

УДК 622.016.222

## НАТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ГОРНОГО МАССИВА В РАЙОНЕ СОПРЯЖЕНИЯ ГЛУБОКОГО ВЕРТИКАЛЬНОГО ШАХТНОГО СТВОЛА

Дрибан В. А, Колдунов И. А.  
(УкрНИМИ НАНУ, г. Донецк, Украина)

*На основі експериментальних досліджень виконано аналіз динаміки деформування приствольного масиву в районі сполучення ствола в період його будівництва.*

*Based on the field research, analysis of the deformation dynamics of the shaft rock mass in the area of its transition during construction is made.*

В период проведения к стволу сопрягающихся ветвей возникают дополнительные концентрации напряжений, вызывающие активизацию деформационных процессов в околоствольном массиве, что, в свою очередь, нередко является причиной возникновения различного рода повреждений крепи и армировки.

Существующие нормативно – методические документы не учитывают целый ряд особенностей деформационных процессов при проведении выработок и их влияния на устойчивость сопряжений ствола. А именно, не изучены пространственно-временные параметры формирования области взаимного влияния вновь проводящейся выработки и сопряжения и степени их воздействия на крепь сопряжения. Указанные вопросы требуют решения для принятия инженерных и технических мероприятий, как на стадии проектирования, так и в процессе строительства глубоких сопряжений стволов для их безопасной и устойчивой эксплуатации.

Ранее по результатам инструментальных наблюдений была выполнена оценка параметров деформирования околоствольного

массива во время проведения одной из сопрягающихся ветвей к восточному воздухоподающему стволу (ВВПС № 2) АП «Шахта им. А. Ф. Засядько» [1].

В настоящей работе дан детальный постадийный анализ процесса деформирования околоствольного массива включающий наблюдения за его началом, развитием и затуханием.

#### **Горнотехническая характеристика объекта исследований.**

ВВПС № 2 пройден буровзрывным способом с 01.03.2000 г. по 29.10.2001 г. Протяженная часть закреплена бетоном толщиной 0,5-0,7 м. После проходки в стволе были разделаны: две камеры (перекачного горизонта и кабельных муфт) на глубинах 564 и 675 м; рассечки сопряжений под водотрубный ходок на глубине 1194 м, грузовую и порожняковую ветви главного горизонта 1235 м и сопряжение с ходком чистки зумпфа на глубине 1245 м. На участке сопряжения с основным горизонтом ствол закреплен железобетоном толщиной около 1 м. Проектные характеристики ВВПС № 2 представлены в табл. 1.

Таблица 1

Проектные характеристики ВВПС № 2

Наименование показателей	Значение показателей
Глубина ствола, м	1267,5
Диаметр ствола в свету, м.	7,0
Диаметр ствола в черне, м	8,0-9,0
Площадь сечения в свету, м <sup>2</sup>	38,5
Площадь сечения в проходке, м <sup>2</sup>	50,3
Вид крепи ствола	Бетон, бетон с анкерами, железобетон, ж/б тубинги
Толщина крепи ствола, мм	500-1000
Армирование	Металлическая жесткая

ВВПС № 2 охраняется предохранительными целиками, построенными согласно "Правилам охраны..." [2] и пересекает выработанное пространство пластов  $n_1$  и  $m_3$ . В пределах околоствольного целика пласты  $n_1$  и  $m_3$  отработаны ранее:  $n_1$  - шахтой

"Бутовская" ПО Макеевуголь в 1960-64 гг.,  $m_3$  – шахтой им. А. Ф. Засядько в 1991-2000 гг. (12-я - 15-я восточные лавы). В настоящее время ведутся очистные работы по пласту  $m_3$  в районе расположения околоствольного целика.

### **Образование нарушений крепи.**

Визуальное обследование ВВПС № 2, проведенное в марте 2003 г. сотрудниками УкрНИМИ, показало, что крепь ствола на всем протяжении находилась, в основном, в удовлетворительном состоянии, за исключением участка в интервале глубин 1176-1188 м, где были выявлены следующие повреждения крепи (рис. 1). На северо-восточной и юго-западной стенках ствола были обнаружены системы трещин и вертикальных заколов шириной до 4 метров. Произведена оборка участков нарушенной крепи на глубину 150-400 мм. На уровне отработанного пласта  $m_3$  наблюдалась горизонтальная трещина по юго-западной стенке ствола. Снизу и сверху нарушенные зоны ограничивались горизонтальными деформационными швами, оборудованными в крепи на глубинах 1176 и 1188 м при проходке ствола.

Выполненное обследование состояния крепи и армировки ствола свидетельствует о значительных радиальных и вертикальных нагрузках на крепь, превышающих предел ее прочности.

