

ДЕФОРМАЦИЯ КРЕПИ ШАХТНЫХ СТВОЛОВ ДОНБАССА И МЕРЫ БОРЬБЫ С НЕЙ

В. Н. МАНЬКОВ

В 1955 г. бригада ВНИМИ, в работе которой автор принимал непосредственное участие, произвела обследование 70 наиболее нарушенных шахтных стволов Донбасса. По остальным стволам были собраны анкеты о состоянии стволов с приложением соответствующих графических материалов. Обследованием были охвачены почти все естественные условия, в которых находятся шахтные стволы Донбасса глубиной свыше 300 м.

Обработка анкетных данных и материалов непосредственных обследований проводилась в следующих направлениях: 1) группировка стволов по одинаковым горногеологическим условиям; 2) изучение условий возникновения причин деформаций крепи и установление сопутствующих им обстоятельств; 3) установление механизма возникновения деформаций крепи; 4) меры борьбы с деформациями крепи, ремонт и восстановление нарушенных участков крепи.

В результате произведенного анализа причины деформаций крепи шахтных стволов разбиты на три класса: 1 — влияние агрессивных вод или низких температур; 2 — влияние очистных работ, проводимых в пределах охранных целиков; 3 — влияние местных сдвижений пород в районе сопряжений стволов с околоствольными выработками, вызванных завалом околоствольных выработок, выпуском пород при перекреплении выработок или пучением.

Условием сохранения бетонной крепи при агрессивных водах, как известно, является ее плотность. Несоблюдение этого условия явилось причиной образования в крепи многочисленных раковин (табл. 1). Крепи шахтных стволов свойственны следующие особенности коррозии.

Коррозия выщелачивания наблюдается в основном в стволах, вскрывающих пласты пологого падения, и приурочена к верхним их участкам. Наибольшая глубина, на которой наблюдалось выщелачивание, составляет 150 м.

Потеря несущей способности крепи под влиянием агрессивных вод и низких температур происходит за счет изменений в самом материале крепи. Силовые воздействия на крепь в данном случае играют второстепенную роль.

При развитии процесса выщелачивания со стороны закрепного пространства бетон находится в худших условиях по сравнению с лицевой поверхностью, так как растворению извести в этом случае не препятствует защитная корка из углекислого кальция, покрывающая по-

**Характеристика нарушений крепи стволов под влиянием агрессивных вод
или низких температур**

Наименование треста, шахты, ствола	Глубина располо- жения и протяжен- ность нарушен- ного уча- стка крепи, м	Приток воды по стволу, м³/час	Тол- щина и мате- риал крепь, мм	Возраст ствола, лет	Вид нарушений крепь стволов	Причина нарушения крепь
Сталинуголь, 17— 17-бис, № 17	150—160	15	Бето- нит 300	23	Раковины и вывалы до породы	Неоднократное обмерзание и оттаивание
Краснолучуголь, 17— 17-бис Хрусталь- ная, № 17	89—113	20	Бетон 500	26	Раковины незна- чительных разме- ров $S = 0,05 \text{ м}^2$	То же
Макеевуголь, 6 Ка- питальная, № 14/18	120—168	15	Бетон 400	40	Раковины больших размеров $S = 0,5—2,5 \text{ м}^2$	Выщелачи- вание
Красноармейскуголь, 1—1-бис Централь- ная, № 1	76—116	8	Бетон 400	40	Раковины $S = 0,3 \text{ м}^2$ до 10 см глубиной	То же
Лисичанскуголь, При- вольнянская Юж- ная .						
клетевой	50—149	11	Бетон 500	10	Раковины	
скиповой	50—150	10	Бетон 500	10	Раковины	
Сталинуголь, 2/7 Ли- диевка, № 2/9	96—100	7	Бетон 500	6	Раковины	
Шахтантрацит, Юж- ная, № 1 и 2	10—150	7	Бетон 400	7	Незначительные раковины	Выщелачи- вание
Буденновскуголь, 17, № 16	115—150	30	Бетон 500	8	Раковины	Выщелачи- вание
Дзержинскуголь, им. К. Е. Ворошилова, № 2	60—68		Бетон 500	20	Раковины, разру- шенный верхний слой бетона	Сульфатная коррозия
Дзержинскуголь, им. Ф. Э. Дзержин- ского, новый	50—60 315—330	—	Бетон 500		Раковины, разру- шенный верхний слой бетона	Сульфатная коррозия

верхность бетона в результате реакции, протекающей между гидро-
окисью кальция, образующейся при схватывании цемента, и углекислым
газом воздуха. В закрепном пространстве эта корка не может образо-
ваться из-за недостатка воздуха. Поэтому бетонная крепь сопротив-
ляется коррозии гораздо хуже, чем крепь из бетонитов и сборного же-
лезобетона, поверхность которых, как правило, защищена коркой угле-
кислого кальция.

Под влиянием низких температур каменная крепь разрушается также с образованием раковин, отличающихся от раковин, появившихся в результате выщелачивания или других видов агрессии, отсутствием потеков извести и чешуйчатой формой отслоения. Повышение плотности бетона и его водонепроницаемости существенно улучшает его сопротивление влиянию низких температур.

Ремонт крепи стволов, нарушенной в результате влияния низких температур или агрессивных вод, целесообразно осуществлять путем торкретирования. Выбор состава бетона, вида цемента, дозировки добавок и пр. необходимо производить сообразуясь с конкретными условиями.

Характеристика стволов, крепь которых нарушена в результате их искривления под влиянием очистных работ, проводящихся в пределах охранных целиков (табл. 2), показывает, что наибольшее искривление получили стволы шахт Горловского района (крутое падение). Устья стволов № 1 шахты «Кочегарка», Мария, Комсомолец № 5 и № 6 шахты им. В. И. Ленина, Центрального шахты им. Ф. Э. Дзержинского претерпели смещение до 1 м и более. Состояние крепи на этих стволах неудовлетворительное.

