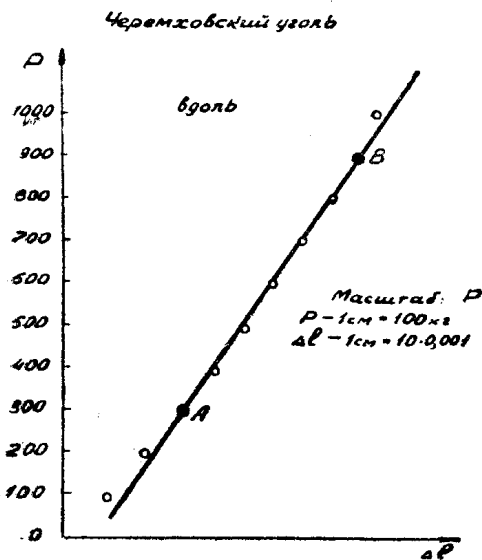
№ п. п.	Уголь	Размер образца мм			На- груз- ка Р _{кг}	Отсчет по тексометру		Значение E кг см ²	Зна- чение μ
		l	b	h		вдоль	поперек		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Анжеро-Судженский	64,6	23	27,6	0	0	0	45000	0,23
					50	8	10		
					100	19	10		
					150	24	2,5		
					200	37	3,0		
					250	48	4,6		
					300	58	5,4		
					350	69	6,7		
					400	80	7,8		
					450	91	8,9		
					500	100			
$E = \frac{300 \cdot 64,6 \cdot 1000}{67 \cdot 23 \cdot 27,6} = 45000$									
$\varepsilon = \frac{91}{1000 \cdot 64,6} = 0,0014$									
$\varepsilon' = \frac{8,9}{1000 \cdot 27,6} = 0,00032$									
$\mu = 0,23$									
2	Анжеро-Судженский	65,2	22,0	28,0	0	0	—	39900	—
					50	7	—		
					100	11	—		
					150	16	—		
					200	27	—		
					250	46	—		
					300	55	—		
					350	70	—		
					400	82	—		
					450	96	—		
					500	102	—		
$E = \frac{300 \cdot 65,2 \cdot 1000}{80 \cdot 22 \cdot 0,28,0} = 39900$									
3	Анжеро-Судженский	60,0	22,0	30,0	0	0	—	38100	—
					50	8	—		
					100	16	—		
					150	20	—		
					200	35	—		
					250	46	—		
					300	54	—		
					350	67	—		
					400	80	—		
					450	92	—		
					500	103	—		
$E = \frac{300 \cdot 60 \cdot 1000}{72 \cdot 22 \cdot 30,0}$									

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
1	Ленинский	61,8	22,2	38,2	0	0	0	38300	0,17	$= 41000 \text{ кг/см}^2$			
										$E = \frac{350 \cdot 61,8 \cdot 1000}{66,6 \cdot 22,2 \cdot 38,2} = 38300$	50	18	1,0
										$\varepsilon = \frac{126}{1000 \cdot 61,8} = 0,00204$	100	32	2,1
										$\varepsilon' = \frac{12,9}{1000 \cdot 38,2} = 0,00034$	150	48	3,2
										$\mu = 0,17$	200	60	4,3
											250	72	5,5
											300	82	6,9
											350	92	8,0
											400	102	9,2
											450	112	10,4
											500	120	11,5
	550	126	12,9										
	600	136	14,0										
2	Ленинский	61,7	23,0	28,4	0	0	—	36800					
										$E = \frac{200 \cdot 61,7 \cdot 1000}{51,6 \cdot 23,0 \cdot 28,4} = 36800$	50	10	—
											100	26	—
											150	34	—
											200	50	—
											250	62,6	—
											300	71	—
3	Ленинский	61,7	22,2	30,2	0	0	—	32200					
										$E = \frac{200 \cdot 61,7 \cdot 1000}{57,1 \cdot 22,2 \cdot 30,2} = 32200$	50	10,0	—
											100	22,1	—
											150	32,2	—
											200	50,6	—
											250	67,2	—
											300	72,0	—
4	Ленинский	62,0	23,0	29,5	0	0	0	39300	0,168				
										$E = \frac{250 \cdot 62,0 \cdot 1000}{58,0 \cdot 23,0 \cdot 29,5}$	50	9,0	1,0
										$\varepsilon = \frac{67}{1000 \cdot 62} = 0,00108$	100	18,0	2,1
										$\varepsilon' = \frac{5,45}{1000 \cdot 29,5} = 0,00018$	150	27,0	3,2
										$\mu = 0,168$	200	40,0	3,9
											250	59,9	4,3
											300	67,0	5,45
	350	78,0	—										

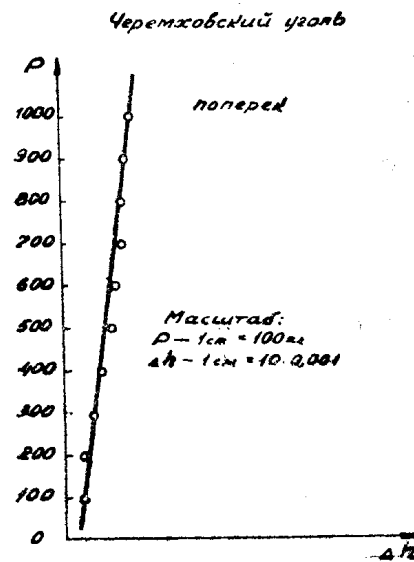
$$E = 36650 \text{ кг/см}^2$$

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	Черемховский	70,5	30,0	60,0	0	0	—		
					100	8	—		
					200	16	—		
					300	24	—		
					400	32	—	52600	
					500	40	—		
					600	44	—		
					700	51	—		
					800	60	—		
					900	62	—		
					1000	70	—		
					$E = \frac{700 \cdot 70,5 \cdot 1000}{52 \cdot 30,0 \cdot 60,0} = 52600$				
3	Черемховский	75,0	30,0	60,0	0	0	—		
					100	9	—		
					200	17	—		
					300	26	—		
					400	34	—		
					500	42,5	—	60400	
					600	47	—		
					700	53,5	—		
					800	62,0	—		
					900	65,5	—		
					1000	72	—		
					$E = \frac{700 \cdot 75,0 \cdot 1000}{48,5 \cdot 30,0 \cdot 60,0} = 60400$				
					нагрузка \perp слоям				

$$E = 60430 \text{ кг/см}^2$$



Фиг. 6



Фиг. 7

данной работе). Значение модуля нормальной упругости определялось по известной формуле:

$$E = \frac{(P_A - P_B) l}{(\Delta l_A - \Delta l_B) F}, \quad (1)$$

где P_A и P_B — значения силы для интервала прямой Гука между точками A и B ,
 Δl_A и Δl_B — соответствующие деформации в этих точках,
 F — площадь сечения образца,
 l — длина образца до опыта.

Как средние значения модулей нормальной упругости, для различных сортов каменного угля, мы рекомендуем значения, приведенные в табл. 22.

Таблица 22

№	Наименование угля	Значение E кг/см ²
1	Анжеро-Судженский .	41000
2	Ленинский	36650
3	Хакасский	37530
4	Черемховский	60430

↓ слоям

Примечание: При исследовании каменных углей Хакасского месторождения нами обнаружено, что эти угли дают хорошую относительную продольную деформацию и почти не дают поперечной деформации, т. е. ведут себя подобно пробке.

Коэффициент Пуассона, для Хакасских углей, определенный для 5 случаев, показал значение, не превышающее 0,05.

Определение коэффициента Пуассона μ для каменного угля

В литературе до сих пор совершенно нет никаких данных о значениях коэффициента Пуассона и модуля касательной упругости каменных углей, тогда как все врубовые машины работают по принципу резания угля и фактически имеют дело со сдвигом угля. Для точного определения сопротивления каменного угля сдвигу совершенно необходимо знание величины модуля сдвига G . Мы решили произвести в этом направлении некоторые исследования. С помощью тензометров Хугенбергера нам удалось замерить поперечное сжатие каменного угля при испытании его на продольное сжатие. В табл. 23 показана обработка результатов опытов по определению коэффициента Пуассона.

Таблица 23

Наименование каменного угля	Размер образца в мм			Нагрузка II слоям P кг	Δl	$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$	Δa	$\varepsilon' = \frac{\Delta a}{a}$	μ
	a	b	l						
Анжеро-Судженский	23	27,6	64,6	500	0,091	0,00145	0,0089	0,00032	0,23
Ленинский	30,2	32,2	74,5	450	0,0814	0,00109	0,00595	0,000185	0,17
Хакасский	36,0	36,3	53,4	700	0,0892	0,00165	0,00301	0,000083	0,05
Черемховский . . .	30,7	59,3	80,7	↓ 1000 слоям	0,074	0,0009	0,0155	0,00026	0,29

Сила ↓ слоям

Используя значения указанных выше коэффициентов Пуассона и значения модуля нормальной упругости E по известной формуле теории упругости, связывающей значение модулей нормальной и касательной упругости

$$G = \frac{E}{2(1 + \mu)}, \quad (2)$$

мы подсчитали значения G для некоторых каменных углей. Значения эти показаны в табл. 24.