Анализ геомеханической ситуации в околоствольном массиве позволил установить, что причиной описанных нарушений явилось влияние очистных выработок, проводимых по пласту  $m_3$ . После проходки ВВПС № 2 в 2002 г. со стороны падения пласта  $m_3$  на расстоянии 350 м от оси ствола была отработана 16-я восточная лава шахты им. А. Ф. Засядько (рис. 2), которая вызвала активизацию геомеханических процессов в околоствольном массиве горных пород в районе старых очистных выработок.

Расчеты изменения напряженного состояния околоствольного массива при проведении очистных выработок по пласту  $m_3$  приведенные в [3], показали следующее. При работе 16-ой восточной лавы в районе пересечения ствола с выработанным пространством (глубина 1185,5 м) в околоствольном массиве возникли дополнительные напряжения сжатия порядка 0,6-0,8 МПа, что, явилось причиной нарушения возведенной при проходке крепи (несущая способность порядка 0,5 МПа).

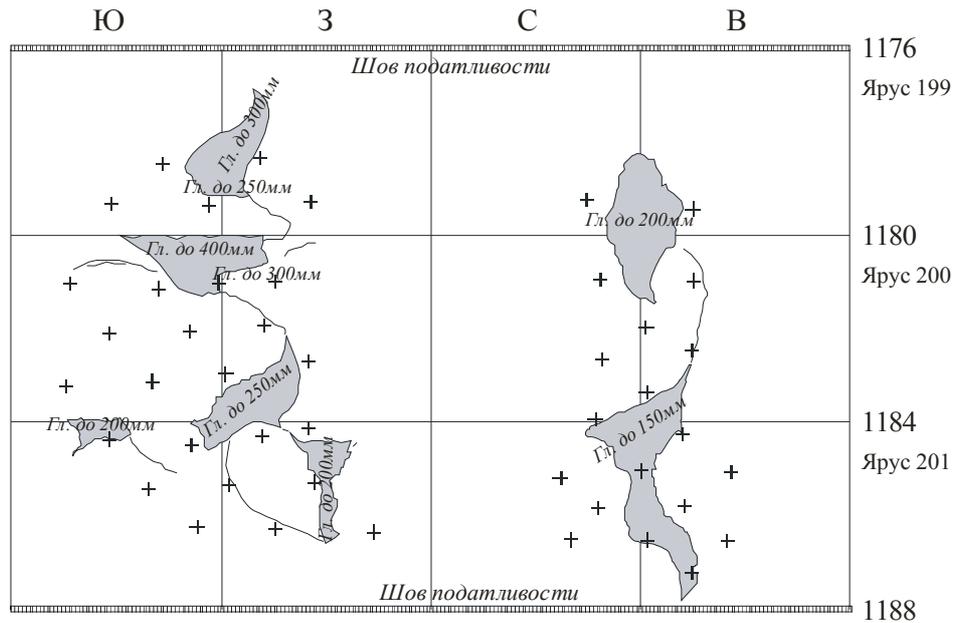


Рис. 1. Эскиз первичных повреждений крепи в интервале глубин 1176-1188 м (влияние очистных работ)

На указанном участке ствола (1176-1188 м) нарушенная бетонная крепь была обобрана и усилена путем установки на анкерах 15 колец из спецпрофиля СВП-33 через 0,8 м. По рекомендациям УкрНИМИ участок был затянут металлической сеткой, а на уровне отработанного пласта  $m_3$  был оборудован горизонтальный осадочный шов.

Отметим, что дальнейшее ухудшение состояния указанного участка возобновилось при проходке к нему через два года грузовой ветви горизонта 1235 м.

#### **Влияние проведения грузовой ветви.**

Обследование ствола, проведенное в августе 2005 г. (после сбойки с ним грузовой ветви сопряжения горизонта 1235 м), показало, что крепь до глубины 1175 м, а армировка до глубины 1164 м находилась в удовлетворительном состоянии. Ниже 1164 м процесс деформирования околоствольного массива (включая сопряжение ствола с горизонтом 1235 м) продолжал развиваться. В интервале глубин 1176-1188 м интенсивность нарушений крепи возросла. На рис. 3 штриховой линией показаны вновь появившиеся повреждения крепи ствола: сколы и вывалы бетона; закол длиной около 10 м и шириной 0,7 м на восточной стенке ствола. Отметим, распространение трещины в крепи на

юго-западної стінки ствола на ділянку 1175-1176 м, верхня відмітка, якою дозволяє оцінити розмір впливу зони необратимих деформацій околовствольного масиву на кріплення ствола (приблизно 30 м від своду сопряження горизонтів). В той же час для армування, як більш чутливого елемента вплив розповсюджується на 10 м вище. Об цьому свідчать вигини проводників і розриви в інтервалі глибин 1164-1181 м (стріла прогибу проводників досягала 95 мм).