Т а б л и ц а 2

Искривление стволов Донбасса

Наименование треста, шахты, ствола	Глубина профилировки, м	Максимальное отклонение оси ствола от первоначального положения, мм	Год профилировки
Калининуголь			
№ 9, № 2	310	750	—
им. Румянцева, № 2	250	245	—
Горловскуголь			
им. И. В. Сталина, № 8а	640	385	—
„Кочегарка“, № 1	640	1840	1946
„Комсомолец“, Мария	445	800	1935
„Комсомолец“, Мария	620	1900	1947
„Комсомолец“, Мария	620	1950	1948
„Комсомолец“, № 3	620	200	—
19—20, № 20	257	610	—
им. В. И. Ленина, № 6	534	1800	1923
им. В. И. Ленина, № 6	534	3020	1947
Орджоникидзеуголь			
им. К. Маркса, № 2	500	900	1938
им. К. Маркса, № 2	500	900	1945
„Красный Профинтерн“, № 1	500	700	—
„Красный Профинтерн“, № 1	537	860	—
„Красный Профинтерн“, № 1	537	710	—
„Юнком“, № 1	343	750	—
„Юнком“, № 2	343	720	—
Дзержинскуголь			
им. К. Е. Ворошилова, № 2	365	170	1936
им. К. Е. Ворошилова, № 1	365	410	—
им. Ф. Э. Дзержинского, Центральный	435	565	1935
Кадиевуголь	616	1010	1947
4—2-бис Ирмино, № 4	415	670	1947
1—1-бис Криворожье, № 1-бис	443	400	—

В результате анализа состояния искривленных стволов устанавливается следующее.

1. Крепь ствола при подработке нарушается не на всем протяжении, захваченном областью сдвигающихся пород, а на определенных участках, причем, отношение длины нарушенных участков к длине ствола, захваченного областью сдвигающихся пород, невелико. Нарушенная часть ствола не превышает в среднем 10—15% от подработанной части (табл. 3).

Таблица 3

Степень нарушенности крепи стволов

Наименование шахты, ствола	Глубина, м	Глубина, захваченная зоной подработки, м	Число нарушенных участков	Протяженность нарушенной крепи, м	% нарушенности ствола, отнесенной к зоне, захваченной подработкой
Горловскуголь					
За им. В. И. Ленина,					
№ 6	533	470	2	27	5,7
№ 7	533	470	5	20	4,25
„Кочегарка“, № 1	750	640	4	100	15,6
№ 5	750	640	1	165	26
„Комсомолец“, Мария	620	500	6	25	5
№ 3	620	500	8	32	6,4
Дзержинскуголь					
им. Ф. Э. Дзержинского					
Центральный	616	516	5	43	8,3
Новый	616	516	4	60	11,6
Орджоникидзеуголь					
„Юнком“, № 1	504	476	2	16	3,36
№ 2	470	470	3	15	3,2
Шм. Карла Маркса					
№ 1	645	550	4	105	19
№ 2	645	550	5	105	19
1—2 Красный Октябрь, № 1	440	440	4	58	13,2
№ 1	560	440	5	46	10,3

2. Участки с нарушенной крепью приурочены к резким перегибам ствола, к местам пересечения стволом слабых пород и к сопряжениям ствола с околоствольными выработками.

3. Наиболее интенсивно нарушается крепь в области пересечения стволом поверхности сдвижения пород, положение которой в плоскости, перпендикулярной простиранию пород, определяется углом сдвижения β . Нарушения представлены вывалами отдельных кусков крепи в ствол: например, участок ствола № 1 шахты «Кочегарка» от горизонта 540 м до горизонта 640 м (рис. 1).

4. Нарушения крепи ствола в области наибольших горизонтальных смещений выражаются вывалами и трещинами, расположенными горизонтально.

5. Ствол искривляется не плавно, а в виде ломаной линии, причем наклоны отдельных участков отличаются друг от друга в зависимости от прочности окружающих пород: в крепких породах (известняки, песчаники, песчаные сланцы) они не превышают 3,5 мм/м, а в слабых (глинистые сланцы) достигают 10—15 мм/м.

Данные положения подтверждаются также примерами из иностранной практики. Марбах, например, описывает один из стволов шахты группы Гамборн (шахта Вехофен-1), на которой в течение 10 лет велись наблюдения за деформациями бетонной крепи ствола [7]. Величины деформаций приведены на рис. 2. Наблюдения производились путем изме-

рения смещения реперов, заложенных в крепи через 50 м друг от друга. Наибольшая осадка ствола приурочена к месту пересечения стволом слабых песчаных пород, причем нарушения крепи расположены на контактах слабого слоя с верхними и нижними более крепкими слоями. Наряду со сжатием наблюдалось и растяжение крепи. Точки перемены знака напряжений также приурочены к контактам слабых и прочных пород. В местах нарушений бетонная крепь отслаивалась и «бунила», отдельные участки выпадали.

Оседание крепи ствола и разрушение ее было вызвано сдвижением горных пород под влиянием очистных работ.

Подобные нарушения имели место и на других стволах шахт группы Гамборн. Из 20 стволов этой группы, как отмечает Марбах, старые стволы, пройденные с помощью опускной крепи и имеющие крепь телескопического вида, при подработке охранных целиков не нарушались. Стволы же новых шахт, как например, Вехофен-2, Тиссен и другие, пройденные способом замораживания и закрепленные тюбинговой крепью, имели нарушения — трещины, заколы, вывалы, изменение круглого сечения на эллиптическое и пр. Нарушения крепи также приурочены к контактам слабых и прочных пород.

