

**ВЛИЯНИЕ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ТРАВМАТИЗМ ОТ ОБВАЛОВ И ОБРУШЕНИЙ ПОРОД В ОЧИСТНЫХ ВЫРАБОТКАХ**

В статье приведены результаты исследований влияния литологии и физико-механических свойств горных пород на их обрушаемость. Установлена зависимость травматизма при обвалах и обрушениях пород от типа строения кровли угольных пластов Донбасса.

**INFLUENCE OF MINING AND GEOLOGICAL FACTORS ON INJURIES CAUSED BY ROCK FALLS AND FAILURES AT STOPE**

The article presents results of investigating the influence of lithological and physical mathematical properties of rocks on their ability to fall. The dependent between injuries caused by rock falls and failures and types of roof on Donbass coal seams is determined.

Длительное время одним из основных травмирующих факторов в угольных шахтах является обрушение пород. [1, 2]. Ежегодно от обрушений горных пород в угольных шахтах Украины происходит до 8 тыс. несчастных случаев. В 2001 году в результате травматизма от обвалов и обрушений горной массы погибло 50 чел., в 2002 году 42 горнорабочих и ИТР, в 2003 году 55 чел., в 2004 году 27 чел. Всего за последнее десятилетие по этому опасному фактору в подземных выработках погибло 552 чел., значительно больше, чем при «взрывах газа и пыли», «на шахтном транспорте и подъеме» и др.

Несмотря на снижение коэффициента частоты смертельного травматизма в 2004 году на 1 млн. тонн добытого угля по отрасли до 2,1 (против 2,3 в 2003 г.), уровень производственного травматизма является высоким и требует проведения эффективных мер по его снижению. Это подтверждает актуальность и проблематичность задачи создания безопасных и здоровых условий труда в шахтах.

На решение указанной задачи, а также создание безопасных и здоровых условий труда направлено выполнение «Программы повышения безопасности труда на угольных шахтах», утвержденной постановлением Кабинета Министров Украины 06.07.02 № 939 и изменений к ней (Постановление от 18.02.04 № 186).

Анализ последних достижений и публикаций [1-3] подтверждает необходимость дальнейших исследований механизма и процесса обрушений пород кровли и их влияния на уровень травматизма. Установлено, что на обрушения пород влияет множество факторов горно-геологического и горнотехнического характера [4]. В литературе [5] имеются обобщающие оценки этого влияния на это сложное явление с качественной стороны некоторых факторов (например скорости подвигания очистного забоя). Однако влияния этих факторов на обрушения пород и, соответственно, на травматизм от этого фактора продолжают оставаться не раскрытыми. Одним из таких факторов является литология (тип строения) кровли [3]. Горные породы неоднородны по составу, строению и сложению, что обуславливает неоднородность их физических свойств. Послед-

нее проявляется в разнообразии хрупких разрушений массива или пластических деформаций. Для литологии пород Донбасса характерным является нарушение текстуры и неоднородность состава – переслаивание песчаного и глинистого материала, переслаивание глинистых и обломочных материалов с растительными остатками [6]. В результате горного давления углевмещающие осадочные породы способны разделяться на отдельные слои по плоскостям ослабления, что приводит к потере сцепления между смежными слоями, способствует разрешению и началу вывалообразования пород даже под действием собственного веса слоя при превышении допустимой площади обнажения при конкретном литотипе пород [7].

Для углевмещающих пород Донбасса характерным является анизотропия их механических свойств, которая может быть оценена соотношением прочностных и деформационных характеристик в направлении параллельно слоистости ( $\varphi = \sigma_{p11}/\sigma_{p1}$ ) и перпендикулярно к ней ( $\psi = E_{11}/E_1$ ). Средние значения этих характеристик в зависимости от степени метаморфизма представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Характеристики анизотропии углевмещающих пород Донбасса при различной степени метаморфизма

Марка угля	Песчаники		Алевролиты		Аргиллиты	
	$\varphi$	$\psi$	$\varphi$	$\psi$	$\varphi$	$\psi$
1	2	3	4	5	6	7
Д	1,68	1,26	2,00	1,46	1,88	1,46
Г	1,66	1,35	2,10	1,59	2,04	1,60
Ж	1,52	1,33	2,04	1,47	2,39	1,50
К	1,41	1,18	2,00	1,62	2,04	1,73
ОС,Т	1,42	1,25	2,08	1,70	2,16	1,86
ПА,А	1,36	1,21	2,06	1,56	2,52	1,60