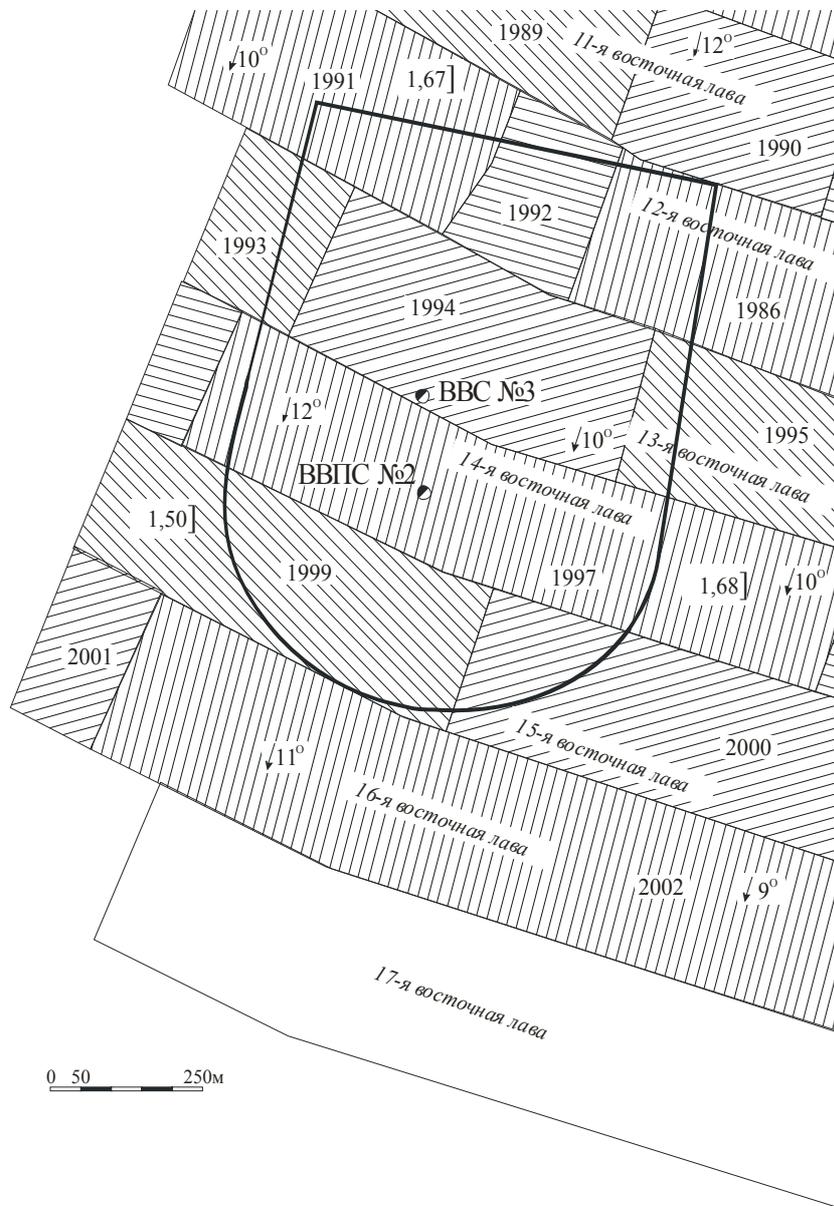


Рис. 2. Выкопировка с плана горных работ по пласту  $m_3$  шахты им. А. Ф. Засядько



3. На южной стенке ствола на уровне свода сопряжения со стороны порожняковой ветви появился закол со скалыванием крепи площадью более  $1 \text{ м}^2$  и глубиной до 200 мм. Скалывания бетона на глубину 100-150 мм отмечались ниже почвы сопряжения горизонта 1235 м. В фундаменте под оборудование со стороны грузовой ветви в стволе появилась горизонтальная трещина длиной более 2 м с раскрытием до 30 мм.

4. Отмечены деформации металлической арочной крепи в грузовой ветви рудвора горизонта 1235 м на расстоянии порядка 30 м от ствола.

Характер повреждений крепи позволяет сделать вывод, что засечка под грузовую ветвь сопряжения ствола при сбойке испытала значительное боковое давление.