Горный инспектор Дилль приводит интересный пример нарушения тюбинговой крепи стволов шахты общества Ганза и Дортмунда [6]. Оба ствола шахты круглые, диаметром 4,4 м в свету, закреплены английскими тюбингами до глубины 664 м. При разработке пластов угля в пределах охранных целиков в крепи стволов на глубине 110 м появились нарушения. Разрыв тюбингов и расхождение швов между ними были приурочены

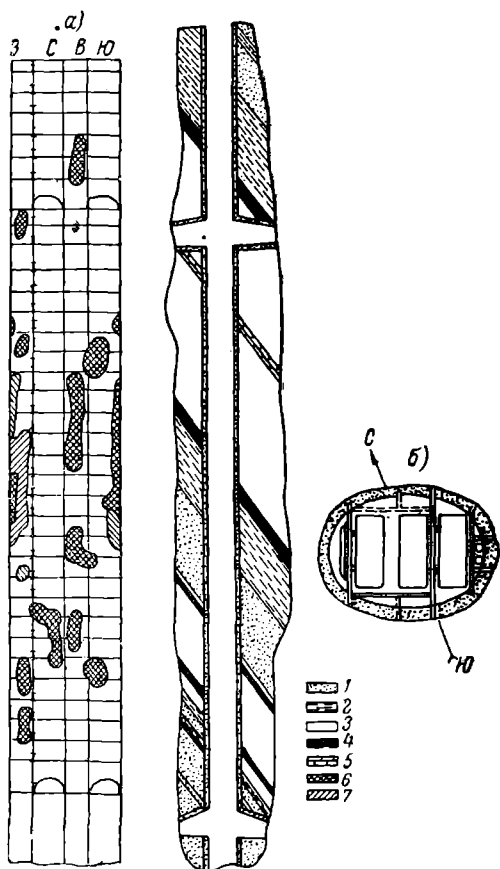


Рис. 1. Состояние крепи ствола № 1 шахты 1—3 «Кочегарка» треста Горловск-уголь на 3 октября 1954 г.:

а — развертка ствола; б — сечение; 1 — песчаник; 2 — песчаный сланец; 3 — глинистый сланец; 4 — уголь; 5 — известняк; 6 — участки, подлежащие ремонту; 7 — отремонтированная крепь

к слабому слою глины. Дилль дальше отмечает, что наличие слабых прослоек пород в массиве, пересекаемом стволами шахт Вестгаузен, Адольф фон Ганземаан, Гнейзенаус, Вестфалия, может привести к аналогичным нарушениям крепи при выработке предохранительных целиков, как это имело место на шахте общества Ганза. Подобные же примеры приводят Фриц Мор [8], Гюнтер [9], Лин [8].

Ни в отечественной, ни в зарубежной литературе нет исследований, устанавливающих связь нарушений в крепи стволов, мест их расположения, процесса образования и т. п. с процессом сдвижения пород и мультимодальными сдвигами. Самые значительные нарушения крепи концентри-

руются на участках, соответствующих началу искривления стволов и наибольшей стреле отклонения оси от вертикали. Величины нагрузок на крепь стволов, попадающих в зону сдвигающихся пород, находятся в прямой зависимости от величины деформаций окружающих пород. Величина же деформаций пород в сдвигающемся массиве и характер напряжений в них определяются положением рассматриваемой точки

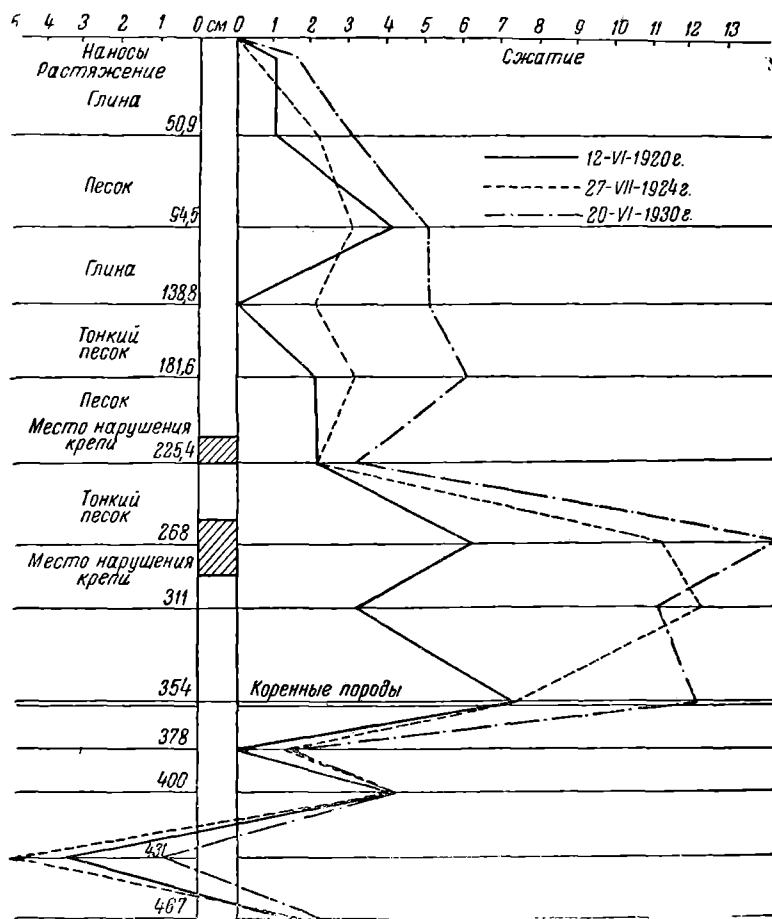


Рис. 2. Схема деформаций крепи ствола шахты Вехофен-1

в мульдe сдвигания: характер деформаций окружающих пород определяет род нагрузки и вид напряжений в ней.

Можно различить две зоны, в которых крепь ствола претерпевает различные нагрузки (рис. 3): зона *a* — начало изгиба ствола, приуроченная к пересечению стволом поверхности сдвигания, положение которой в плоскости, перпендикулярной простиранию пород, определяется углом β ; зона *b* — зона наибольших отклонений ствола от первоначального положения.

В зоне *a* крепь ствола может испытывать различные нагрузки, в зависимости от физико-механических свойств залегающих в ней пород. Поверхность сдвигания определяет как бы места заделки пластов, начало их изгиба. Пласты прочных пород в этих местах будут изгибаться с образованием трещин, слабые же породы (при достаточной

глубине) могут перейти в пластическое состояние. Во всех стволах шахт, приведенных на рис. 3, в местах пересечения стволом поверхности сдвижения пород имелись крупные нарушения крепи, выраженные заколами, вывалами, отчетливо видимым выдавливанием крепи внутрь ствола.

