УДК 622.028

И. А. Южанин, канд. техн. наук, И. А. Колдунов, канд. техн. наук,
А. М. Терлецкий

УкрНИМИ НАНУ, Донецк, Украина

Инструментальные исследования проявления горного давления в шахтных стволах

В статье приведены результаты многолетних инструментальных наблюдений за проявлением горного давления в клетевом стволе № 8 шахты им. В. И. Ленина («Артемуголь») и в воздухоподающем стволе шахты им. Челюскинцев («Донецкуголь»), и на этой основе сделаны выводы про закономерности деформирования крепи стволов. Полученные результаты работы будут использованы для разработки научных основ создания способов и средств обеспечения надежной эксплуатации шахтных стволов.

Ключевые слова: инструментальные наблюдения, горное давление, шахтные стволы, деформирование крепи.

Вопросы охраны и поддержания вертикальных шахтных стволов всегда были одними из наиболее сложных в горной практике.

Безаварийная эксплуатация шахтных стволов связана с решением следующих задач:

– охраной их от влияния очистных выработок;
– обеспечением рациональных условий поддержания стволов путем выбора вида и параметров крепи, соответствующих прочностным и деформационным характеристикам окружающих пород.

Необходимость решения этих задач обострилась в 80-х годах прошлого века, что связано с увеличением глубины разработки до 800 м и более. В этих условиях двух-, а тем более трех- и четырехстороннее оконтуривание предохранительных целиков очистными выработками во многих случаях приводило к повреждениям крепи и армировки, особенно в районах сопряжений стволов с околоствольными выработками.

Более детальное исследование этого вопроса показало, что в основе его лежит не вполне корректный геомеханический подход к построению предохранительных целиков [1, 2]. На малых и средних глубинах разработки влияние очистных выработок на вертикальные шахтные стволы сказывалось в основном в форме сдвижения породного массива. С увеличением глубины ведения горных работ возрастает роль влияния на стволы опорного давления от очистных выработок, оконтуривающих предохранительный целик. Если при малых и средних глубинах разработки величины зоны опорного давления вписывались в границы, очерченные параметрами сдвижения пород, то с увеличением глубины работ зона опорного давления стала выходить за указанные границы. При многократном оконтуривании предохранительных целиков очистными выработками происходит наложение зон опорного давления с нескольких сторон, и ствол оказывается в зоне повышенных деформаций сжатия. А поскольку большинство стволов закреплено монолитной бетонной (в отдельных случаях – в районах сопряжений – железобетонной) крепью, весьма чувствительной к деформациям сжатия (допустимая относительная вертикальная деформация сжатия монолитной крепи составляет 0,85 ‰ [3]), в результате были отмечены многочисленные случаи повреждений крепи и армировки стволов.

Влияние очистных работ у границ предохранительных целиков на состояние стволов подтверждается возникновением повреждений крепи и армировки стволов, совпадающем во времени с оконтуриванием целиков. Степень воздействия определяется интенсивностью ведения очистных работ: количеством влияющих пластов, сторон оконтуривания целиков, степенью оконтуренности целика, величины углов оконтуривания [1, 2].

Это подтверждается также оседанием поверхности у устьев стволов, охраняемых целиками угля. Переопределение высотных отметок стволов показало, что при ведении очистных работ у границ

© И. А. Южанин, И. А. Колдунов, А. М. Терлецкий, 2014

целиков, величина оседания устьев стволов часто превышала 200 мм, достигая в отдельных случаях величин 430—466 мм (например, воздухоподающий ствол шахты "Октябрьский Рудник") [4].

При недостаточных размерах предохранительных целиков ведение очистных работ у границ предохранительных целиков по разрабатываемому или нижележащим пластам приводит к активизации (возобновлению) процессов сдвижения и деформирования околоствольного массива пород. Примером тому служат периодические повреждения крепи ствола № 10 на сопряжении с горизонтом 384 м, находящегося в зоне остаточного опорного давления пл. $l_7^н$ (шахта им. Г. М. Димитрова), при ведении очистных работ по нижележащим пластам.