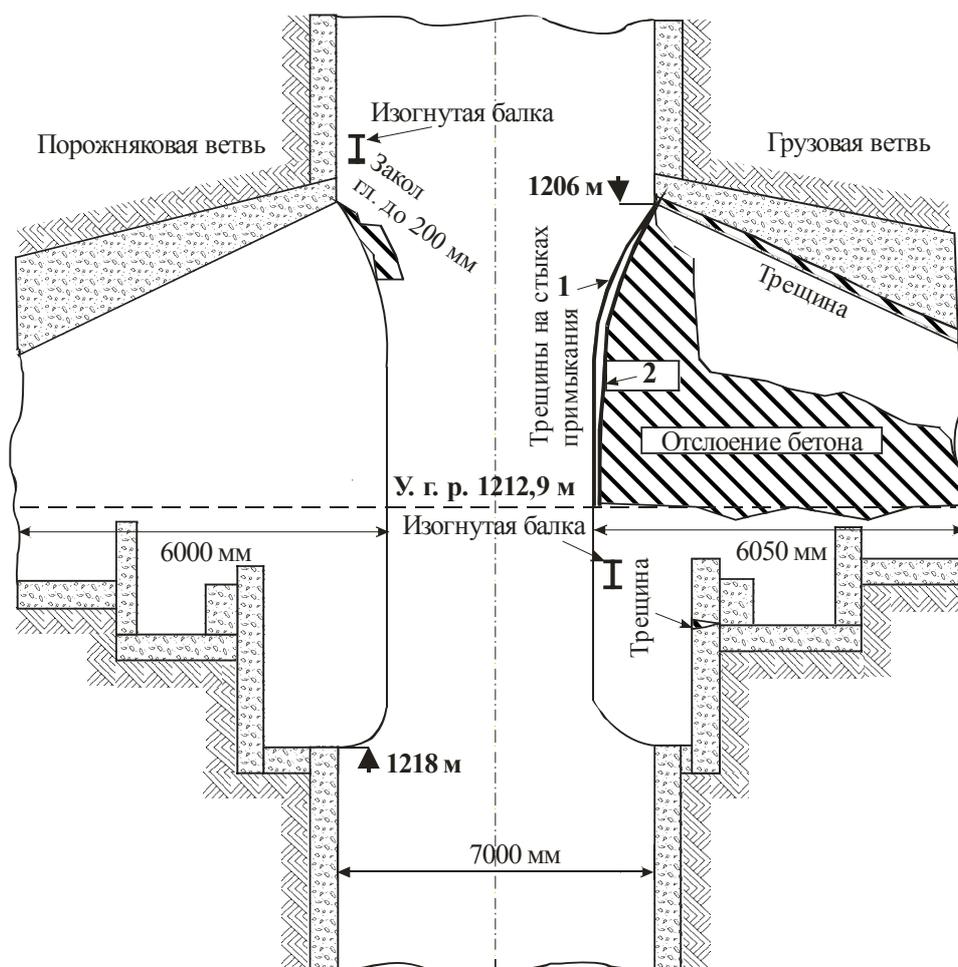


Рис. 4. Влияние сбившейся грузовой ветви на крепь сопряжения ствола горизонта 1235 м

### Влияние проведения порожняковой ветви.

Обследование ВВПС № 2, проведенное в июле 2006 г., во время проходки к нему порожняковой ветви горизонта 1235 м (расстояние между объектами составляло немногим более 20 м), показало, что состояние крепи и армировки ствола до глубины 1175 м за прошедший период не изменилось. Ниже процесс деформирования околоствольного массива, включая сопряжение ствола с горизонтом 1235 м, продолжал развиваться. В интервале глубин 1176-1188 м интенсивность нарушений крепи возросла.

Глубина вывалов бетонной крепи увеличилась, местами до обнажения породы. Толщина крепи на отдельных участках составляла порядка 200 мм. Отмечается дальнейшее развитие трещины с юго-запада на юго-восток по диагонали между 199 и 200 ярусами с образованием коржа размерами примерно  $1,5 \times 1,5$  м. Вновь появившиеся нарушения крепи показаны на рис. 5 (штриховой линией представлены свежие сколы бетона).