Нарушения приурочены только к слабым породам (пласты угля, глинистые сланцы). Интересно отметить, что после затухания процесса сдвижения пород, нарушения крепи в зоне *a* могут продолжаться. Примером может служить участок ствола № 1 шахты «Кочегарка», где последние работы в пределах охранных целиков велись в 1940 г., а нарушения крепи продолжают и в настоящее время.

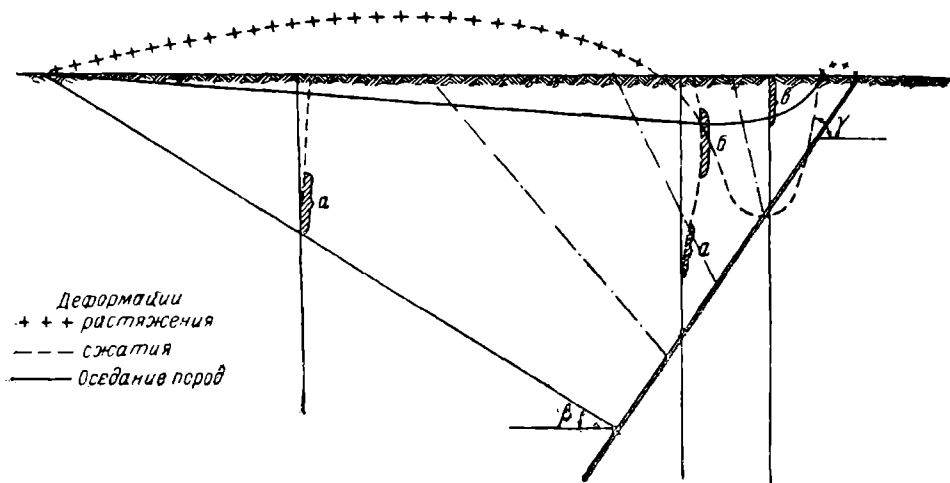


Рис. 3. Зависимость расположения нарушенных участков крепи стволов от их положения в мульде сдвижения пород

По данным ВНИМИ, срок окончания сдвижения пород определяется из расчета один год на 100 м глубины [5]. Очевидно, продолжение деформаций стволов после прекращения сдвижения пород объясняется переходом последних в зоне нарушений в пластическое состояние.

Для определения глубины H_e , на которой породы могут переходить из упругого состояния в пластическое, Ф. А. Белаенко дает формулу

$$H_e = \frac{\sigma_s}{\gamma \sqrt{1 - 2\varepsilon + 4\varepsilon^2}},$$

где $\varepsilon = \frac{m}{1-m}$ — коэффициент бокового давления пород;

m — коэффициент Пуассона;

σ_s — предел упругости породы, кг/см^2 ;

γ — объемный вес породы, кг/см^3 .

По расчетам Ф. А. Белаенко, для типичных пород Донбасса эта глубина составляет для глинистых сланцев около 200 м, для песчаников — около 400 м. Ф. А. Белаенко определена эта глубина для нетронутого массива. В массиве, претерпевающем сдвижения, она должна быть меньше. Однако примеры нарушения крепи стволов показывают, что глубина эта значительно больше и составляет для глинистых сланцев около 450 м. Так, на всех обследованных стволах нарушения крепи, расположенные до глубины 450 м и не приуроченные к местам сопря-

жений стволов с околоствольными выработками, выражены отдельными горизонтальными трещинами или раковинами. До глубины 450 м не наблюдалось заколов или выдавливания отдельных кусков крепи, неизбежных при пластическом течении окружающих пород.

В зоне б ствол получает наибольшие отклонения от вертикали (рис. 3). Жесткая крепь стволов (бетонная) может выдержать небольшие искривления. Допускаемый радиус искривления для бетонной крепи стволов, по данным О. Немчика [9], равен 30 000 м. При меньших радиусах в крепи возможно возникновение нарушений. Изучая многочисленные профилировки стволов, нарушенных в результате подработки, можно отметить, что на некоторых участках стволов (№ 1 шахты «Кочегарка», Центрального и Нового шахты им. Ф. Э. Дзержинского, Мария шахты «Комсомолец» и др.) радиус кривизны достигает лишь нескольких сотен метров. Нарушения, вызванные только изгибом стволов, как правило, затухают после окончания процесса сдвижения. На всех указанных стволах нарушения, приуроченные к зоне б, в настоящее время не развиваются.

Как известно, процесс сдвижения развивается по направлению от вырабатываемого пласта к поверхности и в то время, как нижние участки ствола оказываются захваченными оседающими породами, верхние еще находятся в нетронутом массиве. Продольные усилия, возникшие за счет сил трения между оседающими породами и крепью в местах заделки ствола (массив не захваченный еще сдвижением), могут привести крепь к разрыву. Такого рода нарушения, выраженные в большинстве случаев горизонтальными трещинами, наблюдаются на многих стволах Донбасса, искривленных вследствие выемки охранных целиков. Такие нарушения в основном приурочены к верхним горизонтам стволов.

По характеру возникающих напряжений в крепи ствола, попадающего в область сдвижений, зонам а и б (рис. 3) можно присвоить следующие названия: а — зона наибольшего горного давления, б — зона наибольших прогибов. Изложенный взгляд на деформацию крепи стволов в сдвигающемся массиве подтверждается расположением нарушенных участков крепи ствола по его длине.

Образования многих нарушений в крепи стволов можно было бы избежать приданием крепи некоторой податливости, что может быть достигнуто даже при обычной крепи из набивного бетона путем устройства через определенные промежутки податливых поясов из деревянных брусев. Наряду с высокой прочностью необходимую податливость может обеспечить применение бетонных тубингов, изготовленных по типу английских чугунных тубингов.

В табл. 4 указаны стволы, крепь которых нарушена под действием причин третьего класса. Нарушения крепи стволов наблюдались в основном на шахтах, подвергшихся длительному затоплению во время оккупации Донбасса. В довоенный период крепь стволов, их сопряжений с горизонтальными выработками и околоствольных выработок почти не имели нарушений. После же откачки процесс разрушения происходил интенсивно. Особенно быстро нарушалась крепь выработок, пройденных в глинистых сланцах.