Из табл. 1 следует, что у песчаников соотношение прочностных свойств с возрастанием метаморфизма снижается более чем на 20%, у алевролитов остается практически на одном уровне, у аргиллитов – возрастает в 1,1 раза. Наиболее склонны к обрушению, как установлено экспериментальными исследованиями, [3] породы кровли угольных пластов представленные ложной кровлей. Эти кровли состоят в основном из аргиллитов, углистых аргиллитов, алевролитов неясно слоистых. Между слоем ложной кровли и непосредственной силой сцепления невелики (или совсем отсутствуют) и поэтому при обнажении кровли происходит потеря устойчивости, образования вывалов.

На характер обрушений пород влияет мощность непосредственной кровли, и в основном мощность слагающих ее обособленных слоев. Чем меньше мощность таких обособленных слоев, тем с большей вероятностью происходит обрушение пород [8]. Часто расслоение пород происходит по сплошным прослойкам глинистого, углистого или слюдяного материала или по присыпкам наслоений из этого материала. Нередко при расслоении наблюдается относительное смещение отслоившихся пород в выработанное пространство. В слабых породах при небольшой мощности отдельных слоев (1-12 см) заметное нарушение

контактных связей в слоях происходит при незначительных (1,0-1,5 см / м ширина призабойного пространства) опусканиях кровли. Более мощные слои (около 0,5 м) не всегда разрушаются даже после каждого цикла выемки угля, образующая зависающие консоли длиной до 2,0 м. Исследованиями подтверждено возрастание устойчивости кровли с увеличением ее мощности [3]. Способность пород кровли зависит от минералогического состава материала и цемента, трещиноватости угля, угла встречи линии забоя с направлением естественной трещиноватости [9].

Формальное деление пород кровель угольных пластов на классы по устойчивости [10] не учитывает физических особенностей процессов вывалообразования и не может удовлетворить полностью запросы практики. Например, при аргиллито-алевролитовых породах непосредственной кровли 3-й северной лавы пласта  $l_1$  бывшей шахты им. Н.К. Крупской ПО Лисичанскуголь, отнесенной к среднему типу устойчивости, наблюдалось усиленное «куполение» и коржение. Более того, такие явления при аналогичном типе пород наблюдались даже при частичной закладке выработанного пространства в 1 западной лаве пласта  $l_1$  шахты 3-3 бис бывшей шахты «Сокологоровка» № 3-5 ПО «Первомайскуголь».

Алевролиты часто встречаются как в устойчивых, так и в неустойчивых группах пород кровли. Это подтверждает тот факт, что оценивать способность пород кровли к вывалообразованиям без учета варибельности их свойств не вполне корректно.

При залегании в непосредственной кровле пласта устойчивых пород (известняки, песчаники) явления коржения и куполения наблюдается значительно реже. Наблюдениями установлено сходное поведение кровель при однотипном строении (литологии) их нижних частей. Физические и минерало-петрографические изменения при осадконакоплении пород обуславливают изменения и их механических свойств. В табл. 2 предоставлены результаты испытаний горных пород Донбасса по их типам с учетом степени метаморфизма углей.

Данные табл. 2 подтверждают изменение физико-механических свойств пород в зависимости от степени метаморфизма углей. Предел прочности на сжатие ( $\sigma_{сж}$ ) у песчаников увеличивается в 3 раза, у алевролитов – в 1,7 раза, аргиллитов – в 2 раза, с увеличением степени метаморфизма от марки углей Д до ПА и А. Лабораторными испытаниями образцов пород песчаника и алевролита на сжатие установлена линейная зависимость между прочностными и деформационными характеристиками для крепких пород (песчаников). Для слабых пород такая зависимость не наблюдается (рис. 1-2). Прочностные характеристики ( $\sigma_{сж}$ ) различных типов пород могут «перекрываться», т.е. могут иметь одно и то же значение, в отличие от деформационных (E). Этим подтверждается целесообразность ориентировки на деформационные характеристики типа пород при их отнесении к группе устойчивости.