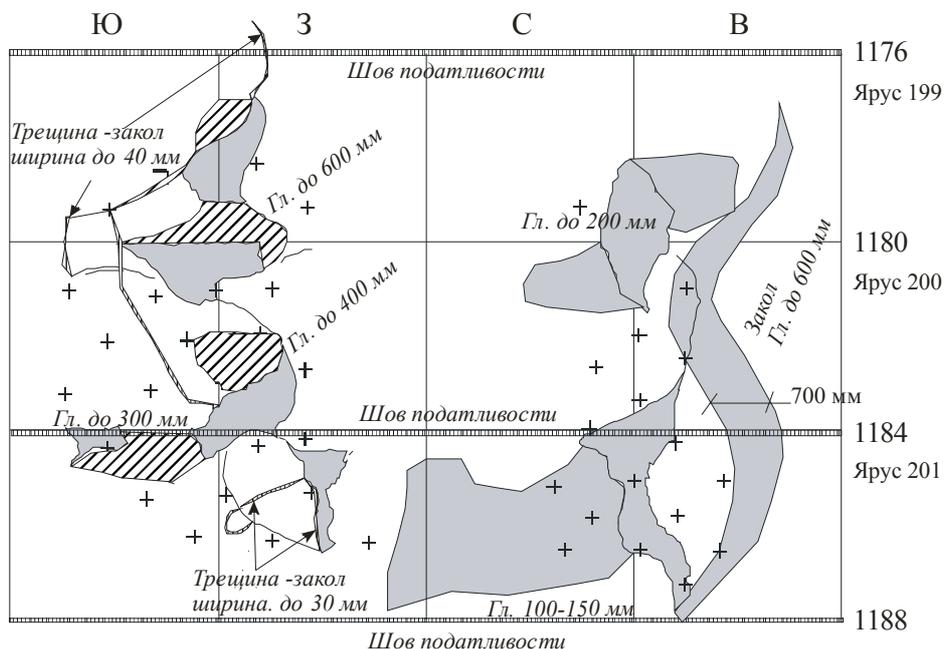


Рис. 5. Влияние проведения порожняковой ветви горизонта 1235 м на ствол в интервале глубин 1176-1188 м

Ниже 201 яруса на юго-западной стенке ствола образовалась трещина, переходящая в закол длиной около 1 метра с раскрытием 0,03 м. Повреждения крепи ствола на участке 1175-1176 м (за-

колы в крепи) стали интенсивнее. Перечисленные выше нарушения крепи произошли после разделки сопряжения порожняковой ветви с камерой ЦПП (примерно 40 м от ствола). Необходимо отметить, что при этом был извлечен большой объем породы, что вероятно и послужило толчком для активизации процесса деформирования околоствольного массива.

Отметим, что в дальнейшем в интервале глубин 1174-1188 м существенного ухудшения состояния крепи, не происходило (имело место локальное развитие и небольшая интенсификация прежних нарушений). В тоже время непосредственно на сопряжении ствола с горизонтом 1235 м, как будет показано ниже, процесс деформирования крепи только начинался.

Осмотр, проведенный 26.07.06 г. в районе проёмов сопряжения ствола с руддвором горизонта 1235 м позволил установить следующее.

1. Отмечаются локальные скалывания бетона в стволе и на сопряжении с горизонтом 1235 м, но в целом общее состояние сопряжения с момента сбойки с ним грузовой ветви изменилось незначительно.

2. Имеются деформации металлической арочной крепи в грузовой ветви руддвора горизонта 1235 м на расстоянии порядка 40 м от ствола.

Визуальное обследование ВВПС № 2, проведенное при возобновлении проходки порожняковой ветви 07.08.06 г. (после трехнедельной технологической останковки) не выявило каких-либо существенных изменений в состоянии ствола и его сопряжения. Исключение составляет новый закол под засечкой под порожняковую ветвь, появившийся в тот момент, когда расстояние от выработки до ствола составило 20 м.

**Продолжение процесса деформирования массива после сбойки порожняковой ветви со стволом.**

После сбойки порожняковой ветви (26.08.06 г.) в интервале глубин 1175-1188 м (нарушенный с 2003 г. участок ствола) существенного ухудшения состояния крепи, не произошло. В тоже время процесс деформирования массива пород продолжался, о чем свидетельствует развитие имеющегося закола в интервале глубин 1174-1175 м на юго-западной стенке ствола (см. рис. 5).

На сопряжении ствола с выработками горизонта 1235 м наблюдалось появление новых, и развитие имеющихся поврежденных крепи (рис. 6), а именно.

1. Образование нового закола, проходящего в кровле бетонной крепи засечки сопряжения под порожняковую ветвь по всей её длине (6 м), глубиной возможно на всю толщину крепи. На всем протяжении нарушения наблюдаются сколы и вывалы бетона шириной до 200 мм. Следует отметить, что при сбойке грузовой ветви с сопряжением, аналогичный закол возник в кровле засечки на эту ветвь.

2. Скалывание бетона с поверхности крепи, трещины, заколы, вывалы в грузовой ветви глубиной порядка 200–300 мм (в основном развитие имеющихся повреждений).