Поведение разных по своим механическим свойствам пород под влиянием воды резко отлично. Известно, что вода на крепкие нетрещиноватые песчаники и известняки почти не оказывает влияния. Выработки, пройденные в этих породах, после откачки продолжают стоять так же хорошо, как и до затопления. Глинистые же сланцы, размокая, теряют свою устойчивость. Давление их на выработку возрастает,

**Стволы, крепь, которых нарушена в результате влияния затопления
и деформации крепи околоствольных выработок**

Наименование треста, шахты	Номер ствола	Число нарушен- ных участков	Место нарушения (сопряжения с горизонтами), м	Материал крепь	Вид нарушения
Кадиевуголь, им. И. В. Сталина	1	6	90, 350, 560, 680	Бетон	Вертикальные трещины, заколы
	2	3	350, 560, 680	Бетон	Вертикальные трещины, заколы
Им. Ильича	1	3	350, 428, 540	Бетон	Заколы и выдавли- вание крепи
Криворожье, 1— 1-бис	1	3	245, 350, 445	Бетон	Заколы, выдавливание крепи
	1-бис	4	245, 350, 445	Бетон	Заколы, выдавливание крепи
3—3-бис	3-бис	1	149	Бетон	Вывалы и заколы
	3	1	239	Бетон	Трещины, заколы
Первомайскуголь, 1—2 „Горская“	1	2	156, 268	Кирпич	Выдавливание крепи и вывалы
4—2-бис Ирмино	4	2	305, 415	Бетон	Наклонные трещины, заколы
	2	2	415, 515	Бетон	Вертикальные трещины, заколы
Краснолучуголь, 17—17-бис	17	1	360	Бетон	Наклонная трещина
Красногвардейск- уголь, 1—1-бис	1-бис	1	304	Бетон	Вывал и ряд трещин
1—1-бис .	1	2	345, 465	Кирпич	Вертикальные трещины, заколы
Сталинуголь, 1— 1-бис им. Че- люскинцев	1-бис	1	125	Бетон	Вертикальная трещина
Буденновуголь, „Капитальная“	1	1	271	Бетон	Наклонные трещины
Советскуголь, 19—20	19	1	390	Бетон	Заколы, вывалы
Калининуголь, 8а им. И. В. Сталина	8а	1	427	Кирпич	Вертикальные трещины
Им. М. И. Калинина	1	4	85, 150, 225, 300	Бетон	Трещины, вывалы, выдавливание крепи
Дзержинскуголь, им. К. Е. Воро- шилова	1	1	500	Бетон	Заколы, выдавлива- ние крепи, трещины преимущественно вертикальные

что приводит к нарушению крепи и обвалам породы. Глинистые сланцы, склонные к пучению, обычно размокают еще в большей степени. Под действием воды интенсивность пучения увеличивается. Разбухающие под влиянием воды породы оказывают особенно сильное давление. Совокупность указанных факторов решающим образом повлияла на устойчивость крепи шахтных стволов. Нарушения крепи стволов, приуроченные к местам сопряжений с околоствольными дворами, явились следствием: 1) обводнения пород в период затопления шахт; 2) создания вокруг ствола нарушенной зоны пород при перекреплении и завалах близлежащих околоствольных выработок; 3) образования вывалов пород при проходке и перекреплении с недостаточной забутовкой закрепного пространства; 4) недостаточных размеров породных целиков между выработками околоствольного двора, в результате чего целики были раздавлены.

К наиболее эффективным мероприятиям, направленным на сохранение крепи ствола в местах сопряжений, относятся: 1) повышение прочности крепи ствола в местах сопряжений; 2) изоляция сопряжения от крепи ствола и горизонтальных выработок швами податливости (пояса из деревянных брусев); 3) применение при проходке в качестве временной крепи металлических или деревянных штанг, предохраняющих окружающие породы от обрушения и отслаивания.

Основой всех методов расчета крепи вертикальных стволов является предположение, что на крепь действует равномерно распределенное, радиально направленное давление горных пород, величина которого возрастает с глубиной.

Все виды каменной крепи вертикальных стволов проектируются и изготавливаются, исходя из сопротивления её только радиально направленному, равномерно распределенному давлению и отсутствия нагрузок, действующих в направлении продольной оси ствола. Между тем, именно эти нагрузки, как показало обследование шахтных стволов Донбасса, и оказали решающее влияние на устойчивость крепи стволов.

Критические величины нагрузок, вызывающие разрушение бетонной крепи стволов, можно определить следующим образом. При равномерном изгибе ствола, вызванном влиянием очистных работ, напряжения, возникающие в крепи, можно найти, пользуясь известными формулами сопротивления материалов

$$\sigma = \frac{Mz}{J}, \quad (1)$$

где σ — напряжения в крепи на расстоянии z от нейтральной оси, кг/см^2 ;

M — изгибающий момент, кгсм ;

Предельный изгибающий момент

$$M = \frac{EJ}{\rho}, \quad (2)$$

где ρ — радиус кривизны нейтральной оси, см .

J — момент инерции сечения, см^4 .

Подставив выражение (2) в выражение (1), получим

$$\sigma = \frac{EJ}{\rho J} z = \frac{Ez}{\rho}. \quad (3)$$

Повреждения при изгибе ствола в первую очередь обнаружатся на выгнутой внешней стороне крепи. Приравняв $z = R_n$ (R_n — внешний радиус крепи, см) и подставив его в формулу (3), получим

$$\sigma = \frac{ER_n}{\rho} \quad (4)$$

Если принять $[\sigma] \leq \sigma_{\text{доп}}$ ($\sigma_{\text{доп}}$ — допускаемые напряжения материала крепи на изгиб), то из выражения (4) можно определить величину допускаемого радиуса искривления ствола

$$\rho = \frac{ER_n}{[\sigma]} \quad (5)$$

Значения допустимых радиусов кривизны при различных материалах крепи и постоянном диаметре ствола сведены в табл. 5.