Для пород кровли угольных пластов Донбасса наиболее характерным является 12 типов их строения (структур) [3]. Распространение их на угольных предприятиях представлено в табл. 3. Наибольшее распространение имеет тип строения 3 – с расположением над угольным пластом аргиллита, а над ним

алевролита. Экспериментальными наблюдениями в шахтах установлено, что именно при таком типе строения кровли имеет место наиболее интенсивное обрушение пород. Для установления влияния типа строения кровли на травматизм от обвалов и обрушений подсчитано среднее значение показателя структуры кровли для каждого производственного объединения, (холдинговой компании) по следующей зависимости

$$T_{cp} = \frac{1P_1 + 2P_2 + 3P_3 + \dots + 12P_{12}}{100}, \quad (1)$$

где  $T_{cp}$  – среднее значение показателя структуры кровли; 1,2,3...12 – тип структуры кровли;  $P_1, P_2, P_3 \dots P_{12}$  – число забоев с одинаковой структурой кровли; %

Таблица 2 – Прочностные и деформационные характеристики горных пород Донбасса

Марка углей	Чи сло про б	Средняя глубина отбора проб, м	$\sigma_{сж}, \text{Па} \cdot 10^{-5}$			$K_{вср}, \%$	$\sigma_{рп}, \text{Па} \cdot 10^{-5}$	$K_{вср}, \%$	$\sigma_{рп}^+, \text{Па} \cdot 10^{-5}$	$K_{вср}, \%$
			Миним	Макс.	Среднее					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Аргиллиты										
Д	10	430	100	400	280	20	49	39	26	29
Г	123	467	200	600	350	21	59	44	29	41
Ж	117	547	200	700	430	24	74	32	31	32
К	122	562	200	700	410	22	61	38	30	47
ОС, Т	218	722	200	700	490	20	82	34	38	45
ПА, А	107	774	200	900	550	38	93	34	37	51
Алевролиты										
Д	89	560	200	700	440	20	72	26	36	36
Г	362	544	200	900	530	24	80	32	38	42
Ж	338	657	300	900	620	17	94	21	46	39
К	243	563	300	900	560	17	92	25	46	43
ОС, Т	455	651	400	900	640	20	103	19	51	37
ПА, А	420	737	400	1400	770	24	130	29	63	44
Песчаники										
Д	43	468	100	700	430	41	64	45	38	45
Г	320	531	300	1100	540	26	78	35	47	66
Ж	325	708	400	1300	840	20	108	29	71	50
К	435	653	500	1800	1010	25	137	36	97	28
ОС, Т	450	742	500	1900	960	23	145	27	102	35
ПА, А	324	830	700	2600	1310	26	194	28	143	46

Рассчитанные по формуле (1) средние значения структуры кровли приведены в табл. 3.

Средние значения показателя структур кровель для каждого производственного объединения (холдинговой компании) сопоставлены со средним числом травмированных по указанным подразделениям за десятилетний период (табл. 3).

Таблица 3-Распределение структур кровель на шахтах производственных объединений (холдинговых компаний)

Холдинговая компания (объединение)	Число забоев (%) по типам структур кровли												Среднее значение показателя структуры	Среднее число травмированных, чел
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13		
Донецкуголь	1,6	8,6	50,8	1,1	7,5	6,0	3,3	7,6	8,6	2,7	1,1	1,1	4,58	3303
Макеевуголь	2,4	6,4	25,6	4,8	19,2	4,8	5,6	11,2	9,6	1,6	4,8	4,0		
Красноармейск-уголь	-	8,3	30,5	-	11,1	16,7	11,1	2,8	2,8	11,1	2,8	2,8	5,63	601
Силидовуголь	4,5	9,2	4,5	-	4,5	-	2,3	4,5	27,2	36,5	2,3	4,5	8,00	867
Добропопльуголь	3,3	10,0	13,4	-	6,6	6,6	10,0	3,3	13,4	10,0	13,4	10,0	7,20	386
Шахтерскантрацит	1,0	4,2	15,6	3,2	20,0	4,2	13,4	8,3	11,4	6,2	4,2	8,3	6,65	1617
Торезантрацит	-	3,9	17,0	0,9	18,8	8,9	6,9	2,9	17,0	-	5,9	17,8	7,07	551
Ворошиловград-уголь	5,0	13,4	21,7	1,7	18,3	3,3	1,7	8,3	10,0	16,6	-	-	5,49	3287
Стахаановуголь	5,0	6,0	16,3	3,3	33,6	2,5	-	1,7	6,8	18,7	1,7	4,1		
Первомайскуголь	24,3	8,4	8,4	-	8,4	6,5	6,5	8,3	16,2	6,5	6,5	-		
Лисичанскуголь	13,3	10,0	20,0	-	13,3	3,3	-	6,7	6,7	23,4	-	3,0		
Краснодонуголь	15,7	3,9	17,7	1,9	9,8	-	11,8	1,9	15,7	21,6	-	-	5,89	912
Донбассантрацит	-	20,7	19,3	-	13,8	-	3,4	-	12,1	5,2	1,7	13,8	5,67	621
Антрацит	-	2,8	4,6	5,8	30,5	13,8	11,1	4,6	22,2	4,6	-	-	6,36	639
Свердловантрацит	-	2,3	14,0	4,7	46,5	-	2,3	-	2,3	-	-	27,9	6,69	1652
Ровенькиантрацит	-	2,4	24,4	4,4	37,8	4,4	-	22,2	4,4	-	-	-	5,28	123
Павлоградуголь	-	7,7	22,6	2,9	9,0	13,2	11,4	8,7	11,3	-	13,2	-	6,15	495