3. В интервале глубин 1205-1223 м формирование двух коржей бетона площадью около 15 м<sup>2</sup> каждый. Первый - образованный заколом, берущим начало от трещины 1 (см. рис. 6), расположенной на стыке сопряжения грузовой ветви с юго-западной стенкой ствола и продолжающимся сначала по диагонали вниз по этой же стенке, а затем почти горизонтально на глубине примерно 1223 м с раскрытием более 200 мм; второй корж бетона – почти зеркальное отражение первого на северо-восточной стенке ствола, образовавшийся заколом, возникшим от трещины 2 (противоположной трещине 1).

4. Трещины 1 и 2, возникшие после сбойки грузовой выработки со стволом в 2005 г. (см. рис. 4) в настоящий момент получили значительное развитие. Они распространяются практически на всю вертикальную зону примыкания выработки к стволу (по высоте 12 м) и в нижней части переходят в заколы. Раскрытие трещин увеличивается сверху вниз, а именно: 1 – с 50 мм до 200 мм, 2 – с 30 мм до 100 мм. Ширина зоны скалывания бетона вокруг трещин в некоторых местах достигает 1 м.

5. Деформирована и частично разрушена часть отбойной стены 3 (см. рис. 6).

6. Сужение колеи проводников и значительная деформация двух расстрелов 4 (см. рис. 6). Подчеркнём, что эти балки уже были заменены в 2005 г.

Обратим внимание на концентрацию разрушений крепи в грузовой части сопряжения (дальней к выполненной сбойке), хотя из общих соображений процесс деформирования должен был в большей мере проявиться на ближайшей засечке под порожняковую ветвь. Это объясняется тем, что с окончанием проходки порожняковой ветви, процесс деформирования околоствольного массива был в развитии и не достиг (как показали дальнейшие наблюдения) критических значений для крепи порожняковой части сопряжения. Вместе с тем, нагрузки в околоствольном массиве были достаточными, чтобы возобновить деформации крепи в грузовой части, ослабленной при предыдущей сбойке.

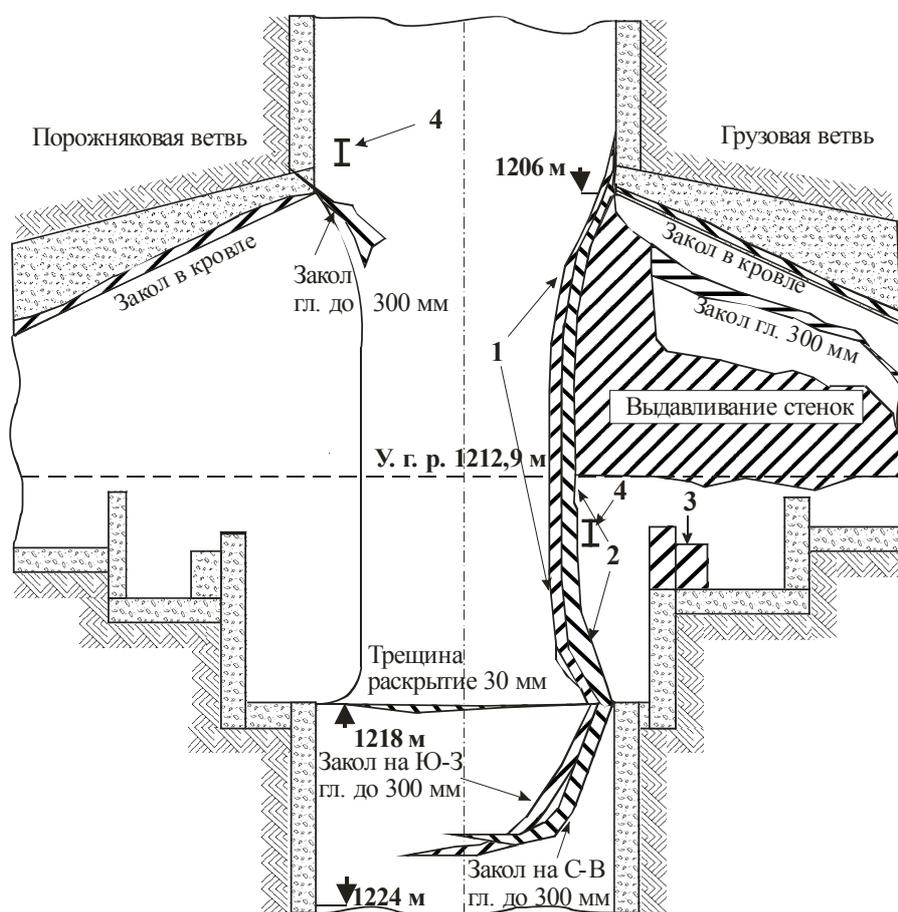


Рис. 6. Влияние сбойки порожняковой ветви на сопряжение ствола горизонта 1235 м

Обследование ствола, проведенное через две недели после сбойки с ним порожняковой ветви (13.09.06 г.), подтвердило сделанный выше вывод - процесс деформирования околоствольного

массива в районе сопряжения с горизонтом 1235 м продолжает развиваться. В интервале глубин 1213-1223 м интенсивность старых нарушений крепи возросла. Наблюдалось отслоение некоторой части бетонных коржей с обнажением арматуры с образованием каверн глубиной до 0,2 м.

