

PACS: 62.20.F, 91.10.Kg

А.О. Новиков¹, И.Н. Шестопапов²

ШАХТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЕФОРМИРОВАНИЯ МАССИВА,
ВМЕЩАЮЩЕГО ВЫРАБОТКИ С
КОМБИНИРОВАННОЙ РАМНО-АНКЕРНОЙ КРЕПЬЮ

¹Донецкий национальный технический университет

²Институт физики горных процессов

Статья поступила в редакцию 22 октября 2018 года

Представлены сводные результаты шахтных инструментальных наблюдений за смещениями вмещающих пород в подготовительных выработках, закрепленных анкерно-рамными и рамно-анкерными крепями. Исследования проведены на комплексных замерных станциях, оборудованных на экспериментальных и контрольных участках. Установлены особенности развития деформационных процессов, протекающих и развивающихся в породном массиве, вмещающем выработки с комбинированной крепью.

Ключевые слова: выработка, рама, оболочка из скрепленных анкерами пород, особенности деформирования, методика расчета, комбинированная крепь

Введение

Перспективы развития угледобывающей отрасли связаны с усложнением горно-геологических условий отработки пластов (глубина работ достигает 1400 м). Все более актуальной становится проблема обеспечения длительной устойчивости выработок, от успешного решения которой зависит безопасность и эффективность работы предприятий. На шахтах Донбасса для поддержания выработок преимущественно используются арочные металлокрепления из спецпрофиля, объем применения которых достигает 95%, а металлоемкость – 1 т/м. Уже сейчас средний размер поперечного сечения выработки в свету превышает 13.8 м², при этом почти 35% выработок закреплены рамами из СВП-33 с плотностью 2 рамы на метр. Однако состояние поддерживаемых выработок ежегодно ухудшается. Так, средняя протяженность ежегодно ремонтируемых выработок составляет 57%, а полностью перекрепляемых – 25%. Это увеличивает эксплуатационные затраты и ограничивает нагрузку на лавы.

Одним из перспективных направлений повышения устойчивости выработок является усиление рамной крепи анкерами, которые дают возможность использовать природную прочность пород, вовлекая массив в совместную работу с крепью. Вместе с тем опыт применения комбинированного крепления [1] пока-

зывает, что эффективность его использования зависит от степени развития деформационных процессов во вмещающем выработку породном массиве к моменту выполнения работ по усилению крепи. В этой связи проведение исследований, направленных на обоснование рациональных параметров комбинированного рамно-анкерного крепления, обеспечивающего длительную устойчивость поддерживаемых выработок, является весьма актуальным.

Анализ публикаций, посвященных изучению взаимодействия комбинированной крепи и массива, а также разработке методик расчета их параметров, позволил разделить эти публикации на 3 большие группы, в которых:

1) учитывается наличие анкерной крепи с помощью коэффициента упрочнения вмещающих пород, зависящего от плотности установки и параметров анкеров [2,3];

2) рассматривается комбинированная крепь как единая грузонесущая конструкция, параметры которой определяются ожидаемыми смещениями контура незакрепленной выработки, зависящими от горно-геологических и горнотехнических факторов, характеризующих условия ее заложения [4];

3) рассматривается комбинированная крепь как единая связная конструкция, параметры которой рассчитываются теоретически с использованием положений строительной механики [5–7].

Необходимо отметить, что перечисленные направления имеют ряд системных недостатков, что в определенных геомеханических условиях приводит к ошибкам проектирования. Во-первых, указанные подходы рассматривают породно-анкерную конструкцию как статическую систему с фиксированными физико-механическими свойствами. В то же время по мере развития полей деформаций и напряжений в массиве либо часть, либо вся система переходит в предельное состояние, сохраняя при этом определенную несущую способность. Во-вторых, ввиду необратимости геомеханических процессов поведение системы существенным образом зависит от стадии ее ввода в работу по отношению к степени реализации необратимого деформирования вмещающего массива при проходке выработки до установки анкеров.

Следствием указанных обстоятельств явилось то, что на данный момент отсутствуют четкие разграничения между существующими конструкциями комбинированных крепей на основе анкерных систем, а расчетные методики не принимают к учету изменение грузонесущей способности породно-анкерных конструкций в процессе эксплуатации, что не позволяет достоверно рассчитать параметры крепи, обеспечивающие длительную устойчивость выработок. Таким образом, можно констатировать, что в настоящее время отсутствуют научно обоснованные рекомендации по определению времени и места установки анкеров относительно проходческого забоя.