Таблица 24

Уголь	E кг/см ²	ν	G кг/см ²
Анжеро-Судженский . . .	41000	0,23	16600
Ленинский	36650	0,17	15680
Хакасский	37530	0,05	17850
Черемховский	60430	0,29	23400

Полученные значения коэффициентов Пуассона ν и модуля касательной упругости G мы не имеем возможности, из-за отсутствия литературных источников, сравнить с какими-либо иными их значениями. В качестве проверки мы ставим в дальнейшем задачу об определении G несколькими способами.

Модуль касательной упругости каменного угля

Опыты по определению модуля касательной упругости G проведены на приборе конструкции старшего преподавателя кафедры сопротивления материалов Томского политехнического института Коняхина И. Р., любезно предоставленном в наше распоряжение. Описание и методы работы на приборе инж. Коняхина И. Р. изложены в его работе [15].

Принципиальная схема прибора показана на фиг. 8.

Нами испытаны два сорта углей: Черемховский и Ленинский. Образцы изготовлены в форме цилиндров с диаметром $d = 19$ мм и длиной для Черемховского каменного угля $l = 47$ мм,

а для Ленинского каменного угля $l = 60$ мм. В обоих случаях диаметр валика, на котором поставлено зеркало прибора, имел значение $d_0 = 17,5$ мм.

Угол закручивания определяется по формуле

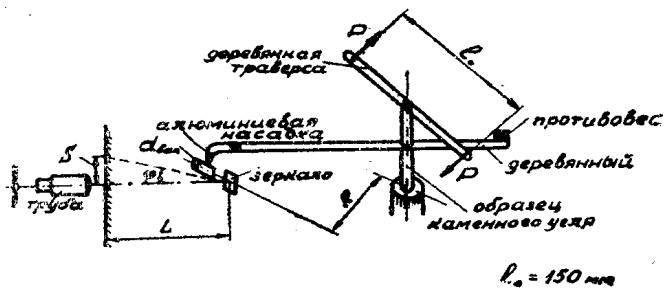
$$\varphi = \frac{S \cdot d_0}{2L L_0}, \quad (3)$$

где S — отсчет по рейке,
 L_0 — приведенная длина рычага прибора = 579 мм,
 L — расстояние от зеркала до рейки = 1500 мм,
 d_0 — диаметр валика зеркала = 17,5 мм.

Модуль касательной упругости G определен по известной формуле

$$G = \frac{M_{кр} I}{I_p \varphi}. \quad (4)$$

Схема прибора инж. Коняхина



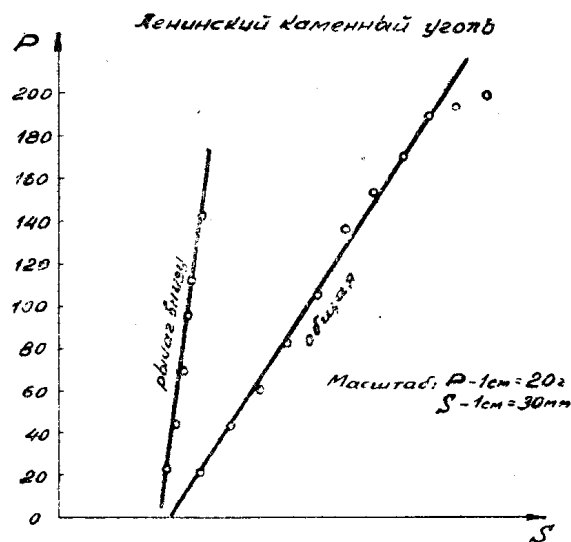
Фиг. 8

Ниже приводится табл. 25, в которой показаны результаты опытов с образцом из Ленинского каменного угля.

Таблица 25

Рычаг вверх		Рычаг вниз	
P	отсчет	P	отсчет
0	80	0	70
23	100	24	75
46	120	46	80
62	140	70	85
84	160	96	90
106	180	114	95
138	200	142	100
154	220		
170	240		
184	260		
196	280		
200	300		

Так как в процессе испытания, очевидно, возможно упругое смещение испытываемого образца в месте заделки (внизу), то мы произвели двойное испытание при положении рычага вверх, а также при положении рычага вниз образца. В расчет принята разность показаний.



Фиг. 9

По данным табл. 25 построен график фиг. 9. Модуль G определен для точки „А“ диаграммы

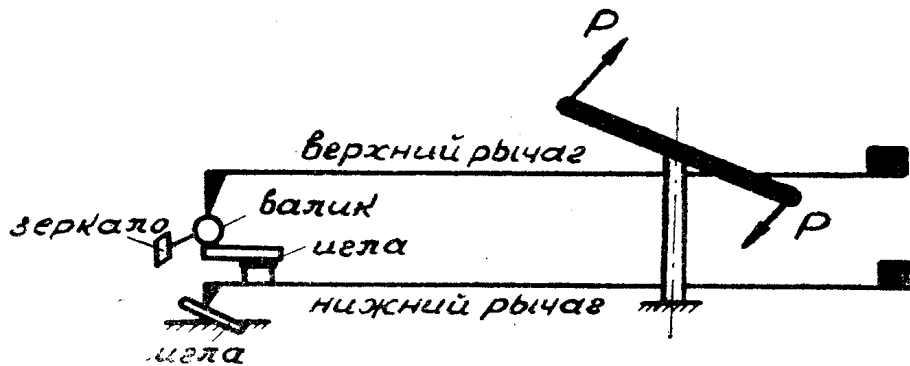
$$\varphi = \frac{S \cdot d_s}{2L \cdot L_0} = \frac{140 \cdot 17,5}{3000 \cdot 579} = 0,00138$$

$$M_{кр} = 0,18 \cdot 15 \text{ кг/см},$$

$$l = 6 \text{ см},$$

$$G = \frac{M_{кр} l}{I_p \varphi} = \frac{0,18 \cdot 15 \cdot 6}{1,28 \cdot 0,00138} = 9160 \text{ кг/см}^2.$$

Чтобы избежать постановки рычага вверх и вниз образца по очереди, нами был изменен порядок работы, а именно, ставились одновременно два рычага, как показано на схеме (фиг. 10). Зеркало прибора по-



Фиг. 10

мещалось между рычагами. Это позволяло нам сразу брать отсчет для определения угла закручивания верхнего сечения по отношению к нижнему. В табл. 26 приведен результат опыта с Черемховским каменным углем.

Таблица 26

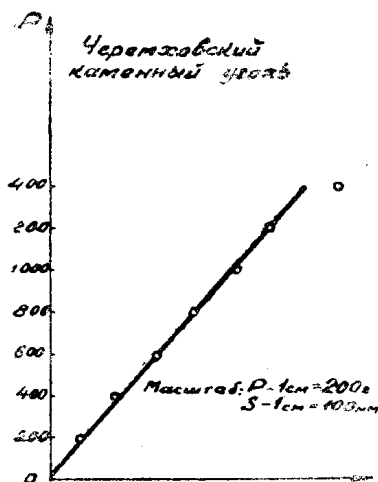
$P_{гр}$	0	200	400	600	800	1000	1200	1400
$S_{мм}$	0	67	157	250	346	443	516	684

На фиг. 11 показан график опыта

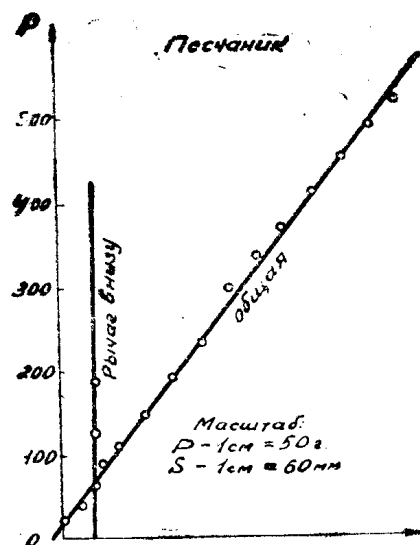
$$\varphi = \frac{S \cdot d_s}{2L \cdot L_0} = 0,0052$$

$$M_{кр} = P \cdot l_0 = 1,2 \cdot 15 = 18 \text{ кг/см}$$

$$G = \frac{M_{кр} \cdot l}{I_p \varphi} = \frac{18 \cdot 6,0}{0,0052 \cdot 1,28} = 16200 \text{ кг/см}^2$$



Фиг. 11



Фиг. 12

Так как песчаник является преобладающей породой, среди которой залегают каменноугольные пласты Кузбасса, то мы решили определить значение модуля касательной упругости G для песчаника. С этой целью был изготовлен цилиндрический образец $d = 19$ мм и $l = 40$ мм. Образец испытан на указанном выше приборе и результаты сведены в табл. № 27, по данным которой построен график фиг. 12.