Отмечено образование вертикальной трещины в интервале глубин 1218-1221 м со стороны порожняковой ветви. Трещина сопровождалась отслоениями бетона шириной до 0,2 м с обнажением арматуры.

В интервале глубин 1175-1188 м видимого ухудшения состояния крепи не произошло.

Осмотр ВВПС № 2, проведенный через пять недель после сбоя с ним порожняковой ветви (03.10.06 г.), показал, в интервале глубин 1213-1223 м интенсивность старых нарушений крепи не возросла. Исключение составляет, развившейся в закол вертикальной трещина на стенке ствола под сопряжением горизонта 1235 м со стороны порожняковой ветви, с образованием коржа бетона площадью до 10 м<sup>2</sup>. Отмечены локальные скалывания бетона глубиной до 0,2 м в нарушенных ранее местах.

Состояние крепи выше горизонта не ухудшилось.

По характеру и интенсивности деформаций крепи, этот период можно охарактеризовать, как начало завершения активизации процесса деформирования околоствольного массива, вызванного проведением ветвей сопряжения горизонта 1235 м.

Обследование ствола, проведенное через две недели (18.10.06 г.), позволило установить, что процесс деформирования околоствольного массива в районе сопряжения с горизонтом 1235 м продолжается (хотя не так интенсивно как несколько недель назад). В интервале глубин 1205-1223 м интенсивность старых нарушений крепи возросла (рис. 7).

Трещины, образованные на стыке грузовой ветви со стволом расширились, и превратилась в заколы по всей вертикальной части примыкания с раскрытием до 250 мм.

Усиленная анкерами, юго-западная стенка грузовой части сопряжения видимо смещается во внутрь выработки (металлический настил на почве, упирающийся в боковую крепь, был обрзан более чем на 200 мм).

Произошло обрушение бетонных коржей с образованием каверн (в некоторых местах глубиной до 0,5 м) в интервале отметок 1218-1221 м на юго-западной и северо-восточной стенке ствола (см. рис. 7).

В этом же интервале глубин на юго-восточной стенке ствола зафиксирована аналогичная ситуация. Участки усилены анкерами с плотностью четыре анкера на метр квадратный.