С другой стороны, ухудшались условия поддержания вертикальных шахтных стволов на больших глубинах вследствие повышения напряженного состояния околоствольного массива пород, при котором окружающие породы переходят в предельное состояние, и изменяется характер их взаимодействия с крепью стволов. Ряд стволов претерпел повреждения крепи на значитетельных участках еще в период их проведения, при этом в отдельных случаях приходилось выполнять ремонт крепи с засыпкой нарушенной части (на шахтах им. Челюскинцев, им. Ильича, им. А. А. Скочинского и др.).

Вышеизложенное послужило причиной для проведения систематических исследований условий охраны и поддержания шахтных стволов для разработки научных основ создания способов и средств обеспечения их надежной эксплуатации.

Исследования включали проведение инструментальных и визуальных наблюдений за проявлением горного давления в шахтных стволах, взаимодействием их крепи с окружающими породами.

Инструментальные наблюдения проводились на всех стадиях эксплуатации шахтных стволов в следующих направлениях.

1. Исследование сдвижений и деформаций околоствольного массива пород, включая земную поверхность.
2. Измерение смещений крепи в стволах и сопрягающихся выработках.

Так в клетевом стволе № 8 шахты им. В. И. Ленина ГП "Артемуголь" ($D_{пр}$ = 9,0 м; $D_{св}$ = 8,0 м; крепь – бетон толщиной 0,5 м) были выполнены долговременные (в течение 7 лет) измерения сближения крепи противоположных стенок ствола по диаметру.

Выбор объекта был обусловлен весьма сложными горно-геологическими и геомеханическими условиями: большая глубина H, м ствола (более 1000 м); неустойчивые вмещающие породы; влияние очистных и сопрягающихся со стволом выработок; неоднократные ремонтные работы на различных участках ствола вследствие повреждений крепи, приуроченные в основном к районам сопряжений ствола с выработками горизонтов 740 м, 850 м, 970 м и 1080 м (шелушение крепи, трещины различной интенсивности, заколы, вывалы (рис. 1).

Замерные пункты (10 пар контурных реперов на противоположных стенках ствола) по глубине от 361 до 960 м располагались в своем большинстве (за исключением пункта на глубине 361 м) на участках ствола, пересекающих глинистые и песчаные сланцы с коэффициентом крепости f = 4—5 (см. рис. 1). Измерения производились измерительным устройством АГ-3 М конструкции ВНИМИ.

По результатам измерений сближений стенок ствола определены величины относительных окружных деформаций бетонной крепи ε_r, мм/м (рис. 2) по формуле:

$$\varepsilon_r = \frac{D_2 - D_1}{D_1},$$

где D_1 – начальный диаметр ствола в свету; D_2 – конечный диаметр ствола в свету.

Крепь на участке измерений была нарушена только на глубине 459 м в начальный период измерений при величине окружной деформации порядка 6,6 мм/м (‰). На остальных участках на конец измерений крепь не была нарушена при деформациях сжатия от 0,9 ‰ до 4,1 ‰. Эти величины намного превышали допустимую величину сжатия бетона, равную 0,85 ‰ [3].