В результате проведенных авторами лабораторных исследований [1] обнаружено, что эффективность усиления рамной крепи анкерами зависит от размеров зоны разрушенных пород (ЗРП), образовавшейся вокруг выработки на момент установки анкеров. Так, при размере ЗРП до половины глубины анкер-

рования остаточная прочность укрепленных пород составляет не менее 50% от первоначальной, и соответственно смещения контура выработки уменьшаются на 40% и более. Указанное обстоятельство дает основание полагать, что управление пространственно-временными параметрами установки анкерных систем позволяет существенно повысить устойчивость горных выработок.

Целью проведенных исследований являлось изучение с помощью натуральных наблюдений особенностей деформирования массива, вмещающего выработки с комбинированным рамно-анкерным креплением, в зависимости от временных и пространственных параметров установки усиливающей крепи.

Изложение результатов исследований

Шахтные исследования проведены авторами в подготовительных выработках шахты «Добропольская». Комплексные станции (рис. 1) устанавливали в забое выработок, при этом усиление рамной крепи анкерами осуществляли с различным отставанием во времени после выемки породы. Контрольные замерные станции устанавливали на участках выработок, закрепленных только рамной крепью. Были также проанализированы результаты шахтных наблюдений, выполненных на глубинных замерных станциях в трех подготовительных выработках ОАО «Шахта им. А.Ф. Засядько» инженерами технической службы шахты А.А. Цикра, Ю.С. Опрышко [8].

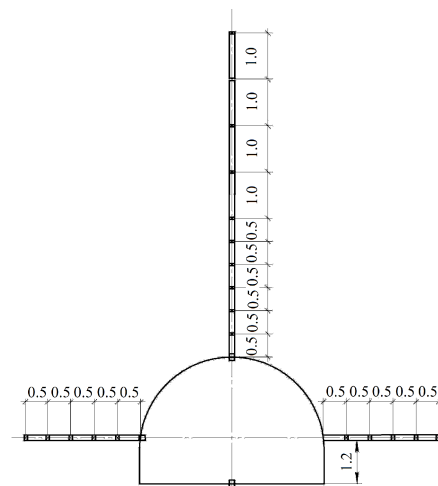


Рис. 1. Схема замерной станции

Характеристики выработок, в которых были оборудованы комплексные замерные станции, приведены в таблице.

Таблица

№ п/п	Наименование выработки	Глубина заложения выработки, м	Прочность вмещающих пород, МПа	Мощность пласта, м	Площадь поперечного сечения вчерне, м ²
1	5-й южн. конв. штр. пл. m ₄ ⁰ шахты «Добропольская»	700	15–45	1.2	15.5
2	17-й зап. конв. штр. пл. m ₃ шахты им. А.Ф. Засядько	920	15–35	1.76–2.33	19.5
3	Кор. зап. штр. пл. k ₇ ⁵ гор. 1078 м шахты им. А.Ф. Засядько	1082	25–35	–	19.5

5-й южный конвейерный штрек пласта m_4^0 шахты «Добропольская»

Первые 5 пикетов выработки закрепляли рамной податливой крепью с шагом 0.5 м. Экспериментальный участок выработки закрепляли комбинированной рамно-анкерной крепью, шаг установки рам составлял 0.8 м с плотностью анкерования 1 анкер на квадратный метр (длина анкеров 2.4 м). Усиливающую анкерную крепь в месте заложения комплексных замерных станций устанавливали с различным разрывом во времени между установкой анкерной крепи и выемкой породы в забое, который составлял 0, 0.68, 1.14, 2.27 д.

На рис. 2 показан график изменения размера ЗРП во времени на контрольной замерной станции. Как видно из графика, к моменту возведения анкеров с отставанием 0, 3, 5 и 10 м от забоя вокруг выработки образовалась ЗРП с размером соответственно 0, 0.28, 0.44 и 1.3 м.

Результаты наблюдений представлены в виде графиков смещений глубинных реперов и изменения коэффициента разрыхления k_{100s} на участках скважины между реперами в зависимости от времени установки анкерной крепи после выемки породы в забое (рис. 3).