Таблица 27

Рычаг вверх		Рычаг вниз	
$P_{гр}$	отсчет мм	$P_{гр}$	отсчет мм
0	-20	0	50
25	0	70	51
45	20	130	52
95	60	190	53
110	80	—	—
145	120	—	—
190	160	—	—
230	200	—	—
300	240	—	—
335	280	—	—
370	320	—	—
410	360	—	—
450	400	—	—
490	440	—	—
520	480	—	—

$$\varphi = \frac{Sd_{вал}}{2L \cdot L_0}$$

В данном опыте $d_{вал} = 0,7$ см. Приведенная длина рычага $L_0 = 582$ мм.

$$\varphi = \frac{400 \cdot 0,7}{3000 \cdot 582} = 0,00016$$

$$M_{кр} = P \cdot l_0 = 0,45 \cdot 15 = 6,75 \text{ кг/см}$$

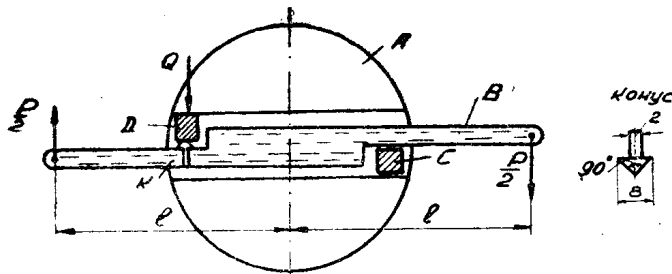
$$G = \frac{M_{кр} l}{I_p \cdot \varphi} = \frac{0,45 \cdot 15 \cdot 4}{0,00016 \cdot 1,28} = 134500 \text{ кг/см}^2.$$

Об упруго-пластических свойствах каменного угля

Для установления зависимости между нагрузкой и пластической деформацией каменного угля, мы отказались от проведения опытов на прессе Гагарина, как это было сделано в нашей работе с металлами [16]. Причиной этого является то обстоятельство, что при вдавливании шарика, даже $d = 2,5$ мм, на прессе Гагарина не удается достичь плавного увеличения малых нагрузок. Это приводит к росту нагрузок скачками и невозможно произвести отсчеты. Одновременно с этим каменный уголь при вдавливании шарика при нагрузках $P = 40-50$ кг дает трещину и образец выходит из строя. Масштаб нагрузки на прессе Гагарина при $P = 1000$ кг, как известно, равен 2 кг в 1 делении. Такой масштаб слишком велик для испытания каменного угля. В силу этого мы отказались от применения прессы Гагарина и использовали установку инж. Коняхина И. Р., с его согласия, сделав в ней небольшое приспособление, показанное на фиг. 13.

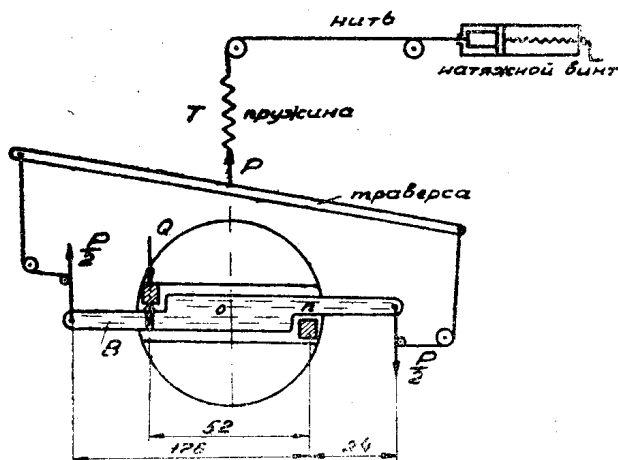
Здесь: *A* — цилиндр с вырезом параллельно его диаметру,
B — рычаг из закаленной стали, свободно лежащий в вырезе,
C — стальная подушка для опоры рычага *B*,
D — испытанный образец каменного угля,
K — конус из хромоникелевой стали, закаленный без отпуска,
 с углом $= 90^\circ$.

Нагрузка *P* передавалась на рычаг *B* через траверсу по схеме, указанной на фиг. 14. На поверхность рычага *B* опирается длинный рычаг *N*, изготовленный из легкого дерева, оканчивающийся алюминиевой на-



Фиг. 13

садкой, опирающейся на валик зеркала (фиг. 15). При приложении к пружине *T* нагрузки *P* рычаг *B* вокруг опоры *n* поворачивается. Вместе с рычагом *B*, под действием собственного веса, поворачивается и рычаг *N*, приводя тем самым во вращение валик зеркала. В оптическую



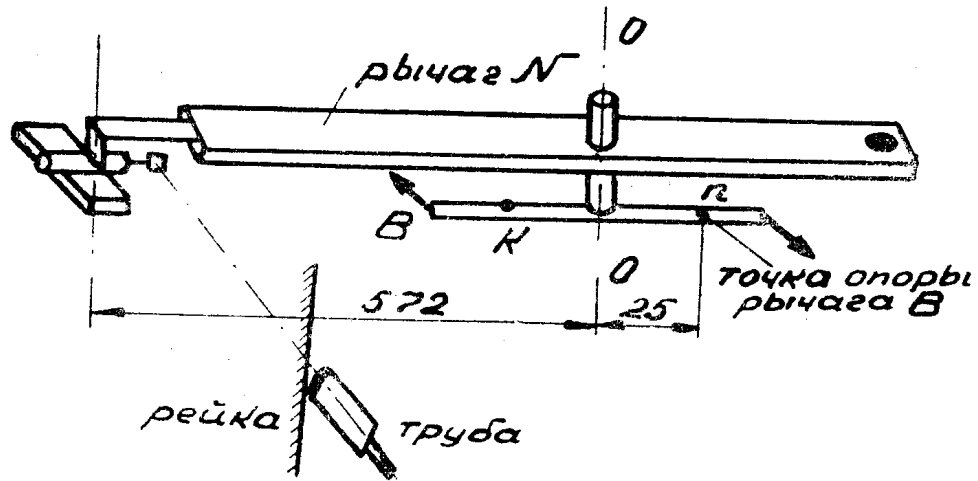
Фиг. 14

трубу по шкале замерялось перемещение зеркала. Диаметр валика зеркала $d_s = 17,5$ мм. Увеличение показаний перемещения рычага вокруг оси вращения, с помощью зеркала, в оптической трубе равно 10000 (вращение около точки 0). Очевидно, что если точкой вращения является точка *n*, то увеличение будет другим, а именно:

$$\lambda = \frac{10000 \cdot (57,2 + 2,6)}{57,2} = 10430$$

При нашем исследовании система рычагов вращалась не вокруг центральной оси OO , а вокруг точки n . Поэтому увеличение перемещения конуса найдется из простого соотношения:

$$\lambda_1 = \frac{\lambda}{5,2} = \frac{10430}{5,2} = 2000.$$



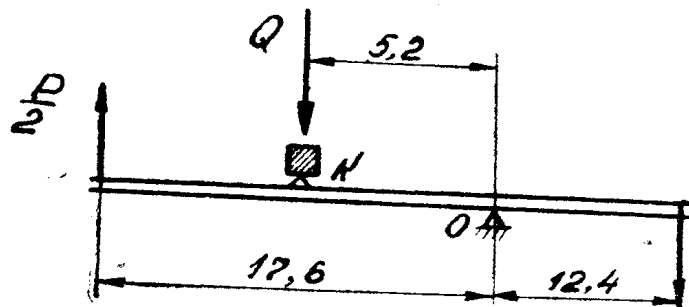
Фиг. 15

Это означает, что 1 мм перемещения луча на шкале соответствует $\frac{1}{2000}$ мм перемещения конуса. Усилие Q , передававшееся образцу, определяется из соотношения плеч рычага B по схеме, показанной на фиг. 16

$$\frac{P}{2} \cdot 17,6 - Q \cdot 5,2 + \frac{P}{2} \cdot 12,4 = 0.$$

$$Q = 2,89 \cdot P$$

С целью ликвидации влияния прибора и обжатия образца было произведено предварительное испытание без конуса в рычаге B . При этом



Фиг. 16

рычаг B опирался плоскостью на один торец образца, а другим торцом образец опирался о цилиндр A . Результаты опыта приведены

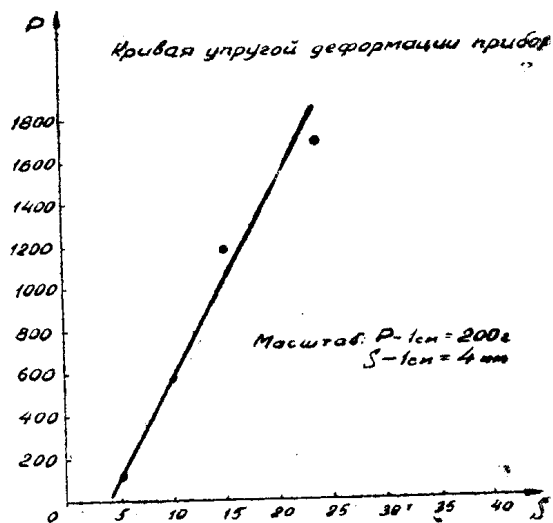
Таблица 28

P_2	0	110	570	1170	1670
$S_{мм}$	0	5	10	15	24

На фиг. 17 показан график этого опыта.