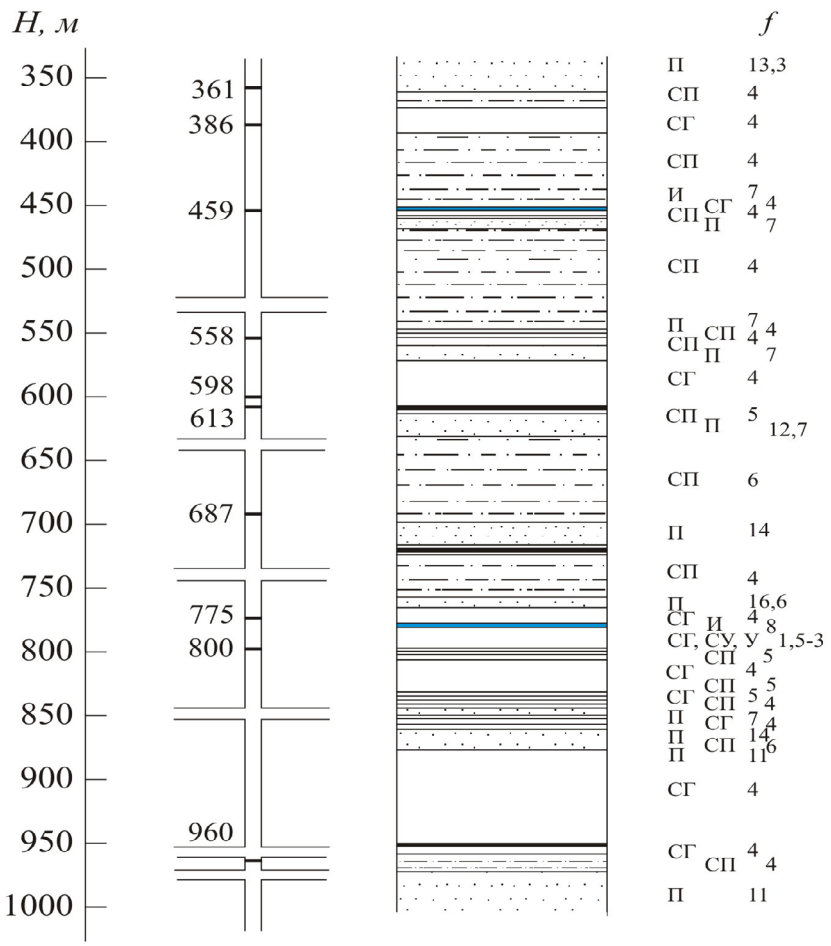

Рис. 1. Разрез по клетевому стволу № 8 шахты им. В. И. Ленина (П – песчаник, СП – сланец песчанистый, СГ – сланец глинистый, И – известняк, У – уголь, СУ – сланец углистый)

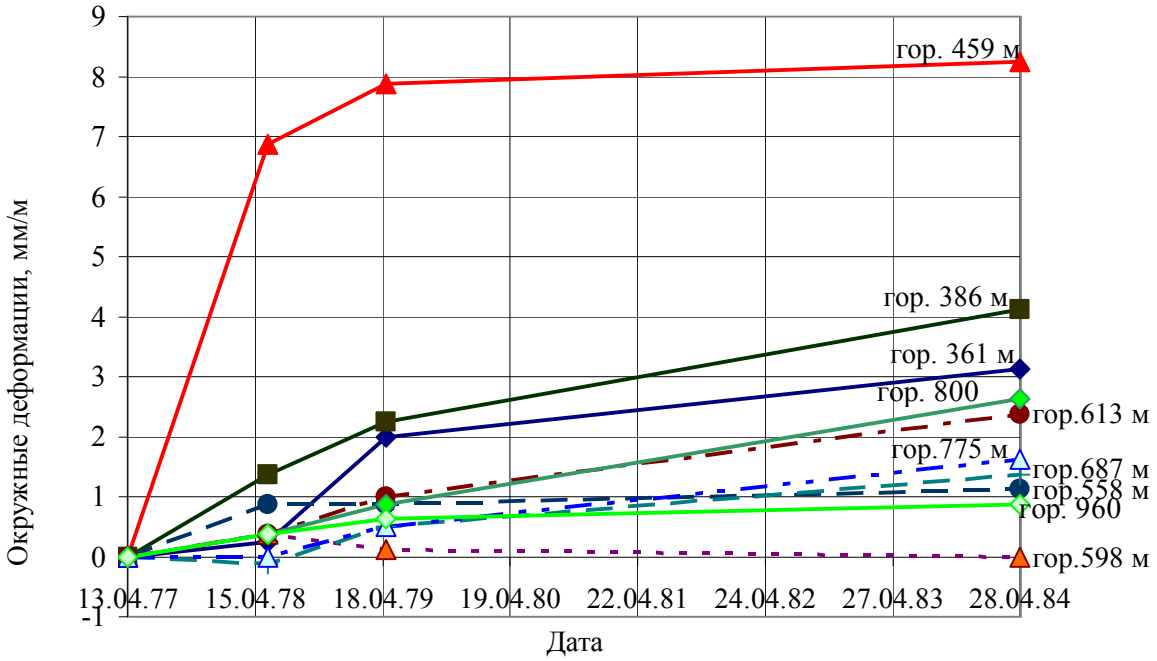

Рис. 2. Графики окружных деформаций крепи ε_r, мм/м клетевого ствола № 8 шахты им. В. И. Ленина (гор. 361 – горизонты на которых осуществлялись замеры)

Таким образом, предельная величина сжатия бетонной крепи в длительном режиме нагружения может быть принята равной 4 ‰.