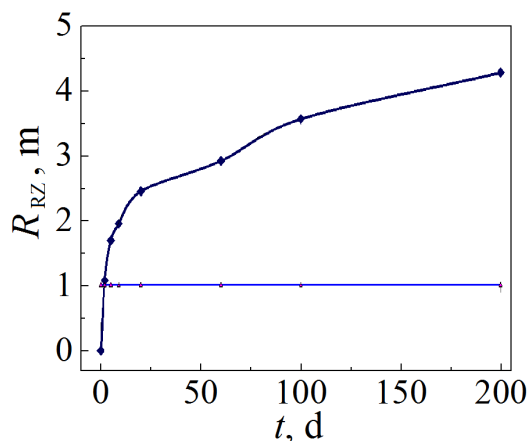


Рис. 2. Изменение размера ЗРП во времени на контрольной замерной станции

На 5-е сутки наблюдений на контрольной замерной станции (рис. 3, I, a) смещения кровли выработки составили 32 мм, что по графику изменения k_{100s} (рис. 3, I, б) соответствует развитию разрушений на участке 0–0.45 м ($k_{100s} = 1.040$). Фронт разрушения движется от контура выработки в глубь массива (рис. 3, б). По мере удаления от этого участка смещения контура затухают. Размер зоны неупругих деформаций (ЗНД) в кровле превышает 7.0 м.

На участке выработки, где установку анкеров производили в забое, смещения со стороны кровли составили 20 мм. При этом скрепленная анкерами породная оболочка (участок скважины 0–2.1 м) смещалась единым блоком без разрушения ($k_{100s}^{max} < 1.003$).

Аналогичные выводы можно сделать по результатам анализа деформаций пород на других станциях, установленных в местах, где усиление рамной крепи анкерами производили с отставанием от забоя на 3, 5 и 10 м. Смещения кровли выработки при этом составили соответственно 22, 26 и 28 мм. На участках скважины между контуром и 2-м репером (0–0.5 м) происходило интенсивное разрушение массива. При этом была выявлена следующая особенность процесса: чем больше был разрыв времени между выемкой породы и последующей установкой анкеров, тем выше была степень разрых-

ления приконтурного участка массива: $k_{\text{loos}}^{\text{max}} = 1.008, 1.015$ и 1.028 соответственно величине отставания от забоя.