Сопоставление среднего значения показателя структур кровли со средним числом травмируемых, определялось по коэффициенту ранговой корреляции  $r$ . С этой целью рассчитывались:

– коэффициент ранговой корреляции

$$\delta = 1 - \frac{6 \sum d^2}{n(n^2 - 1)}, \quad (2)$$

где  $d$  – разность между рангами сопряженных рядов;  $n$  – объем выборки;  
– ошибка коэффициента ранговой корреляции

$$m = \frac{1 - p^2}{\sqrt{n - 1}}, \quad (3)$$

– критерий достоверности

$$t = \frac{p}{m}. \quad (4)$$

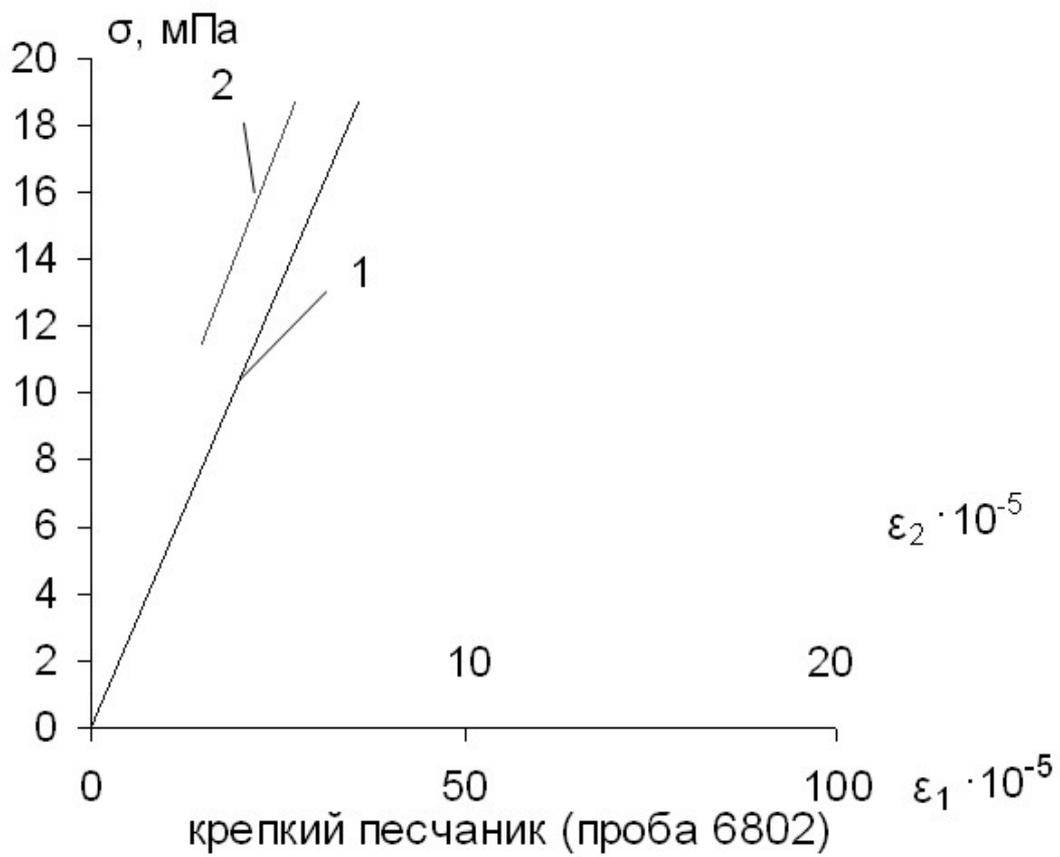
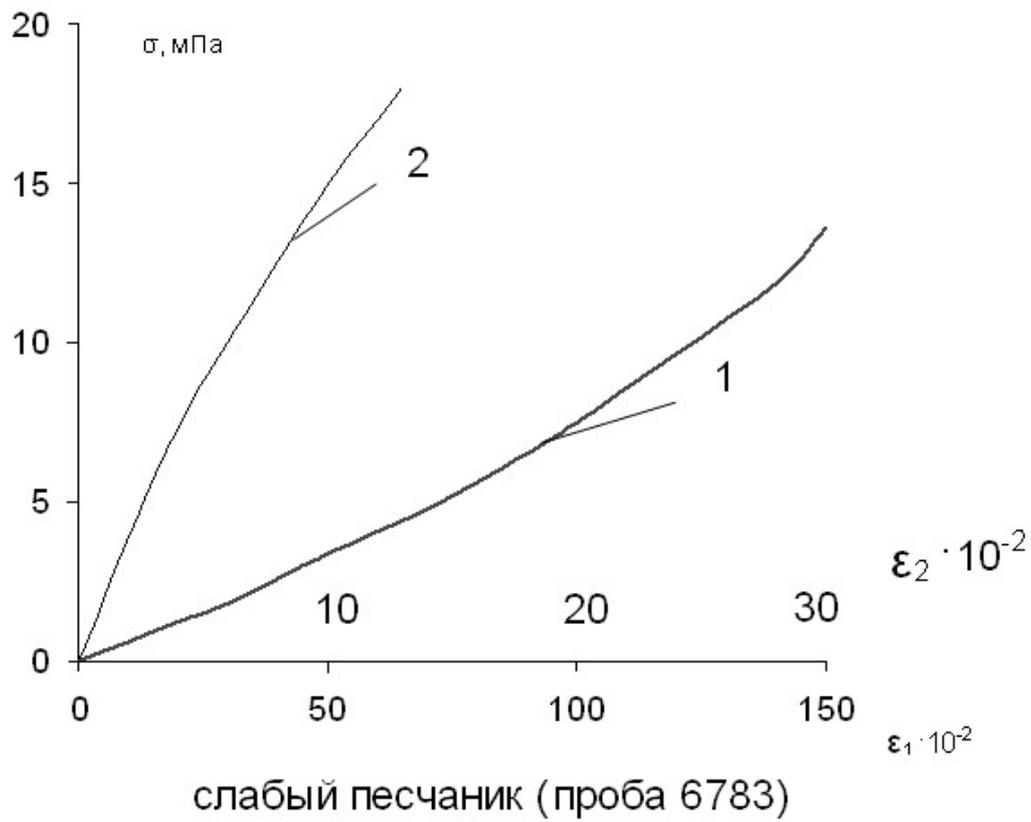
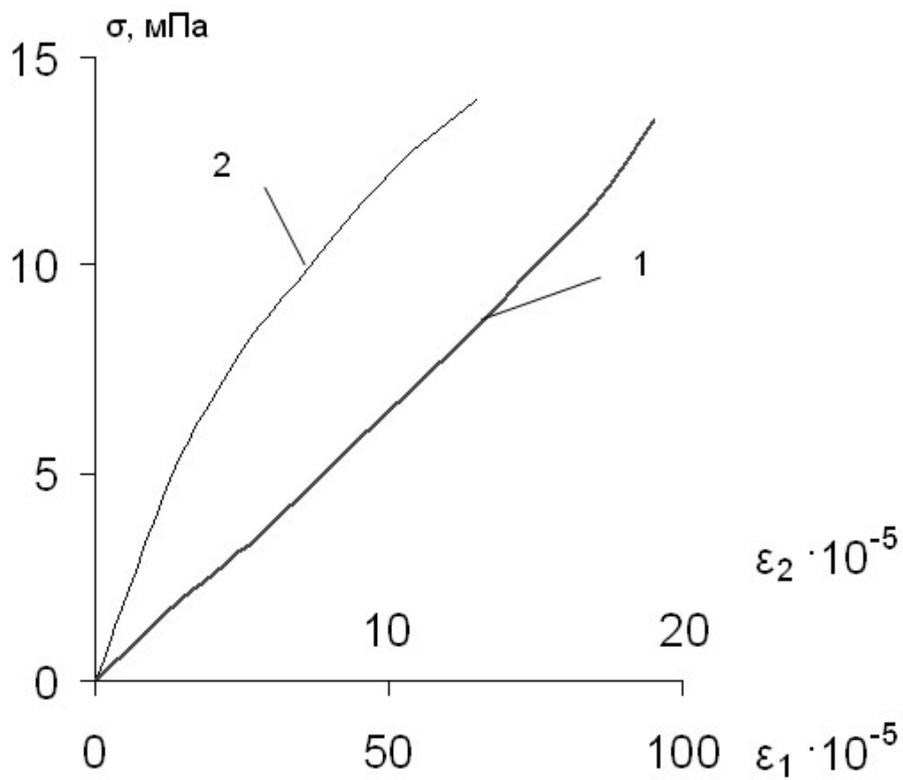
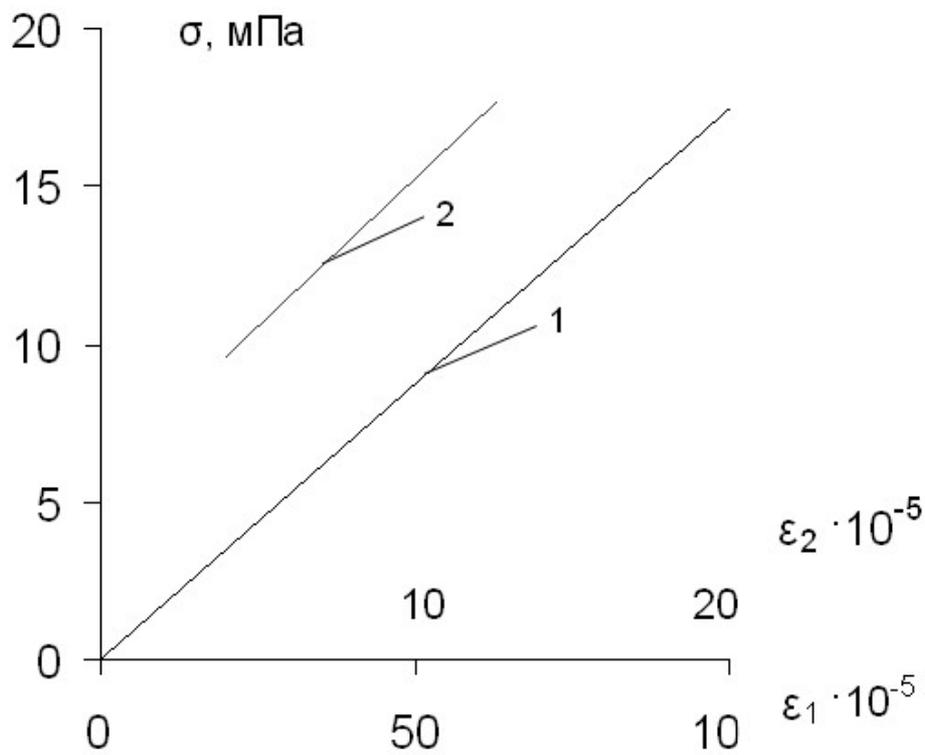