Повышенные деформации сжатия крепи на горизонте 459 м объясняются тем, что реперы были заложены на участке нарушенной крепи.

В работе [5] величина длительной предельной деформации сжатия бетонной крепи принята равной 6 ‰.

На шахте им. Челюскинцев («Донецкуголь») воздухоподающий ствол ($D_{пр}$ = 6,8 м; $D_{св}$ = 6,0 м) расположен в сложных горно-геологических и геомеханических условиях (угольные пласты, глинистые и песчаные сланцы с коэффициентом крепости f = 1,5—4 на 70 % слагающие околоствольный массив, а также совместное влияние очистных выработок, проводимых у предохранительных целиков в пластах m_3, l_4, k_8). В стволе имели место существенные повреждения крепи и армировки (рис. 3), возникновение которых наблюдалось еще в период строительства.

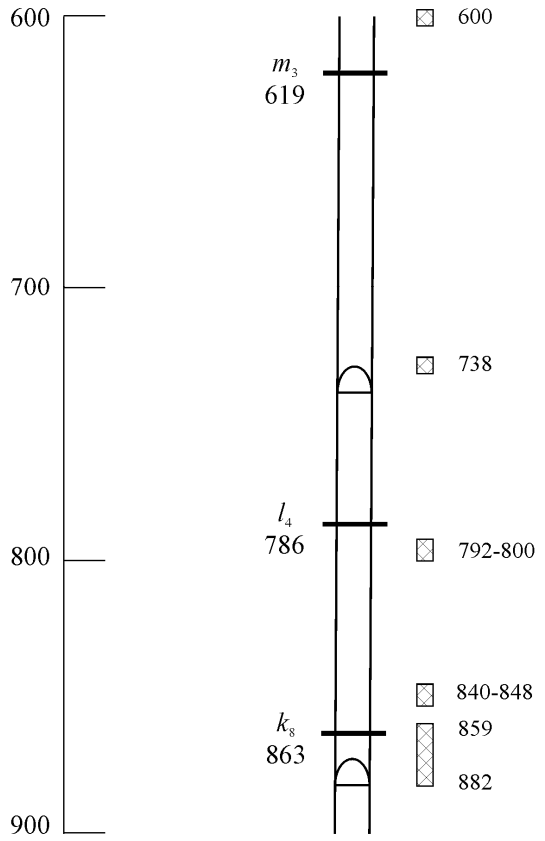

Рис. 3. Участки повреждения крепи в воздухоподающем стволе шахты им. Челюскинцев (600… - глубина ствола в метрах)

В связи с вышеизложенным, в крепи ствола были оборудованы горизонтальные осадочные швы на глубинах 760, 785 и 852 м, а также на отдельных его участках, включая район сопряжения с горизонтом 882 м, где была заложена наблюдательная станция (рис. 4), на которой производились измерения в течение около 4-х лет.

При проведении наблюдений решались следующие задачи:

– установить особенности сдвижения и деформирования околоствольного массива, сложенного неустойчивыми породами, при многократном оконтуривании предохранительных целиков очистными выработками по нескольким пластам;
– проверить эффективность оборудования горизонтальных осадочных швов как конструктивных мер защиты крепи от повышенных деформаций.