Выяснив таким образом влияние прибора, мы допускаем, что при введении острия конуса в образец каменного угля все эти явления сохраняются и из показаний шкалы необходимо вычитать эти предварительные данные.

Для испытания были изготовлены образцы из каменного угля в форме цилиндра с размерами: $d = 1$ см и $l = 12$ мм. Эти образцы ставились под острие конуса и путем растяжения пружины T , заранее протарированной, на образцы передавалась нагрузка Q , под действием которой конус вдавливался в торцовую поверхность образца. Величина вдавливания, в масштабе увеличения λ^1 , отсчитывалась по шкале. После опыта оптическим микроскопом с ценой деления — 0,005 мм нами рассматривался отпечаток, полученный от вдавливания конуса. При рассмотрении оказалось, что торцовая поверхность образца представляет собой поверхность очень большой неровности. Ясно заметны трещины, выступы и т. д. Среди этих трещин и выступов терялся полученный конический отпечаток. В силу этого все образцы тщательно шлифовались крокусом с маслом по торцовой поверхности. Это обеспечило получение удовлетворительной поверхности. Наблюдение отпечатков показало хорошую видимость конического углубления с ясно выраженной вершиной конуса.



Фиг. 17

В табл. 29 приведены данные опытов над образцами каменного угля.

Таблица 29

Образец	P_r	Загрузка мм	Разгрузка мм	Образец	P_r	Загрузка мм	Разгрузка мм
Черемховский каменный уголь	0	0	160	Ленинский камен- ный уголь	0	30	330
	40	22	241		100	50	385
	80	74	255		200	86	414
	120	116	267		300	137	432
	160	151	277		400	206	447
	200	187	286		500	266	457
	240	226	293		600	305	467
	280	254	298		700	340	472
	320	278	304		800	384	484
	360	310	310		900	430	492
	1000				1000	495	—
Прокопьевский каменный уголь	0	0	268				
	100	3	308				
	200	10	321				
	300	56	330				
	400	112	336				
	500	160	341				
	600	198	344				
	700	235	345				
	800	270	347				
	900	310	350				
1000	356	356					

Отсчеты, указанные в этой таблице, взяты после 10 сек. выдержки, так как мы наблюдали значительное явление текучести угля после приложения нагрузки. На основании данных этой таблицы могут быть построены графики зависимости деформации от нагрузки. На фиг. 18 показан один из подобных графиков.

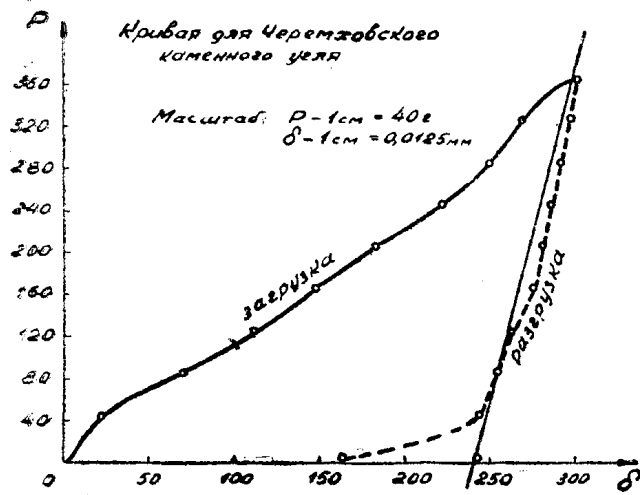
Наличие конического отпечатка, ярко выраженного, позволило нам произвести замер его диаметра. Из шести замеров, произведенных при различных положениях образца, мы установили, что средний диаметр отпечатка

$$d = 0,251 \text{ мм.}$$

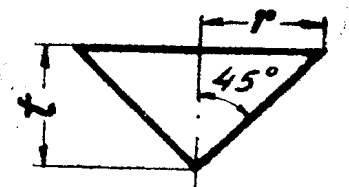
Так как конус имеет при вершине 90° , то из фиг. 19 следует, что:

$$t = r,$$

где t — глубина отпечатка после снятия нагрузки.

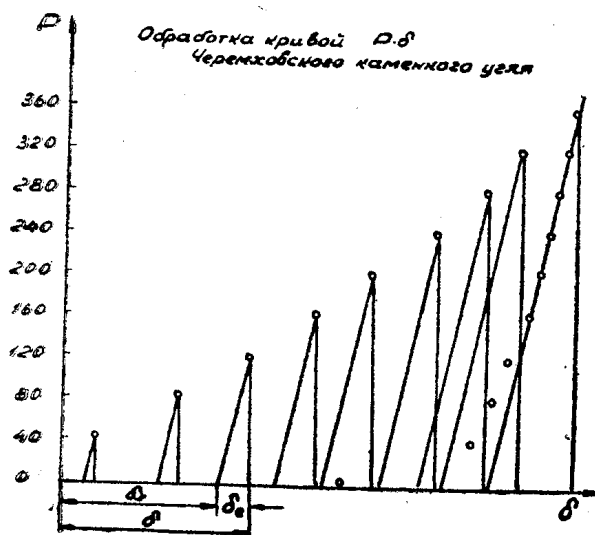


Фиг. 18

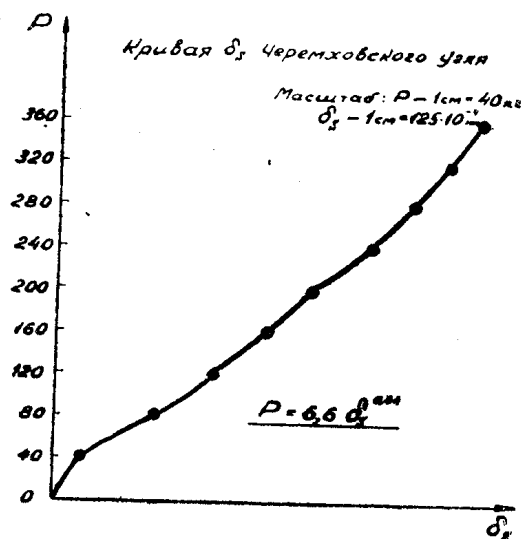


Фиг. 19

На фиг. 18 показана прямая разгрузка, которая отсекает по оси абсцисс деформацию, равную 240 мм по шкале. Зная масштаб увеличения $\lambda_1 = 2000$,



Фиг. 20



Фиг. 21

легко получить действительную глубину конического отпечатка после снятия нагрузки

$$t = \frac{240}{\lambda} = \frac{240}{2000} = 0,12 \text{ мм}$$

Таким образом диаметр отпечатка должен быть равен $d = 2t = 0,24$ мм. Действительное же значение, как видно из результатов опыта, $d = 0,251$ мм. Отклонение незначительное.

Наличие на диаграммах типа фиг. 18 резко изогнутой части кривой разгрузки подтверждает известное положение в том, что каменный уголь в известных пределах не следует закону Гука и лишь после определенной нагрузки наблюдается прямая пропорциональность между нагрузкой и деформацией.

Обработка кривых для получения аналитической зависимости между P и δ_s производилась методом наименьших квадратов так, как это показано в нашей работе [16] для металлов. Результаты этой обработки сведены в табл. 30. Сами графики представлены фиг. 20 и 21.