Рис. 1 – Типичные графики продольных (1) и поперечных (2) деформаций образцов песчаника



слабый алевролит (проба 6773)



крепкий алевролит (проба 7647)

Рис. 2 – Типичные графики продольных (1) и поперечных (2) деформаций образцов песчаника

Исходные данные для расчета коэффициентов ранговой корреляции приведены в табл. 4.

Таблица 4 – Исходные данные для расчета коэффициента ранговой корреляции

Производственное объединение (холдинговая компания)	Тип кровли		Число травмированных		$d=(x-y)$	$d_2$
	Среднее значение показателя структуры	Ранг $x$	Среднее значение	Ранг $y$		
Донецкуголь	4,58	1	3308	13	-12	144
Ровенькиантрацит	5,28	2	1229	8	-6	36
Ворошиловградуголь	5,49	3	3287	12	-9	81
Красноармейск-уголь	5,63	4	601	3	1	1
Донбассантрацит	5,69	5	622	4	1	1
Краснодонуголь	5,89	6	912	7	-1	1
Павлоградуголь	6,15	7	495	2	5	25
Антрацит	6,38	8	639	5	3	9
Шахтерскантрацит	6,65	9	1617	9	0	0
Свердловантрацит	6,69	10	1652	10	0	0
Торезантрацит	7,07	11	1788	11	0	0
Добропольеуголь	7,20	12	386	1	11	121
Силидовуголь	8,00	13	867	6	7	49
Сумма						468

После подстановки расчетных значений в формулы (2)-(4) получаем:

$$p = 1 - \frac{6 \cdot 468}{13(169 - 1)} = -0,500 ,$$

$$m = \frac{1 - 0,500}{\sqrt{13 - 1}} = 0,216$$

$$t = \frac{0,500}{0,216} = 2,315$$

Коэффициент ранговой корреляции имеет отрицательное значение, следовательно, с увеличением устойчивости (величины показателя типа структуры) кровли травматизм снижается, табличный критерий достоверности при 13 степенях свободы и уровне значимости 0,05 равен 2,201, а при уровне значимости 0,02 равен 3,218 [11], следовательно, с вероятностью 95% можно утверждать о наличии корреляции между типом структуры кровли и травматизмом от обвалов и обрушений кровли. Коэффициент корреляции, равный 0,456, относительно невысокий, это указывает на то, что на травматизм от обвалов и обрушений влияют и другие факторы.

На рис. 3 представлена гистограмма числа травмированных от обвалов и обрушений. Её анализ показывает возможность отнесения распределения числа травмированных к логарифмически-нормальному закону распределения.