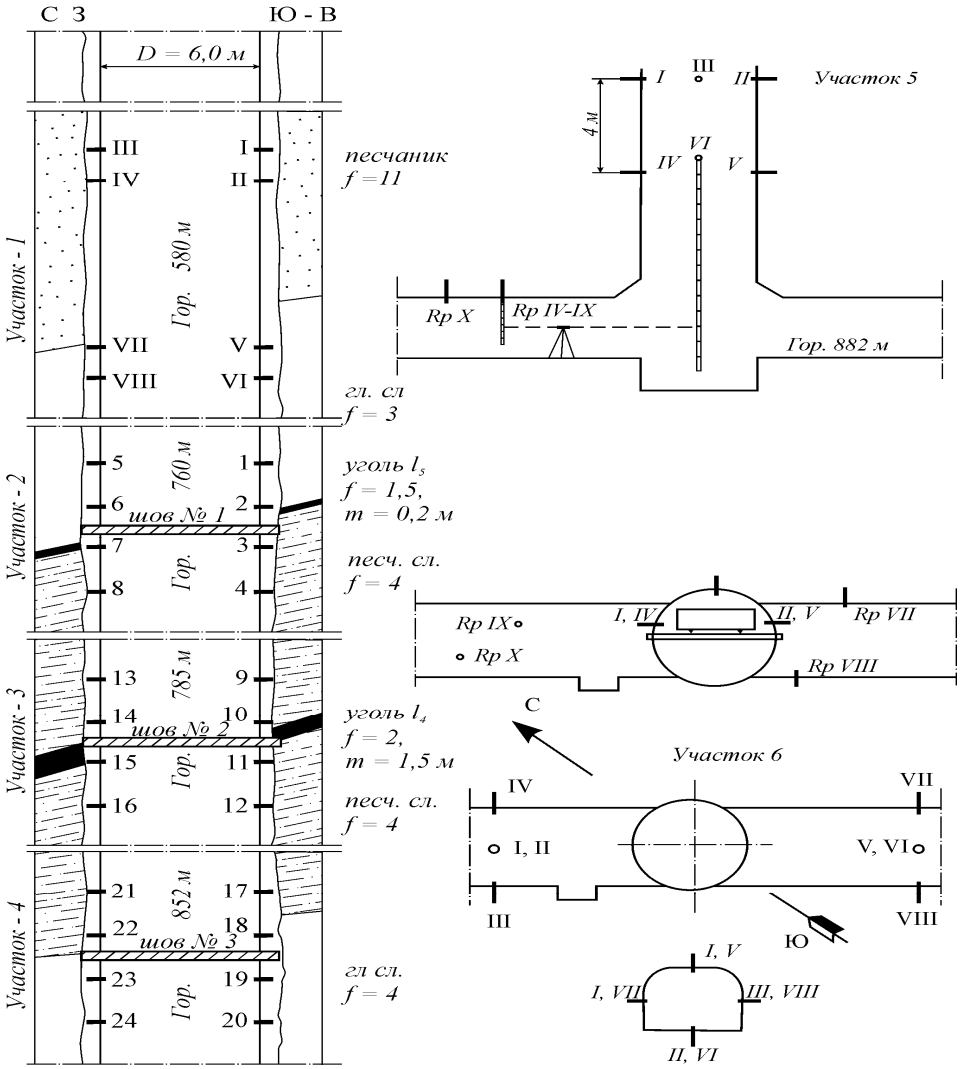

Рис. 4. Геологический разрез по воздухоподающему стволу шахты им. Челюскинцев и расположение замерных пунктов

Результаты инструментальных наблюдений в стволе приведены в табл. 1.

В результате выполненных исследований установлено следующее.

1. Несмотря на то, что предохранительные целики под воздухоподающий ствол построены по граничным углам сдвижения, многократное их оконтуривание очистными выработками приводит к сдвижению и деформированию околоствольного массива. За период около 5,5 года оседание устья воздухоподающего ствола составило 160 мм, т. е. оседание происходило со средней скоростью 2,5 мм в месяц. На конец наблюдений процесс сдвижения массива затухает, но полностью не прекратился.