Таблица 30

x	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9
$125 \cdot 10^{-5}$	7	23,5	37	49,5	60	74	83,5	92	99
$\xi = Lgx$	0,845	1,371	1,568	1,694	1,778	1,869	1,921	1,964	1,995

$$\bar{\xi} = \frac{\sum Lgx}{n} = 1,667$$

$\xi - \bar{\xi}$	0,822	0,296	0,099	-0,027	-0,111	-0,202	-0,254	-0,297	-0,328
$(\xi - \bar{\xi})^2$	0,675	0,088	0,009	0,0001	0,012	0,041	0,065	0,088	0,108

$$\sum (\xi - \bar{\xi})^2 = 1,138$$

	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5	y_6	y_7	y_8	y_9
y	40	80	120	160	200	240	280	320	360
$\eta = Lgy$	1,602	1,903	2,079	2,204	2,301	2,380	2,447	2,505	2,556

$$\bar{\eta} = \frac{\sum Lgy}{n} = 2,219$$

$\bar{\eta} - \eta$	0,617	0,316	0,140	0,015	-0,082	-0,161	-0,228	-0,286	-0,337
$(\bar{\eta} - \eta)(\xi - \bar{\xi})$	0,506	0,094	0,138	-0,0004	0,009	0,032	0,058	0,025	0,110

$$\sum (\bar{\eta} - \eta)(\xi - \bar{\xi}) = 1,032$$

Уравнение связи нагрузки P с пластической деформацией каменного угля имеет вид:

$$P = 6,6 \delta_s^{0,84} \quad (6)$$

(Черемховский каменный уголь).

$$p = \frac{\Sigma(\bar{\eta} - \eta)(\bar{\xi} - \xi)}{\Sigma(\bar{\xi} - \xi)^2} = 0,84$$

$$q = \bar{\eta} - p\bar{\xi} = 2,219 - 0,84 \cdot 1,667 = 0,819$$

$$\text{eg } k = q = 0,819; k = 6,6$$

$$P = 6,6 \delta_s^{0,84}$$

Проверка: $P = 240$ г.

$$\lg \delta_s = \frac{\lg P - \lg 6,6}{0,84} = \frac{2,380 - 0,819}{0,84} = 1,875$$

$$\delta_s = 74,99, \text{ процента отклонения } \sim 1\%.$$

Коэффициент восстановления при ударе стали по каменному углю

В нашей работе [16] выведена формула для определения коэффициента восстановления при ударе

$$\varepsilon_i = \sqrt{\frac{(n+1) S^{1/n}}{S^{1/n} (n+1) + (k+1) a_0^{1/n} \delta_e^{\frac{k-n}{n}}}}$$

где n , S , a_0 и k коэффициенты уравнений пластических и упругих деформаций, а именно:

$$P = S \delta_s^n \quad (8)$$

$$P = a_0 \delta_e^k \quad (9)$$

Ниже в данной работе нами получено

$$P = 6,6 \delta_s^{0,84} \quad (10)$$

Значения упругих деформаций показаны в табл. 31.

Таблица 31

$\delta_e \cdot 125 \cdot 10^{-5}$ мм

P_r	0	40	80	120	160	200	240	280	320	360
δ_e	0	1.5	4.0	7.0	9.5	12.0	14.0	16.0	18.0	20.0

Способом наименьших квадратов мы обработали кривую, выражающую эту зависимость P и δ_e , и получили уравнение вида

$$P = 25,78 \delta_e^{0,846},$$

где

$$k = 0,846, \quad a_0 = 25,78.$$

Для разрешения уравнения 7 необходимо произвести предварительные расчеты, которые нами показаны для среднего значения нагрузки $P = 200$ г в табл. 32.

Таблица 32

Материал	P_r	$n+1$	S	$S^{1/n}$	$k+1$	a_0	$a_0^{1/n}$	δ_e	$\frac{k-n}{\delta_e \cdot n}$
Каменный уголь	200	1,840	6,6	9,44	1,846	25,78	47,87	12,0	1,018

$$\varepsilon_i = \sqrt{\frac{1,840 \cdot 9,44}{1,840 \cdot 9,44 + 1,846 \cdot 47,87 \cdot 1,018}}$$

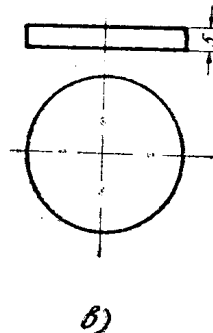
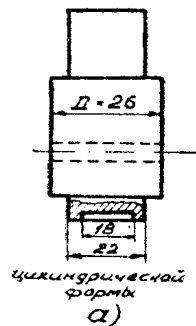
$$\varepsilon_i = 0,403.$$

Сравнить полученный нами коэффициент восстановления при ударе стали о каменный уголь мы не имели возможности из-за отсутствия работ или хотя бы опытных данных в этом направлении.

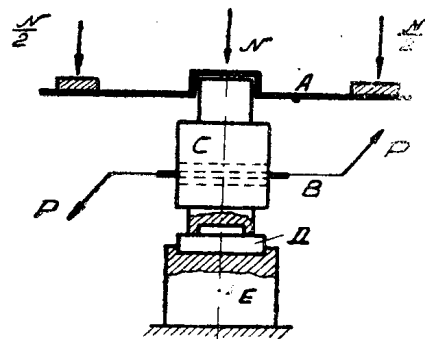
Коэффициент трения стали по каменному углю и угля по углю

Для определения коэффициента трения стали по углю и коэффициента трения угля по углю нами был использован прибор инж. Коняхина И. Р. Для производства опытов были изготовлены из каменного угля Черемховского месторождения и из каменного угля Ленинского месторождения образцы в форме, показанной на фиг. 22 (а и б).

Чтобы исследовать коэффициент трения стали по углю, образец формы а фиг. 22 был изготовлен из стали. Опыт производился при постепенном увеличении нагрузки, до момента срыва, что соответствовало наи-



Фиг. 22



Фиг. 23

большому значению коэффициента трения. Нами замечено, что „временный“ коэффициент трения достигал значения большего, чем отсчет, но существовал он очень непродолжительное время, примерно, 0,1 ÷ 0,5 сек, а затем падал и устанавливался на значениях, указанных в приведенных ниже таблицах. Опыты произведены при увеличении, по шкале оптической установки, равном 10000. Нормальное давление на образец $N = 24,4$ кг, увеличение силы $\lambda = 15$, где P сила, отсчитанная по пружинному динамометру прибора, а 15— масштаб увеличения.

Принципиальная схема опыта показана на фиг. 23, где А—рычаг, передающий нормальную нагрузку N ; В рычаг, — приводящий в движение образец; С—верхний образец стальной или каменноугольный; D—

нижний образец из каменного угля, E —опора с коническим прорезом для затяжки образца D .

Таблица 33
Коэффициент трения стали по Черемховскому каменному углю

P_r	0	100	160	170	270	320	370	420	470	500
$S_{загр}$	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
$S_{разгр}$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0
P_r	540	580	615	640	670	695	720	738	730	738
$S_{загр}$	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95
$S_{разгр}$	60	140	210	290	365	440	510	585	600	—

Разгрузка производилась до предыдущего данному значению отсчета по шкале и замечалась величина силы в данный момент.

Таблица 34
Коэффициент трения Черемховского каменного угля по углю

P_r	0	110	180	240	310	360	420	470	520
$S_{загр}$	0	10	20	30	40	50	60	70	80
$S_{разгр}$	—	—	—	—	—	—	—	0	80
P_r	550	580	600	620	635	635	—	—	—
$S_{загр}$	90	100	110	120	130	140	—	—	—
$S_{разгр}$	170	260	350	440	530	—	—	—	—

Таблица 35
Коэффициент трения Ленинского каменного угля по каменному углю

P_r	70	110	140	170	195	225	245	275	295	315	335	350
$S_{загр}$	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
$S_{разгр}$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0	10
P_r	370	385	405	420	435	445	460	465	475	480	490	490
$S_{загр}$	120	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240
$S_{разгр}$	50	95	130	170	220	265	300	325	365	400	440	—

Таблица 36
Сталь по Ленинскому каменному углю

P_r	0	110	210	300	365	425	470	515	540
$S_{загр}$	0	10	20	30	40	50	60	70	80
$S_{разгр}$	—	—	—	—	—	—	0	30	100
P_r	565	575	580	585	585	—	—	—	—
$S_{загр}$	90	100	110	120	130	—	—	—	—
$S_{разгр}$	180	280	370	470	—	—	—	—	—

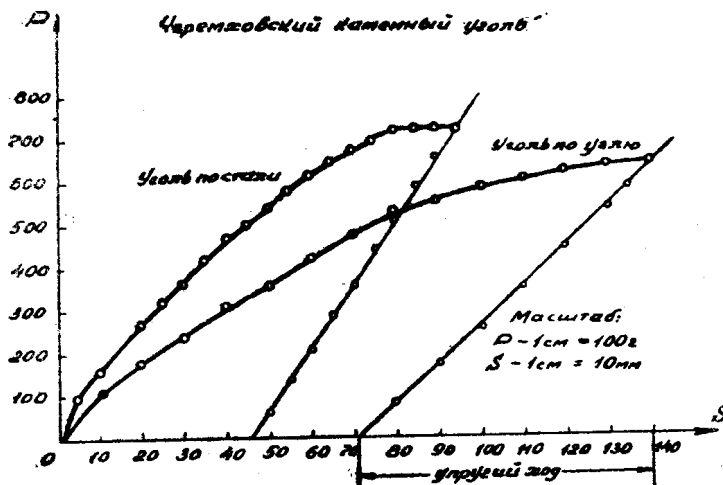
По данным табл. 33—36 построены кривые фиг. 24 и 25.