Т а б л и ц а 5

Допустимые радиусы искривления стволов

Материал крепи ствола	Модуль упругости E , кг/см ²	Допускаемое напряжение на изгиб $\sigma_{\text{доп}}$, кг/см ²	Наружный радиус крепи ствола R_n , см	Допускаемый радиус кривизны ствола ρ , км
Бетон	240 000	55	300	13,1
	200 000	50	300	12
Бетониты	60 000	30	300	6
Кирпич	30 000	25	300	3,6

При сдвигении массива, в котором пройден шахтный ствол, вертикальные составляющие сдвижения пород вызывают появление в крепи, ствола растягивающих или сжимающих напряжений, действующих в направлении, параллельном вертикальной оси ствола. Горизонтальные же составляющие сдвижения вызывают добавочные нагрузки, действующие горизонтально.

Предельную сжимающую или растягивающую нагрузку, вызванную оседанием пород, при известном горном давлении в обычных условиях можно определить следующим образом. В любой точке крепи действуют две силы: P — давление горных пород, T — сила трения, возникающая при оседании пород массива.

Давление горных пород можно определить по одной из применяемых формул, величина силы T определится выражением

$$T = Pf, \quad (6)$$

где f — коэффициент трения между породой и крепью.

Выделим участок крепи высотой h и рассмотрим схему действующих на него сил (рис. 4).

Продольное растягивающее или сжимающее усилие, вызванное действием сил трения, равно

$$F = 2\pi R_n Th \quad (7)$$

или, подставив значение T из формулы (6), получим

$$F = 2\pi R_n P h f. \quad (8)$$

Для определенных горногеологических условий все эти величины могут быть известны.

$$\sigma = \pm \frac{F}{S}, \quad (9)$$

где S — площадь поперечного сечения крепи ствола, см^2 .

Знак напряжения определяется выбором участка крепи ствола. В крепи будут возникать растягивающие напряжения (+), если оседание происходит на нижнем участке, и сжимающие (—) при оседании пород выше данного участка (рис. 4)

$$S = \frac{\pi}{4} (d_n^2 - d_b^2); \quad (10)$$

где d_b — внутренний диаметр крепи ствола;

d_n — наружный диаметр крепи ствола;

$$\sigma = \pm \frac{2\pi R_n P h f}{\pi (d_n^2 - d_b^2)} = \frac{8 R_n P h f}{d_n^2 - d_b^2}, \quad (11)$$

где P — общее давление на крепь ствола, кг/см^2 .

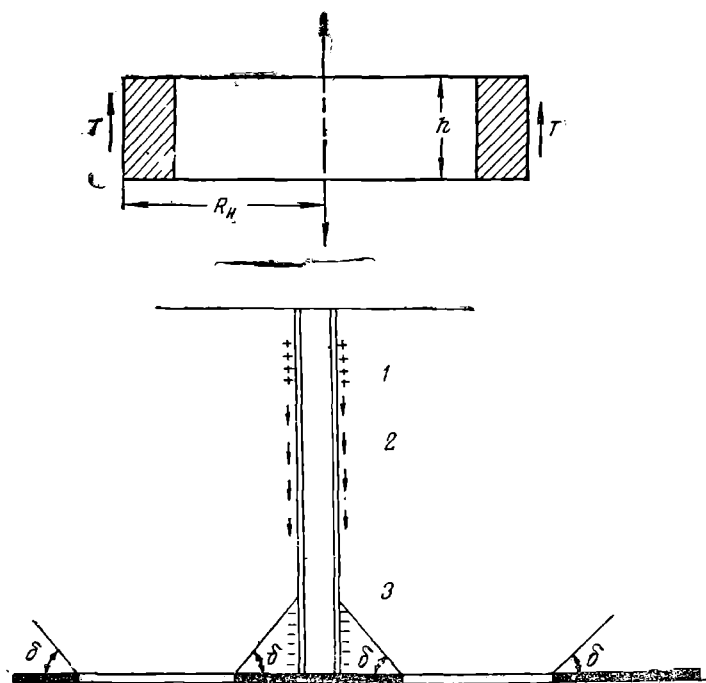


Рис. 4. Схема действия оседающих пород на крепь вертикального ствола:

1 — область растягивающих напряжений в крепи; 2 — область оседающих пород h ; 3 — область сжимающих напряжений в крепи

Как указано выше, при расчетах давление горных пород на крепь в любых горногеологических условиях принимается обычно равномерно распределенным по всему контуру поперечного сечения. Равномерное же распределение давления могут давать только пльвучие, сыпучие и пластичные породы. В наиболее распространенных условиях наблюдается неравномерно распределенное давление, которое даже при малой интенсивности вызывает опасные напряжения в крепи.

$$\frac{P_{\max}}{P_{\min}} = \lambda \quad (12)$$

называют коэффициентом неравномерности, величину которого и распределение давления по внешнему контуру крепи различные исследователи определяют по-разному (рис. 5).

Допускаемая неравномерность давления может быть определена при следующих условиях: 1) величина неравномерно распределенной на-

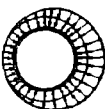
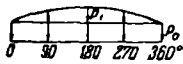
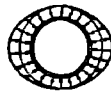
По данным	Интерпретация закона распределения нагрузки по контуру сечения крепи		Максимальная величина коэффициента неравномерности
	математическая	графическая	
П.М. Цимбаревича [4]	$\frac{P_{\max}}{P_{\min}}$		1,1 - 1,5
Г.И. Гойзмана [1]	$P_{\gamma} = P_0 (1 + W \sin \frac{\varphi}{2})$		0 - 1,0
Ф.И. Слипченко [3]	$P_{\text{вост}} = \gamma_0 Z A \cos x \sin(\beta + \alpha)$ $P_{\text{пад}} = \gamma_0 Z A \cos x \sin(\beta + \alpha)$ $Q_{\text{вост}} = \gamma_0 Z \sin x \sin(\beta + \alpha)$ $Q_{\text{пад}} = \gamma_0 Z \sin x \sin(\beta - \alpha)$		1,4 - 1,8
Домке [10]	$P = P_0 + P_1 (1 + \cos 2\varphi)$		0,01 - 0,9

Рис. 5. Эпюры распределения нагрузки по контуру поперечного сечения крепи

грузки изменяется по закону косинуса двойного угла; 2) сечение ствола круглое, материал крепи — бетон; 3) общее давление на крепь

$$P = P_0 + P_1 (1 + \cos 2\varphi), \quad (13)$$

где P_0 — равномерно распределенное давление, кг/см²;

P_1 — добавочное неравномерно распределенное давление, кг/см²;

φ — центральный угол (изменяется от 0 до 360°).