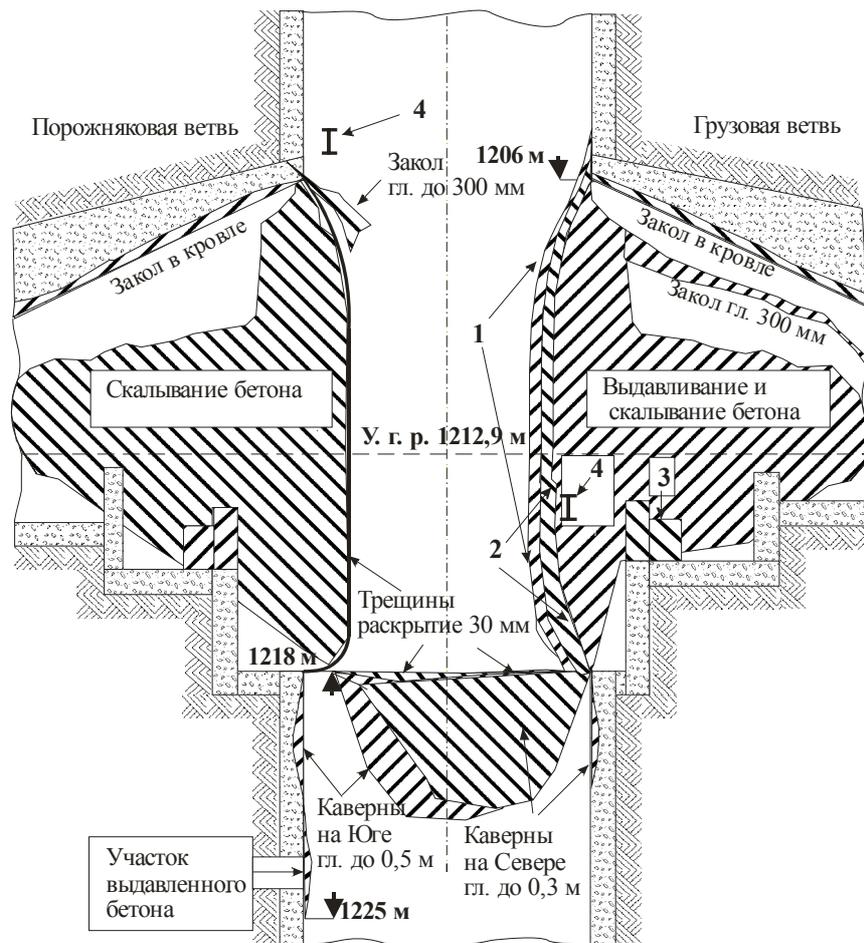


Рис. 7. Повреждения крепи ВВПС № 2 в районе проемов сопряжения горизонта 1235 м после завершения активизации деформирования околоствольного массива

Осмотр, выполненный 31.10.06 г. показал, что за прошедшие две недели в интервале глубин 1174-1188 м и в районе проёмов сопряжении ствола с выработками горизонта 1235 м видимого изменения состояния крепи не произошло.

Зафіксовано появлення нових, и развитие имеющихся повреждений крепи в интервале глубин 1190-1204 м, а именно:

– образование диагональной трещины длиной около 2 м ниже засечки под водотрубный ходок сопряжения ствола горизонта 1194 м;

– появление новой трещины в районе яруса 206 на северо-восточной стенке;

– пучение почвы порожняковой ветви у ствола;

– выдавливание бетонной крепи с анкерами в стволе на глубине примерно 1223-1225 м со стороны порожняковой ветви.

При проведении наблюдений 29.11.06 г. и 04.01.07 г. видимых изменений состояния крепи ВВПС № 2 на нарушенных участках не отмечено. Это дало основание полагать, что процесс деформирования околоствольного массива, вызванный проведением двух основных ветвей сопряжения ствола завершился, что также подтвердили инструментальные измерения на наблюдательной станции в этом районе приведенные в [1].

### **Выводы.**

Проведенные исследования показывают, что на больших глубинах активизация процесса деформирования околоствольного массива в районе сопряжения ствола может возникать даже при незначительных возмущающих воздействиях. Основными факторами, инициирующими этот процесс, являются ведение очистных работ в районе предохранительного целика и проведение выработок околоствольного двора. При этом на формирование участков повышенных напряжений, степень влияния и время протекания процесса деформирования околоствольного массива оказывают существенное влияние физико-механические свойства вмещающих пород, тип крепи и вид сопряжения.

В процессе проведения сбойки динамические участки повышенных напряжений могут достигать в высоту 30-40 м, что 1,5-2 раза превосходит размеры стационарной области влияния сопряжения.

Необходимо отметить, что деформирование массива вокруг сопряжения носит неравномерный характер, как в пространстве, так и во времени, и непосредственно зависит от расстояния до за-

боя проходки, физико-механических свойств породного массива и характеристик крепи ствола. Так влияние проведения сопрягающейся выработки может быть ощутимо на краевых участках зоны влияния сопряжения при расстоянии 20-40 м забоя проходки до ствола. При этом крепь непосредственно в проеме сопряжения критических воздействий не испытывает. При сокращении же расстояния ситуация кардинально меняется – основные дополнительные нагрузки принимает на себя именно крепь сопряжения в то время как состояние краевых частей стабилизируется.

По характеру деформирования крепи сопряжения после сбойки с ним сопрягающихся ветвей можно заключить, что засечки ствола под ветви испытывают значительные боковые нагрузки, в результате чего стенки выработок смещаются внутрь, с образованием в своде характерного продольного закола.

Выявленные особенности характера деформирования околоствольного массива дают возможность целенаправленно разрабатывать конструктивно-технологические мероприятия, обеспечивающие охрану и поддержание сопряжений глубоких шахтных стволов, как на стадии проектирования, так и в процессе их сооружения и эксплуатации.

## **СПИСОК ССЫЛОК**

1. Оценка параметров деформирования околоствольного массива при проведении сопрягающихся выработок [Текст] / В. А. Дрибан, И. А. Колдунов, С. А. Побойный // Уголь Украины. – 2008. - № 11.
2. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях [Текст] / Министерство угольной промышленности СССР. – М.: Недра, 1981. - 288 с.
3. Дослідження напружено-здеформованого стану масивів гірських порід при відпрацьовуванні пластових родовищ корисних копалин [Текст] : звіт про НДР (проміжучоч.) / УкрНДМІ; кер. В. О. Дрибан.– 6/03 ; № ДР 0102U007320. – Д., 2007. – 217 с.