Значение коэффициента трения, соответствующего моменту срыва, определялось по формуле

$$f = \frac{T}{N} \quad (11)$$

Сталь по Черемховскому каменному углю

$$f = \frac{T}{N} = \frac{0,738 \cdot 15}{24,4} = 0,454$$



Фиг. 24

Черемховский каменный уголь по углю

$$f = \frac{T}{N} = \frac{0,635 \cdot 15}{24,4} = 0,391$$

Сталь по Ленинскому каменному углю

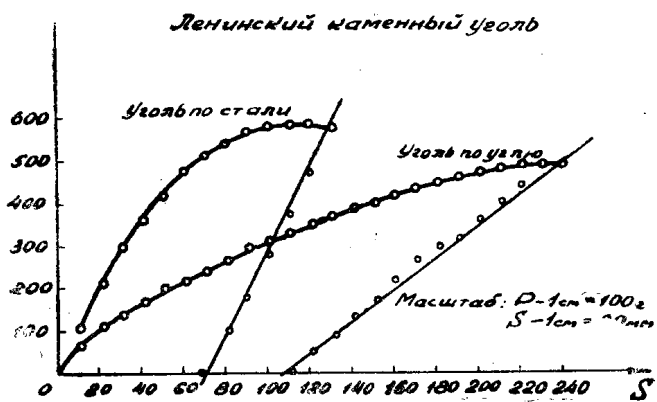
$$f = \frac{T}{N} = \frac{0,585 \cdot 15}{24,4} = 0,359$$

Ленинский каменный уголь по углю

$$f = \frac{T}{N} = \frac{0,490 \cdot 15}{24,4} = 0,328$$

Нами вводится новое понятие „коэффициент упругости“, представляющий собой отношение силы к упругому ходу

$$k = \frac{T}{S_{упр}} \quad (12)$$



Фиг. 25

Под упругим ходом мы понимаем перемещение образца при разгрузке от P_{max} до 0. Учитывая масштаб увеличения по шкале, равный 10000, будем иметь сталь по Черемховскому каменному углю

$$k = \frac{0,785 \cdot 15 \cdot 10000}{4,9} = 24000 \text{ кг/см.}$$

Черемховский каменный уголь по углю

$$k = \frac{0,635 \cdot 15 \cdot 10000}{6,8} = 14000 \text{ кг/см}$$

Ленинский каменный уголь по углю

$$k = \frac{0,49 \cdot 15 \cdot 10000}{6,6} = 11120 \text{ кг/см}$$

Сталь по Ленинскому каменному углю

$$k = \frac{0,585 \cdot 15 \cdot 10000}{3,65} = 24100 \text{ кг/см}$$

Твердость каменного угля

(Статическая и ударная)

Удачное разрешение вопроса изучения поведения каменного угля при загрузке и разгрузке его, наличие ясно выраженного конического отпечатка, возможность замера диаметра отпечатка,—позволило нам поставить вопрос об определении твердости каменного угля методом вдавливания конуса при сравнительно малых нагрузках от 0—360 г. Методика проведения испытания изложена нами ниже. Сила, действующая на образец при вдавливании конуса, определялась по формуле 5

$$Q = 2,89 P. \quad (5)$$

Нагрузка $P = 360$ г определялась ходом микрометрического натяжного винта (см. фиг. 14). Диаметр отпечатка конуса замерялся по 2 направлениям (взаимно-перпендикулярным) и в расчет принималось среднее значение диаметра. Было произведено по 5 опытов над образцами из каждого сорта угля.

Таблица 37

Каменный уголь	Среднее значение диаметра отпечатка					Принятый диаметр
	I	II	III	IV	V	
Черемховский	0,25	0,26	0,25	0,25	0,26	0,254
Прокопьевский	0,24	0,25	0,24	0,23	0,24	0,24
Ленинский	0,27	0,28	0,27	0,26	0,28	0,272

Значение статической твердости определялось по формуле

$$H_k = \frac{Q}{F_k}, \quad (13)$$

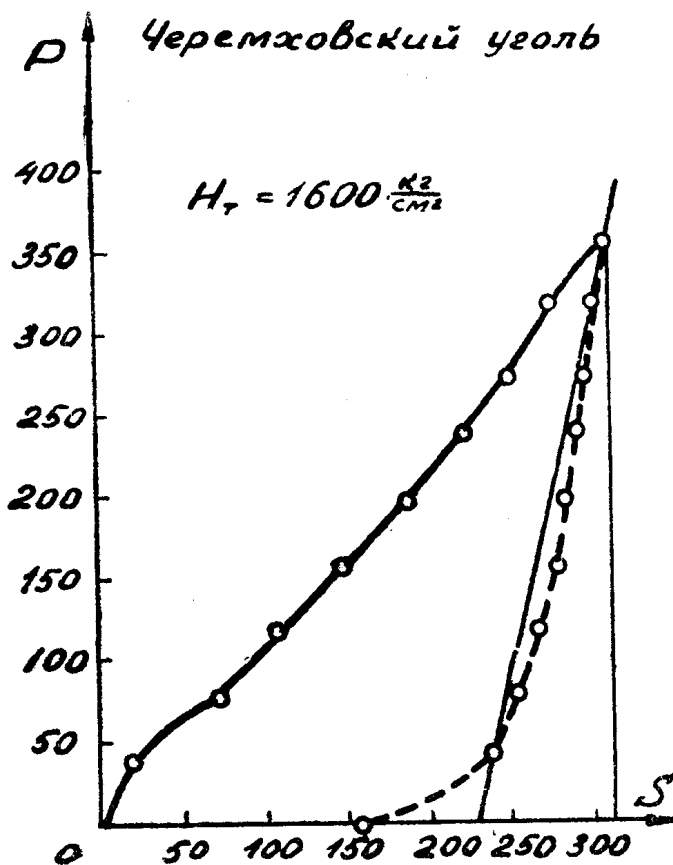
где Q — наибольшая нагрузка на образец,
 F_k — площадь конического отпечатка после снятия нагрузки.

Черемховский уголь $H_k = \frac{2,89 \cdot 360 \cdot 4}{3,14 \cdot 0,254^2} = 20,5 \text{ кг/мм}^2$

Прокопьевский уголь $H_k = \frac{2,89 \cdot 360 \cdot 4}{3,14 \cdot 0,24^2} = 22,9 \text{ кг/мм}^2$

Ленинский уголь $H_k = \frac{2,89 \cdot 360 \cdot 4}{3,14 \cdot 0,272^2} = 17,8 \text{ кг/мм}^2$

Одновременно с этим мы вводим новую характеристику, определяющую статическую твердость каменного угля, которую предлагаем назвать модулем твердости H_T . Под этим термином мы подразумеваем величину



Фиг. 26

отношения ординаты нагрузки к абсциссе упругой деформации смещения после снятия нагрузки.