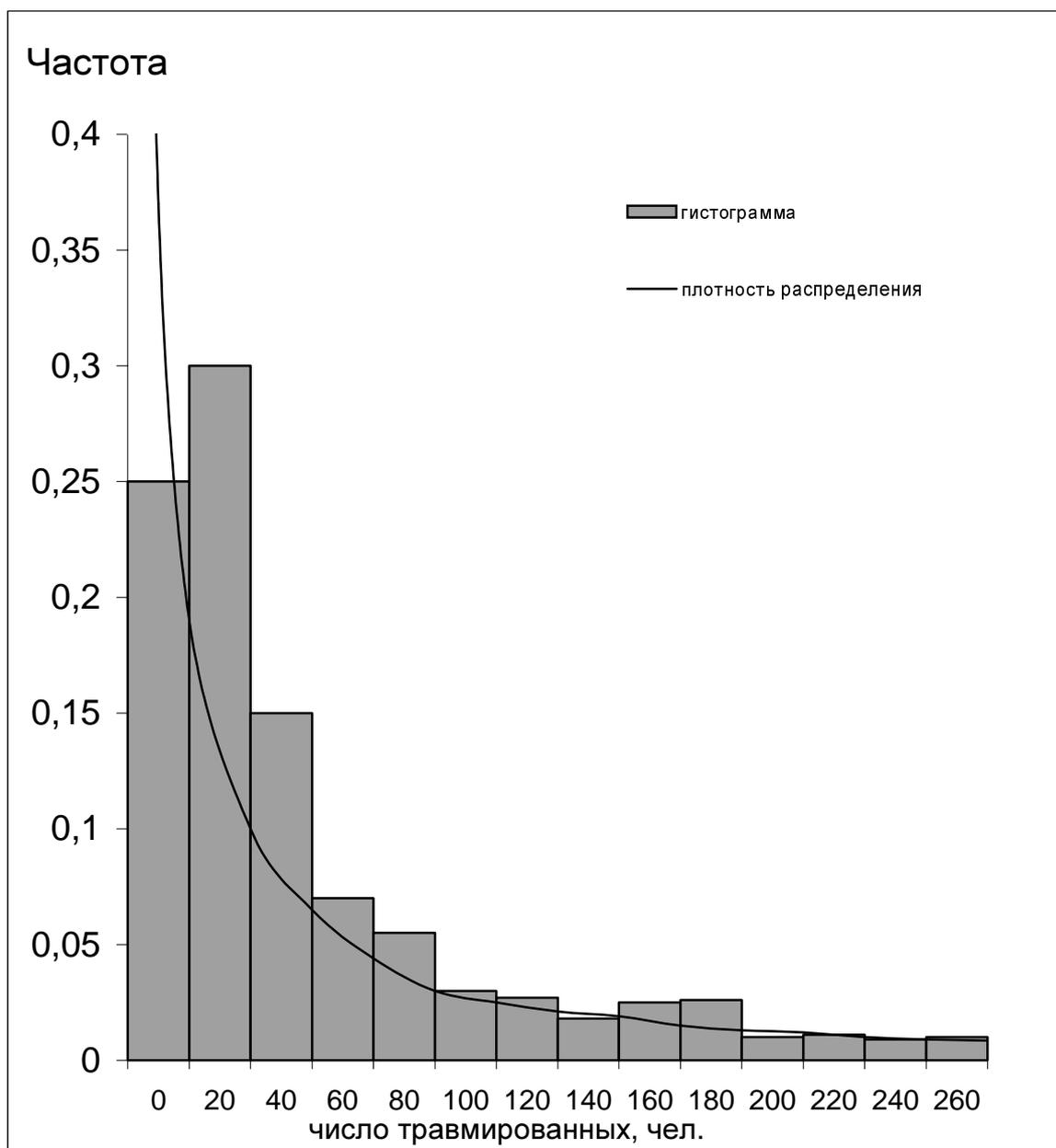


Рис. 3 – Распределение общего числа травмированных от обвалов и обрушений в очистной выработке

Установлено, что для горных пород Донбасса характерным является анизотропия их механических свойств, которая зависит от степени метаморфизма углей. Обрушаемость пород зависит от минералогического состава их и типа строения (литологии). Деление пород кровли на классы по устойчивости на основе их прочностных характеристик не в полной мере отражает суть задачи. Более полно этому соответствуют деформационные характеристики (E). Наиболее склонны к обрушениям и обвалам кровли с расположением над угольным пластом аргиллита, а над ним алевrolита (тип строения 3). Этот тип строения кровли имеет наибольшее распространение в очистных забоях угольных шахт Донбасса. Исследованиями установлена зависимость травматизма при обвалах

и обрушениях от типа строения пород (литологии) кровли. Эта зависимость подчиняется логарифмически-нормальному закону распределения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Левкин Н.Б. Предотвращение аварий и травматизма в угольных шахтах Украины – Донецк: Донбасс, - 2002. – 392 с.
2. Выполнить исследования состояния охраны труда и результатов реализации Программы повышения уровня безопасности труда на угледобывающих предприятиях и разработать мероприятия по предотвращению аварий. Отчет по НИР 171020230 (промежуточный) МакНИИ / Руководители Левкин Н.Б., Кузьменко Н.С. – Макеевка – Донбасс, - 2003. – 101 с.