Пользуясь известными формулами сопротивления материалов для выражения изгибающих моментов, нормальных и перерезывающих сил при расчете круглого кольца и добавляя к ним неравномерно распределенную нагрузку, получим следующие исходные уравнения:

$$\left. \begin{aligned} M &= M_0 + N_0 R (1 - \cos \varphi) + Q_0 R \sin \varphi + \int_0^{\varphi} P R^2 \sin(\varphi - \eta) d\eta \\ N &= N_0 \cos \varphi - Q_0 \sin \varphi - \int_0^{\varphi} P R \sin(\varphi - \eta) d\eta \\ Q &= Q_0 \cos \varphi + N_0 \sin \varphi + \int_0^{\varphi} P R \cos(\varphi - \eta) d\eta \end{aligned} \right\}. \quad (14)$$

где η — центральный угол (изменяется в пределах угла φ);
 M, N, Q — соответственно изгибающий момент, нормальная и перерезывающая силы в любом сечении, определяемом углом φ ;
 M_0, N_0, Q_0 — соответственно начальный изгибающий момент, нормальная и перерезывающая силы в сечениях, где угол φ принимает экстремальные значения (0, 90, 180, 270°).

Подставляя значение P из формулы (13) и используя теорему Кастильяно находим значения M_0, N_0, Q_0 и $M_\varphi, N_\varphi, Q_\varphi$, т. е., значения этих величин в любом сечении, а затем определяем напряжение

$$\sigma = \frac{My}{I} + \frac{N}{F}, \quad (15)$$

где y — горизонтальное расстояние рассматриваемого сечения от нейтральной линии, см;

F — площадь поперечного сечения, см².

Подставляя значение M и N , получим:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{\varphi=0} &= \frac{P_0 r}{F} \left[\left(1 + \frac{y}{R}\right) - \frac{1}{3} \frac{P_1}{P_0} \left(1 + \frac{Fry}{I}\right) \right] \\ \sigma_{\varphi=90^\circ} &= \frac{P_0 r}{F} \left[\left(1 + \frac{y}{R}\right) + \frac{1}{3} \frac{P_1}{P_0} \left(1 + \frac{Fry}{I}\right) \right] \end{aligned} \right\}, \quad (16)$$

где r — внутренний радиус крепи.

Из выражения (12) находим

$$\lambda = \frac{2P_1}{P_0}. \quad (17)$$

Предельные значения λ — коэффициента неравномерности — устанавливаем по уравнению (16)

$$\lambda_{\varphi=0} = \frac{1 - \frac{\sigma_{\text{доп}}}{\sigma_0} + \frac{y}{R}}{\frac{1}{6} \left(1 + \frac{ry}{i^2}\right)} \quad (18)$$

$$\lambda_{\varphi=90^\circ} = - \frac{1 - \frac{\sigma_{\text{доп}}}{\sigma_0} + \frac{y}{R}}{\frac{1}{6} \left(1 - \frac{Ry}{i^2}\right)}. \quad (19)$$

При прочих равных условиях предельная величина коэффициента неравномерности зависит в основном от величины отношения $\frac{\sigma_{\text{доп}}}{\sigma_0}$ (σ_0 — напряжения, вызываемые равномерно распределенным давлением; $\sigma_{\text{доп}}$ — допускаемые напряжения на сжатие материала крепи ствола).

Проведенное определение предельных величин усилий, действующих на крепь, показывает, что в некоторых условиях (особенно при крутом падении) эти усилия могут оказаться решающими. Особенно опасны для жесткой крепи стволов изгибающие и растягивающие напряжения, действующие в направлении, параллельном вертикальной оси ствола. Для возникновения их может оказаться достаточно даже местной осадки пород, вызванной выпуском пород или завалом близлежащих околоствольных выработок.

При обследовании шахтных стволов в Донбассе обнаружены следующие виды деформаций каменной крепи: 1) отдельные горизонтальные трещины по всему периметру ствола; 2) горизонтальные и слабо наклонные трещины, захватывающие до половины периметра горизонтального сечения ствола; 3) вертикальные и наклонные трещины; 4) заколы и вывалы; 5) раковины.

Каждый вид деформаций каменной крепи обусловлен определенными причинами. Так, появление отдельных горизонтальных трещин возможно вследствие возникновения на данном участке ствола растягивающих напряжений, которые вызываются силами, направленными параллельно вертикальной оси ствола. Этими силами могут быть силы трения, возникающие в результате осадки пород. Крезь претерпевает полный разрыв по всему периметру ствола.

Как правило, такие трещины одиночны. Места расположения их приурочены к верхним горизонтам стволов (зона *в*, рис. 3) и сопряжением ствола с околоствольными выработками.

Трещины отрыва могут быть вызваны: 1) подработкой ствола; 2) осадкой пород, вызванной выпуском породы при завалах в околоствольных выработках или раздавливанием околоствольных целиков (трещины располагаются выше сопряжения с околоствольным двором); 3) получением пород в подошве сопряжения ствола с околоствольным двором.

Ремонт крепи стволов при наличии трещин отрыва в основном следует производить путем поддержания нарушенных участков металлическими кольцами из швеллеров № 18 или 20 с затяжкой досками. Как показало обследование крепи стволов Донбасса, участки с такими нарушениями, подкрепленные металлическими кольцами, не требуют более капитального ремонта в течение десятка лет. Действительно, развитие нарушений такого типа обусловлено только повторными подработками или завалом околоствольных выработок. Крезь же, получившая при образовании трещин как бы шарниры, будет изгибаться или разрываться в этих же местах. Металлические кольца, обладающие достаточной податливостью, не мешают развитию нарушений, удерживая в то же время отделившиеся куски крепи от падения в ствол.