Черемховский уголь

$$H_T = \frac{0,36 \cdot 2,89 \cdot 2000}{125} = 1600 \text{ кг/см}^2$$

Прокопьевский уголь

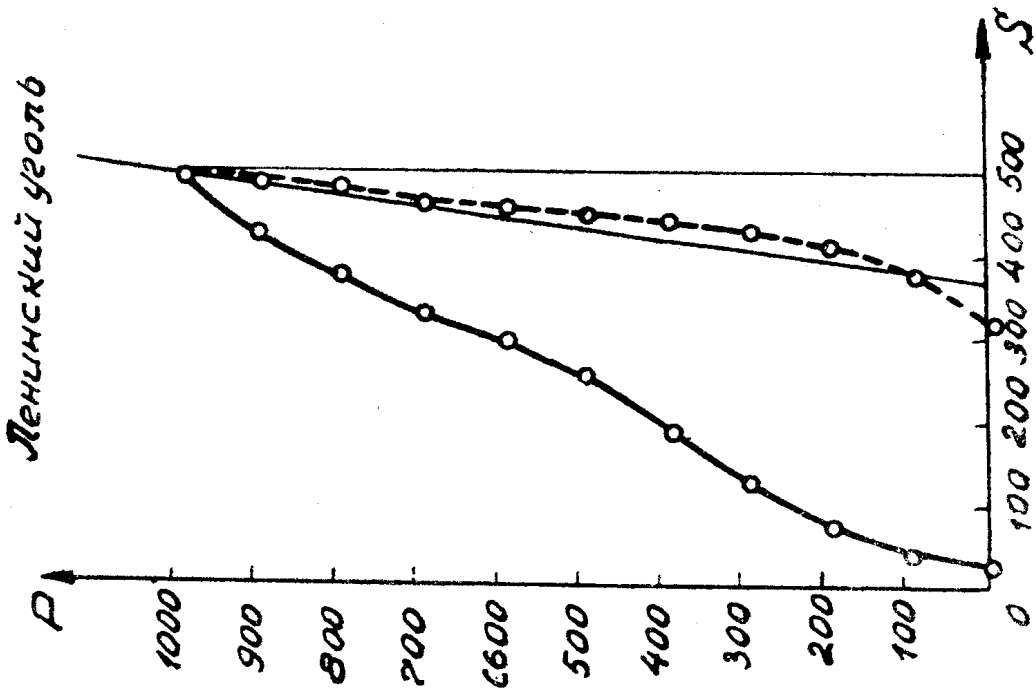
$$H_T = \frac{0,36 \cdot 2,89 \cdot 2000}{55} = 3770 \text{ кг/см}^2$$

Ленинский уголь

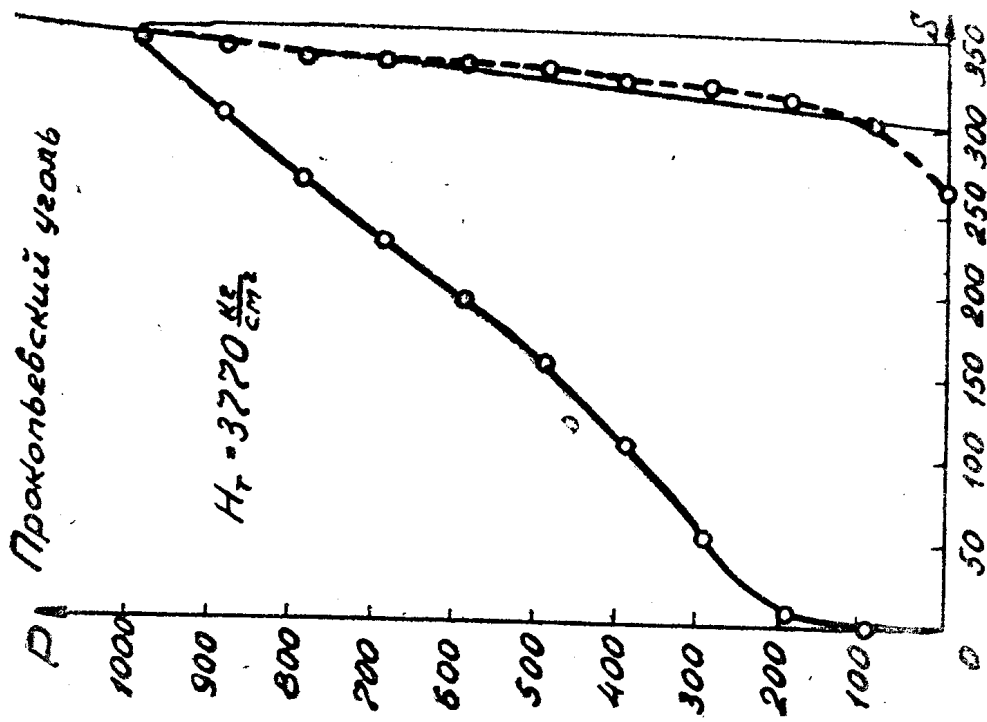
$$H_T = \frac{0,36 \cdot 2,89 \cdot 2000}{120} = 1725 \text{ кг/см}^2$$

Здесь 2000 — масштаб увеличения (см. фиг. 26—28).

Переходим теперь к вопросу определения ударной твердости каменного угля.



Фиг. 28



Фиг. 27

Ударная твердость

Многочисленные опыты, проведенные рядом исследователей: Гольдшмидт, Кузнецов, Левенсон-Лессинг [17], Шрейнер [18], Эпштейн [19] и другими, показали, что метод вдавливания шарика на прессе Бринеля или конуса и шарика на дюрометре Роквелла для испытания большинства горных пород и, в частности, каменных углей, совершенно не применим. Метод вдавливания призмы был применен для некоторых пород Е. Ф. Эпштейном [19]. Метод затухания маятника Герберта был использован в научно-исследовательской работе П. А. Ребиндера [20]. Е. Ф. Эпштейн дал формулу для определения твердости вдавливанием призмы

$$R_z = \frac{P}{S}, \quad (14)$$

где P — давление, R_z — твердость.

$$S = 2h \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} b, \quad (15)$$

где h — глубина погружения призмы,
 α — угол заострения,
 b — ширина призмы.

Л. А. Шрейнер [18] пришел к выводу, что обычно из-за отсутствия простых и удобных методов твердость горных пород не определяется, тогда как она имеет для горной промышленности исключительно большое значение, ибо по существу она является единственным критерием прочности пород. Им же показано, что измерить твердость хрупких тел, особенно каменного угля, вдавливанием конусов, призм, шариков невозможно.

Мы поставили задачу определить твердость каменного угля не путем вдавливания конуса, а посредством испытания угля конусом при действии на него живой силы.

Для определения ударной твердости каменного угля нами был изготовлен прибор, показанный на фиг. 29. Основной деталью этого прибора является конус из закаленной стали с углом конусности в 90° . Отпечатки, полученные от удара конусом, были хорошо заметны и не имели признаков разрушения (ясно было видно под микроскопом наличие конической лунки).

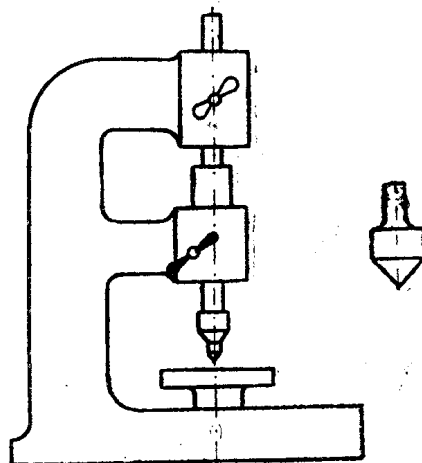
За меру динамической твердости нами принято отношение

$$H_g = \frac{A}{V} = \frac{Q \cdot h}{V}, \quad (16)$$

где H — твердость при ударе,
 h — высота подъема бойка в m ,
 Q — вес бойка в kg ,
 V — объем лунки в cm^3 .

По размерности H_g соответствует ударной вязкости. В нашем случае $Q = 0,842 \text{ кг}$; высота подъема h менялась в пределах от $0,2 \text{ см}$ до $4,22 \text{ см}$. Объем лунки подсчитан по формуле:

$$V = \frac{1}{3} F \cdot t, \quad (17)$$



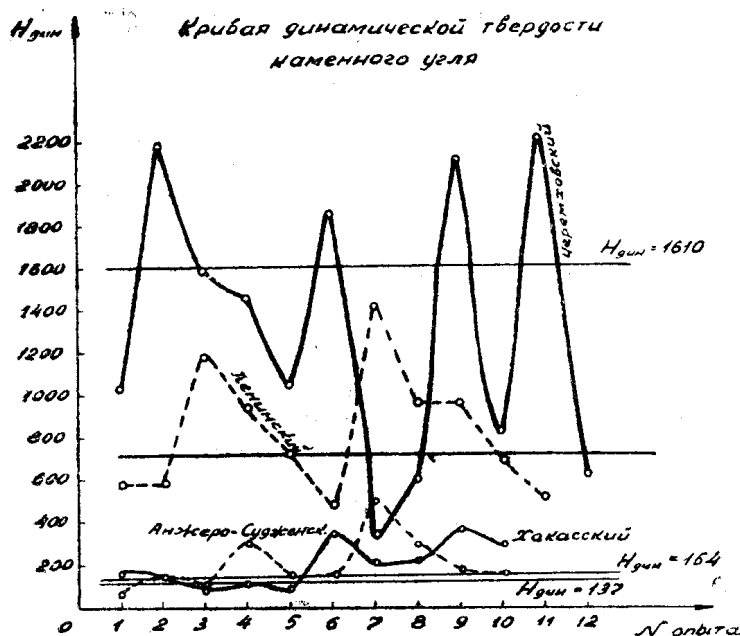
Фиг. 29

где t — глубина и равняется половине диаметра лунки. Диаметр лунки измерялся с помощью мерительного микроскопа системы Бринеля с точностью до 0,005 мм. Испытанию подвергнуты угли: Ленинский, Анжеро-Судженский и Черемховский. Для испытания из этих углей были изготовлены плитки размером $200 \times 100 \times 50$ мм. Эти плитки были тщательно отшлифованы до состояния поверхности без следов кливажных трещин. Результаты испытаний сведены в табл. 38.