2. Деформации крепи на протяженных участках ствола носили в основном характер сжатия, как в вертикальном, так и радиальном направлениях. Наибольшие величины деформаций крепи (9,6 ‰) отмечены на участке пересечения стволом пласта l_4 (786 м). Во многих случаях измеренные величины деформаций превышали допустимые деформации сжатия бетонной крепи (0,85 ‰), что вполне объяснимо, если принять во внимание, что на многих участках ствола крепь была нарушена. Кроме того, предельные деформации бетонной крепи намного превышают допустимые (см. выше исследования в клетевом стволе № 8 шахты им. В.И. Ленина ГП "Артемуголь").

3. В большинстве случаев деформации вертикального сжатия крепи в интервалах с осадочными швами (репера 5;1 – 8;4 рис. 5) были выше, чем в интервалах без швов, т. е. деформационные качества крепи с конструктивными мерами защиты выше, чем на участках без конструктивных мер. Исключения их этого правила объясняются причинами по п. 2.

Табл. 1. Результаты инструментальных наблюдений

Глубина *H*, м заложения замерных пунктов	Величина деформаций *ε*, ‰		Примечание
	вертикальных	окружных	
580	-1,3 – 1,8	–	При расстоянии между реперами по вертикали 1,7 м
	-0,4 – 0,1	–	То же, 7,7 м
	–	-0,2 – 0,8	
760	-3 – 1	–	
	-4,0 – 0,5	–	На осадочном шве
	–	-1,5 – 0,2	
785	-9,6 – 0,4	–	Реперы 9, 10
	-2,4 – 0,5	–	Остальные реперы
	-6,0 – 0,9	–	На осадочном шве
	–	-7,6 – -0,4	Реперы 9, 10
	–	-2,0 – 0,2	Остальные реперы
852	-2,4 – 1,0	–	Реперы 19, 20
	-4,5 – 1,0	–	Остальные реперы
	-4,5 – 0	–	На осадочном шве
	–	-2,5 – -1,1	Реперы 21 – 17
	–	-0,5 – 0,8	Остальные реперы
882 (район сопряжения)	-3,0 – -3,5	–	6 – 10 м выше арки
	–	-2,0	10 м выше арки
	–	-8,0	6 м выше арки
	Величина		
	сближения крепи, мм	скорости сближения, мм/месяц	
	-240	12,5	Со стороны падения пород: кровля–почва
	-300	6,9	То же, бока
	-75	1,9	Со стороны восстания пород: кровля–почва
	-60	1,5	То же, бока

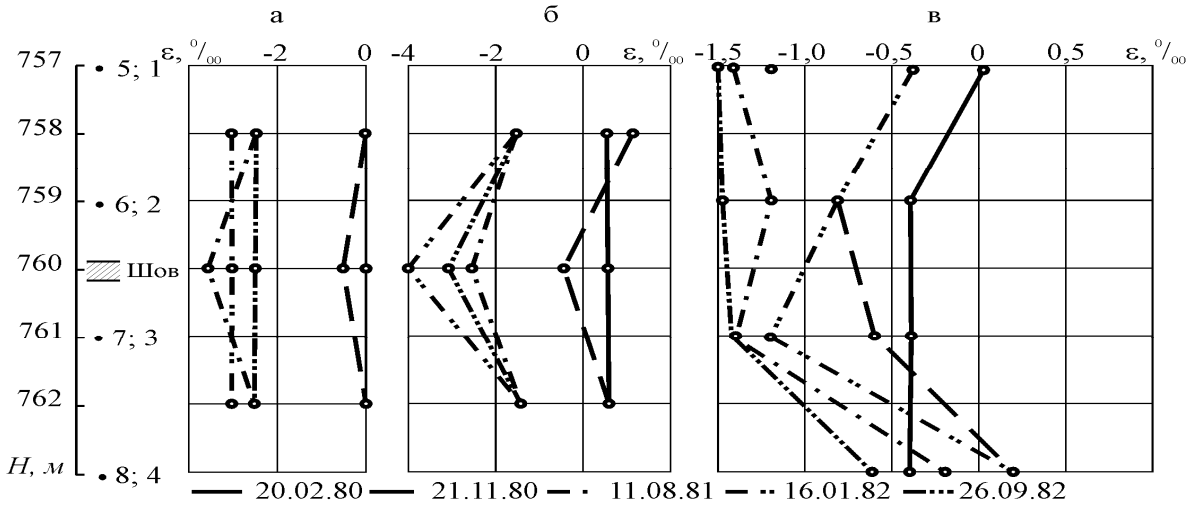

Рис. 5. Графики деформаций крепи воздухоподающего ствола шахты им. Челюскинцев на горизонте 760 м: а) вертикальных С–З стенки ствола; б) вертикальных Ю–В стенки; в) радиальных