Горизонтальные и слабо наклонные трещины, захватывающие до половины периметра поперечного сечения ствола, образуются при его изгибе (рис. 6). Этим трещинам можно присвоить название трещин изгиба. Приурочиваются они к местам перегиба ствола. При таких нарушениях можно также ограничиться поддержанием нарушенного участка металлическими кольцами.

Вертикальные и наклонные трещины образуются в результате давления на ствол окружающих пород. Как показывают исследования [2, 5], кольцо из бетона или железобетона разрушается при неравномерно распределенном давлении с образованием вертикальных трещин. Поскольку каменная крепь неоднородна и ее прочность на различных участках неодинакова, возможно появление и наклонных трещин. В отличие от трещин отрыва и изгиба, вертикальные трещины возникают вследствие давления окружающих пород и их следует называть трещинами давления. Места расположения трещин давления зависят от прочностных характеристик окружающих пород и на достигнутых глубинах приурочены к слабым глинистым сланцам. Трещины давления чаще встречаются у сопряжений стволов с околоствольными дворами.

При появлении трещин давления необходимо нарушенный участок перекреплять заново с возведением более прочной крепи и последующим тампонажем окружающих пород. В случае проявления особенно силь-

ного давления можно применить податливую забутовку из гранулированного шлака, гравия, крупного песка. Податливая забутовка обеспечит более равномерное распределение давления на крепи.

Образование заколов и вывалов в крепи стволов связано со сложным напряженным состоянием крепи стволов. Заколы и вывалы представляют наибольшую опасность для крепи и требуют немедленного ее ремонта. Наличие заколов и вывалов свидетельствует о перемещении пород в горизонтальном и вертикальном направлениях вследствие движения их, вызванного завалом или усиленной деформацией околоствольных выработок (захватывает небольшие участки ствола, приуроченные к сопряжениям).

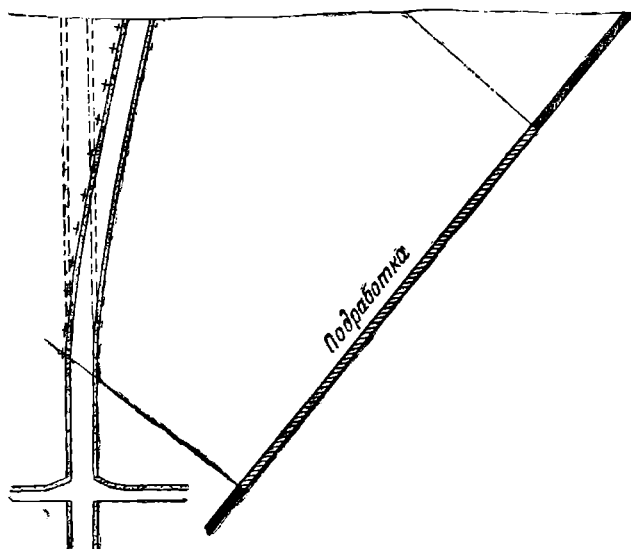


Рис. 6. Схема искривления ствола при подработке его очистными работами: + область растягивающих напряжений; — область сжимающих напряжений

Ремонт таких участков следует производить с полной заменой старой крепи более прочной, предварительно укрепив окружающие породы штангами и произведя последующую цементацию. В некоторых наиболее тяжелых случаях может возникнуть необходимость в постановке на данных участках податливой крепи.

Раковины в каменной крепи стволов образуются не за счет силовых воздействий на крепь, а в связи с физическими и химическими процессами, протекающими в самом материале крепи. Раковины крепи появляются под действием агрессивных вод или неоднократного замерзания и оттаивания. Хорошим способом ремонта в этом случае является нанесение на нарушенное место крепи слоя торкретбетона. Состав его необходимо подобрать, исходя из природы образования раковин. Специальные составы торкретбетона (с добавкой мылонафта, спиртовой барды, винсола) позволяют избежать повторных нарушений крепи.

Заключение

Анализ состояния шахтных стволов Донбасса позволил составить представление о причинах деформации их крепи на шахтах, разрабатывающих пласты крутого падения. Основной их причиной является несоответствие крепи горногеологическим условиям. Жесткие крепи плохо

сопротивляются изгибающим и растягивающим нагрузкам, возникающим в результате влияния очистных работ, производящихся в районе охранных целиков, и местных сдвижений пород в районе сопряжений стволов с околоствольными выработками. Существующие методы расчета, не учитывающие влияния этих нагрузок, непригодны для расчета крепи при крутом падении пластов.

Для предохранения крепи стволов от вредного влияния растягивающих и изгибающих нагрузок рекомендуется в жестких крепях стволов устраивать пояса податливости. Такие пояса будут служить своего рода шарнирами, которые обезопасят крепь от растягивающих напряжений.

Придание крепи податливости в некоторых случаях позволит уменьшить её толщину, что будет способствовать значительной экономии средств.

Использованная литература

1. Гойхман Г. И. Капитальный ремонт бетонных стволов в трехчасовой перерыв. Уголь, 1940, № 1.
2. Клейн Г. К., Черкасов Н. И. Упруго-пластическая деформация кольца. Вестн. инженеров и техников, 1951, № 1.
3. Слипченко Ф. И. Распределение давления на крепь вертикальной выработки в зависимости от угла падения пластов. Сб. Вопросы разработки угольных месторождений Донбасса. Углетехиздат, 1955.
4. Цимбаревич П. И. Рудничное крепление. Углетехиздат, 1951.
5. Черкасов Н. И. К расчету деформаций железобетонного кольца. Вестн. инженеров и техников, 1951, № 6.
6. Dill. Glückauf, 1903, № 52.
7. Marbach G. Glückauf, 1934, № 8.
8. Mohr F. Bergbau — Archiv, 1951, Bd. 14.
9. Niemzuck O. Bergschadenkunde. Glückauf, 1949.
10. Heise F., Herbst F. u. Fritzsche W. Lehrbuch der Bergbaukunde, 1950, Bd. 2.