Таблица 38

	№ опыта	Q	h	A	d	V	H _g	
	1	2	3	4	5	6	7	8
Анжеро-Судженский	1	0,842	0,02	0,0168	1,1	175.10 ⁻⁶	96,00	220 Среднее без учета значений, отмеченных + 154
	2	—	0,02	0,0168	0,9	95.10 ⁻⁶	177,00	
	3	—	0,02	0,0168	0,95	112.10 ⁻⁶	150,00	
	4	—	0,02	0,0168	0,75	55.10 ⁻⁶	325,00+	
	5	—	0,02	0,0168	0,95	112.10 ⁻⁶	150,00	
	6	—	0,02	0,0168	0,95	112.10 ⁻⁶	150,00	
	7	—	0,04	0,0337	0,8	67.10 ⁻⁶	505,00+	
	8	—	0,04	0,0337	0,45	112.10 ⁻⁶	301,00+	
	9	—	0,04	0,0337	1,1	175.10 ⁻⁶	193,00	
	10	—	0,04	0,0337	1,15	210.10 ⁻⁶	161,00	
Ленинский	1	0,842	0,02	0,0168	0,6	28.10 ⁻⁶	600,0	881 Среднее без учета значений, отмеченных + 715
	2	—	0,02	0,0168	0,6	28.10 ⁻⁶	600,0	
	3	—	0,04	0,0337	0,6	36.10 ⁻⁶	1210,0	
	4	—	0,04	0,0337	0,65	36.10 ⁻⁶	938,0	
	5	—	0,04	0,0337	0,70	45.10 ⁻⁶	748,0	
	6	—	0,044	0,0372	0,85	81.10 ⁻⁶	460,0	
	7	—	0,076	0,0640	0,7	45.10 ⁻⁶	1420,0+	
	8	—	0,076	0,0640	0,8	67.10 ⁻⁶	956,0	
	9	—	0,076	0,0640	0,8	67.10 ⁻⁶	956,0	
	10	—	0,076	0,0640	0,9	95.10 ⁻⁶	675,0	
	11	—	0,105	0,0884	1,1	175.10 ⁻⁶	505,0	
Хакасский	1	0,842	0,02	0,0168	0,9	95.10 ⁻⁶	177,0	201 Среднее без учета значений, отмеченных + 137
	2	—	0,02	0,0168	0,9	95.10 ⁻⁶	177,0	
	3	—	0,02	0,0168	1,1	175.10 ⁻⁶	96,0	
	4	—	0,02	0,0168	0,95	112.10 ⁻⁶	150,0	
	5	—	0,02	0,0168	1,1	175.10 ⁻⁶	96,0	
	6	—	0,02	0,0168	0,7	45.10 ⁻⁶	374,0	
	7	—	0,05	0,0422	1,35	322.10 ⁻⁶	131,0	
	8	—	0,076	0,0640	1,5	520.10 ⁻⁶	119,0	
	9	—	0,132	0,111	1,3	288.10 ⁻⁶	386,0+	
	10	—	0,257	0,217	1,75	700.10 ⁻⁶	310,0+	
Черемховский	1	0,842	0,02	0,0168	0,5	16.10 ⁻⁶	1050	1550 Среднее без учета значений, отмеченных + 1610
	2	—	0,04	0,0337	0,5	16.10 ⁻⁶	2201	
	3	—	0,076	0,0640	0,5	16.10 ⁻⁶	4000+	
	4	—	0,105	0,0884	0,75	55.10 ⁻⁶	1610	
	5	—	0,114	0,0961	0,8	67.10 ⁻⁶	1460	
	6	—	0,164	0,1380	1,0	131.10 ⁻⁶	1050	
	7	—	0,204	0,1720	0,9	95.10 ⁻⁶	1815	
	8	—	0,204	0,172	1,5	520.10 ⁻⁶	331+	
	9	—	0,204	0,172	1,3	288.10 ⁻⁶	598+	
	10	—	0,280	0,236	0,95	112.10 ⁻⁶	2110	
	11	—	0,280	0,236	1,3	288.10 ⁻⁶	822	
	12	—	0,280	0,236	0,9	95.10 ⁻⁶	2480	
	13	—	0,422	0,355	1,65	588.10 ⁻⁶	604+	

Вывод из этих данных можно сделать следующий. Ударная твердость каменного угля в зависимости от работы $A_{уд}$ — выражается графиками, изображенными на фиг. 30.



Фиг. 30

Как средние значения твердости каменного угля при ударе можно принять

Анжеро-Судженский уголь	$H_g = 154$
Ленинский уголь	$H_g = 715$
Хакасский уголь	$H_g = 137$
Черемховский уголь	$H_g = 1610$

Общие выводы

Выполненная нами работа является первой попыткой изучить некоторые физико-механические свойства каменных углей шахт Кузбасса и Черемховского месторождений. В своей работе мы затронули ряд чрезвычайно важных для практики вопросов, как, например, вопрос о модулях нормальной и касательной упругости; вопрос о прочном сопротивлении углей разрушению; вопрос о пластических свойствах углей; вопрос о коэффициенте трения угля по стали и угля по углю; вопрос о статической и динамической твердости углей. Мы показали ряд методов исследований. Особенно большие возможности исследования каменных углей открываются с использованием прибора инж. И. Р. Коняхина. Работа не претендует на то, что она уже решила вопрос, а исходит из основной предпосылки, что сделана только первая попытка решения задачи.

В заключение считаю своим долгом выразить благодарность старшему преподавателю кафедры сопротивления материалов Томского политехнического института тов. Коняхину И. Р. за любезно предоставленный им в наше распоряжение прибор его конструкции, а также доцентам Александрову А. И. и Белицкому А. А. за консультации в процессе разрешения данной работы по вопросам, связанным с геологией каменных месторождений.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Адамс и Гибсон—см. ссылку в работе А. И. Медведко „Механизм разрушения горных пород“.
2. Филиппс—см. ссылку в работе А. И. Медведко.
3. М. В. Классен-Неклюдова. Пластические свойства и прочность кристаллов, 1934.
4. П. К. Мурзин. К вопросу о расчете угледробильных машин. Уголь № 106—107, стр. 123—126, 1934.
5. Проф. Л. В. Левенсон. Машины для обогащения.
6. А. А. Песковатский. Нормальный модуль упругости каменного угля. Уголь № 90—91, стр. 144, 1933.
7. М. М. Протодьяконов. Теория резания угля цепными врубовыми машинами. ОНТИ, НКТП, СССР, стр. 56—69, 1936.
8. Проф. П. С. Кузьмин. Элеваторы, трансмиссии, конвейеры, 1929.
9. Проф. А. С. Ильичев. Теория и расчет рудничных качающихся конвейеров, стр. 7, 1932.
10. Инж. В. А. Миrows. О динамическом режиме работы врубовых машин. Горный журнал № 8, стр. 10, 1934.
11. Проф. В. И. Белов. Аналитическое исследование экономичности работы зубков врубовых машин. Труды Донецкого горн. инст. т. II, стр. 6, 1926.
12. В. М. Огиевский. Термические параметры горных пород и закладочных материалов. Горный журнал № 10, 1949.
13. Н. И. Гвоздева. Угли Подмосковного бассейна и их классификация по физико-механическим свойствам. Углетехиздат, 1948.
14. А. В. Яценко. Рычажный прибор для определения крепости горных пород. Горный журнал № 9, стр. 7—11, 1934.
15. И. Р. Коняхин. Исследование пластических свойств материалов при контактом воздействии поверхностей, 1950.
16. В. П. Шубин. Выяснение закономерностей упруго-пластических местных деформаций и связь их с коэффициентом восстановления при ударе, 1950.
17. Левенсон-Лессинг. Петрография, 1935.
18. Л. А. Шрейнер. Твердость горных пород и ее значение в процессе бурения, 1943.
19. Е. Ф. Эпштейн. Теория бурения и резания горных пород твердыми сплавами, 1939.
20. Л. А. Ребиндер. Доклад на VI съезде физиков, 1928.