4. Характер деформирования крепи выработок в районе сопряжения горизонта 882 м имеет следующие особенности:

– величина деформаций крепи стенок ствола по диаметру в 6 м от арки сопряжения существенно выше величины деформации в 10 м от проема сопряжения (рис. 6);
– величины сближения крепи примыкающих выработок к сопряжению ствола (по кровле-почве и бокам) отличаются по расположению ветвей сопряжения относительно элементов залегания пород: в ветви, расположенной со стороны падения пород, они были значительно выше, чем со стороны восстания.

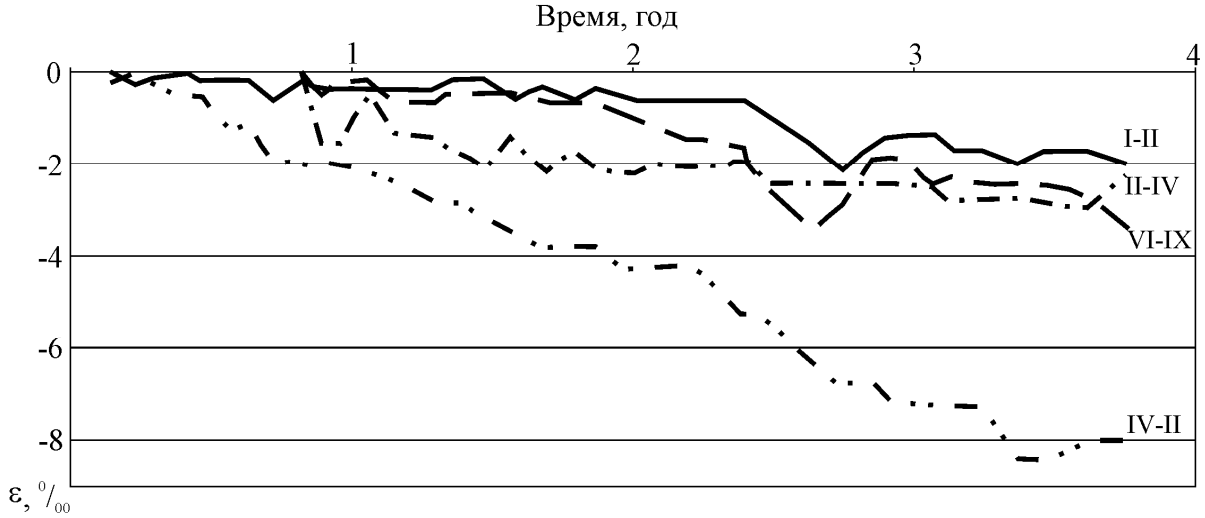

Рис. 6. Графики сближения крепи *ε*, ‰ над сопряжением воздухоподающего ствола шахты им. Челюскинцев с горизонтом 882 м во времени (I… – номера реперов по которым проводились замеры)

Выводы

По результатам исследований можно сделать следующие выводы:

1. Деформации растяжения крепи стволов (вертикальные и окружные) во многих случаях достигали величин 3,3—11,4 ‰, т. е. намного превышали величины допустимых деформаций, равных 0,05—0,25 ‰ [3], и это не всегда приводило к нарушениям крепи.

2. Фактические величины деформаций сжатия монолитной крепи (бетон, железобетон) в длительном режиме нагружения намного превышали допустимую величину деформации сжатия (0,85 ‰). Предельная величина сжатия бетонной крепи в длительном режиме нагружения может быть принята равной 4 ‰.

3. Участки крепи стволов с горизонтальными осадочными швами обладают более высокими деформационными свойствами по сравнению с участками без конструктивных мер защиты.