3. Левкин Н.Б., Кузьменко Н.С. Особенности обвалов и обрушений в очистных забоях. // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. тр. Вып. 41 / ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск, – 2003. – С. 31-35.
4. Кузьменко Н.С. Безопасность горных работ и меры по снижению пород // Сб. научн. докладов Международной научно-технической конф. «Горная геология, геомеханика и маркшейдерия» 11-15.10.04. часть II. Донецк. – 2004. – С. 472-476.
5. Управление горным давлением при разработке угольных пластов. / Аносов О.С., Кузьменко Н.С., Шаповал Н.А., Кудравец Г.В., Воскобоев Ф.Н. – Донецк: Донбасс, 1990. -304 с.
6. Овчаренко Б.П. Механизм трещинообразования в кровле угольных пластов. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1983. –172 с.
7. Кузьменко Н.С. Выбор паспортов управления кровлей и крепления лав. // Безопасность труда в промышленности. – 1979. - № 9. С. 60-61.
8. Выполнить исследования состояния охраны труда и результатов реализации Программы повышения уровня безопасности труда на угледобывающих предприятиях. Отчет по НИР 171020230 (промежуточный) МакНИИ Руководители Брюханов А.М., Левкин Н.Б. – Макеевка – Донбасс, 2005. – 121 с.
9. Кравченко В.И. Безопасность при управлении горным давлением в лавах пологих пластов. – М.: Недра, 1975, – 221 с.
10. КД 12.01.01.503-2001. Управление кровлей и крепление в очистных забоях на угольных пластах с углем падения до 35°. Руководство. – К.: Минтопэнерго Украины, 2002. – 142 с.
11. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. – М.: Мир, 1968. – 720 с.