4. Полученные результаты будут использованы для разработки научных основ создания способов и средств обеспечения надежной эксплуатации шахтных стволов.

Библиографический список

1. Дрибан В. А. Геомеханика управления устойчивостью околоствольного массива горных пород глубоких угольных шахт: дис. на соискание ученой степени д-ра. техн. наук : спец. 05.15.09 "Механика грунтов и горных пород" / В. А. Дрибан. — Днепропетровск, 2004. — 321 с.
2. Кулибаба С. Б. Маркшейдерское обеспечение охраны вертикальных стволов угольных шахт Донбасса: дис. на соискание ученой степени д-ра. техн. наук : 05.15.01 "Маркшейдерия" / С. Б. Кулибаба. — Донецк, 2004. — 318 с.
3. Расположение, охрана и поддержание горных выработок при отработке угольных пластов на шахтах. Методические указания: РД 12.01.01.201 – 98 — [Утв. Минуглепромом Украины 25.06.98]. — Донецк: УкрНИМИ, 1998. — 149 с.
4. Кулибаба С. Б., Голдин С. В. Оседания устьев вертикальных шахтных стволов, охраняемых предохранительными целиками. // Сб. Методы изучения и управления деформациями массива горных

пород при разработке пластов под застроенными территориями и обеспечения устойчивости бортов разрезов: ВНИМИ. – Л., 1987. – С. 11–16.
5. Репко А. А. О предельных деформациях сжатия бетонной крепи вертикальных стволов. / Репко А. А. , Южанин И. А., Савельев А. И., Рубан М. Е. // Шахтное строительство. – 1985.– № 3. - С. 16–17.

Надійшла до редакції 17.06.14

І. А. Южанін, І. О. Колдунов, О. М. Терлецький
УкрНДМІ НАНУ, Донецьк, Україна

Інструментальні дослідження прояву гірського тиску в шахтних стволах

У статті наведено результати інструментальних спостережень за проявом гірського тиску в клітьовому стволі № 8 шахти ім. В. І. Леніна («Артемвугілля») та повітроподавальному стволі шахти ім. Челюскінців («Донецьквугілля»), і на основі цього зроблено висновки про закономірності процесу деформування кріплення стволів. Отримані результати роботи планується використати для розробки наукових основ встановлення способів та засобів забезпечення надійної експлуатації шахтних стволів.

Ключові слова: інструментальні спостереження, гірничий тиск, шахтні стволи, деформування кріплення.

I. Yuzhanin, I. Koldunov, A. Terletsky
UkrNIMI, NAS of Ukraine, Donetsk, Ukraine

Instrumental survey of rock pressure manifestation in mine shafts

Problems related to protection and maintenance of mine shafts were always the most complicated in mining practice. Now the necessity of solving these problems becomes more challenging due to the increase in mining depth. Coal-face work near pillar boundaries leads to activation/reactivation of shaft bottom rock mass movement and deformation. Maintenance conditions of vertical mine shafts at large depths are deteriorated due to the increase in stress condition of shaft bottom rock mass: surrounding rocks transfer into limiting state and engagement between rocks and shaft lining changes. The above said motivated to conduct systematic examination of conditions for protection and maintenance of mine shafts. In this article we describe the results of long-term instrumental observations of rock pressure manifestation in mine shafts. Based on the obtained results we make conclusions that shaft lining tensile deformations (vertical and circumferential) in many cases reach 3.3–11.4 ‰, in other words they greatly exceed values of admissible deformations equal to 0.05–0.25 ‰ that does not always result in lining distortion. Actual values of compressive deformation of monolithic lining (concrete, reinforced-concrete lining) in longtime loading conditions greatly exceed admissible compressive deformation (0.85 ‰). A limiting value of compression for concrete lining in longtime loading conditions can be taken equal to 4.0 ‰. Sections of shaft lining with horizontal settlement joints have higher deformation properties in comparison with sections without structural protection measures. The obtained results will be used for working the scientific basis for creation of methods and means providing reliable operation of mine shafts.

Keywords: instrumental observations, rock pressure, mine shafts, lining deformation.