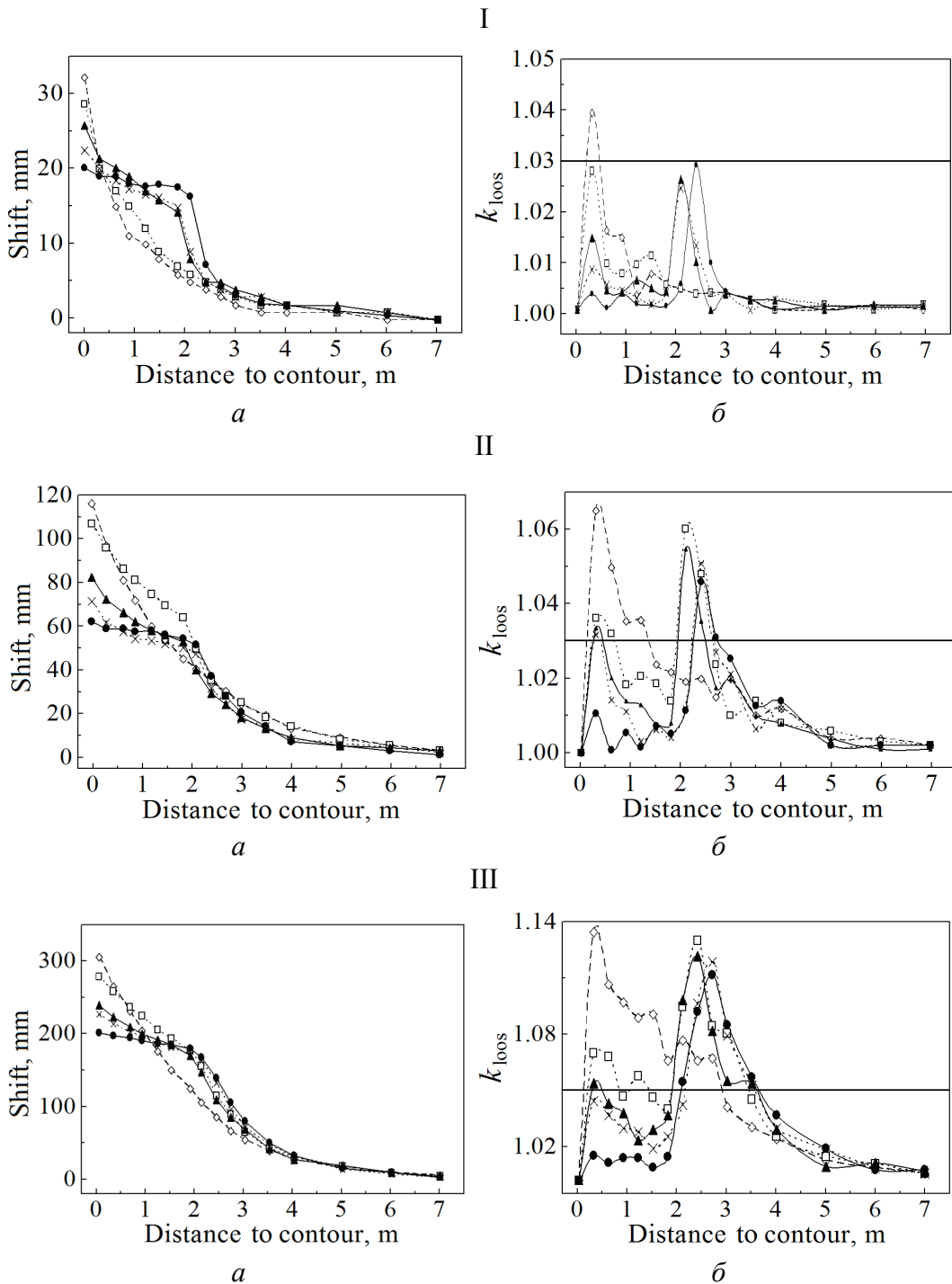


Рис. 3. Изменения смещений глубинных реперов в кровле выработки (а) и коэффициента k_{loos} на участках скважины между реперами (б) на 5-е (I), 20-е (II) и 220-е (III) сутки наблюдений в зависимости от времени установки анкерной крепи, d: □ – 2.27, ▲ – 1.14, × – 0.68, ● – 0; ◇ – данные контрольного участка; горизонтальная линия – критерий разрушения породы (для глинистого сланца $k_{\text{loos}}^{\text{max}} = 1.03$)

На 20-е сутки наблюдений на контрольной замерной станции и станциях с комбинированной крепью смещения кровли составили соответственно 116, 62, 71, 82 и 107 mm (рис. 3,II,*a*). При этом размер ЗРП, сформировавшейся вокруг выработки, достиг значений 1.35, 0.45, 0.7, 0.85 и 0.75 m соответственно. Размер ЗНД в боках остался неизменным.

На момент окончания наблюдений смещения кровли выработки составили 307, 204, 229, 241 и 280 mm (рис. 3,III,*a*). Размер ЗРП, сформировавшейся вокруг выработки, в пределах замерных станций составил 3.45, 2.3, 2.0, 2.05 и 3.8 m соответственно при следующих итоговых результатах:

а) на контрольном участке наблюдали дальнейший рост ЗРП от контура в глубь массива: в интервале 0–3.45 m $k_{\text{loos}}^{\text{max}} = 1.136$;

б) на участке, где анкерную крепь устанавливали сразу же после выемки породы, нарушена только часть приконтурного массива, расположенная за анкерами: 1.95–4.25 m, $k_{\text{loos}}^{\text{max}} = 1.112$;

в) на участках, где анкерную крепь возводили с отставанием 3 и 5 m, частично разрушалась приконтурная часть породного массива: 0–0.85 и 0–1.05 m, $k_{\text{loos}}^{\text{max}} = 1.043$ и 1.053 соответственно. Основные разрушения происходили за пределами породно-анкерной оболочки: 1.9–3.9 m, $k_{\text{loos}}^{\text{max}} = 1.119$ (при отставании 3 m) и 1.122 (при 5 m);

г) при отставании 10 m приконтурный массив был полностью нарушен. Однако основные разрушения произошли не на контуре выработки, а за пределами укрепленной анкерами области: 0–1.8 m, $k_{\text{loos}}^{\text{max}} \leq 1.070$; 1.8–4.0 m, $k_{\text{loos}}^{\text{max}} = 1.131$.

Анализ происходивших в дальнейшем смещений пород на станциях позволяет сделать следующие выводы:

– максимальный технический эффект достигается при усилении рамной крепи анкерами сразу же после выемки породы в забое. При этом скрепленная анкерами оболочка не разрушается и испытывает нагрузки со стороны вмещающего массива, выполняя роль крепи. Фронт разрушения переносится за ее пределы. Смещения кровли выработки в этом случае уменьшаются приблизительно на треть по сравнению с выработкой, закрепленной только рамной крепью. Суммарный размер ЗРП уменьшается на 50%;

– при усилении рамной крепи анкерами в случае, когда размер ЗРП, сформировавшейся к моменту усиления рамной крепи анкерной, не превышает половины глубины анкерования, установлены следующие особенности деформирования вмещающего массива. Сразу же после выемки породы в забое начинается развитие ЗРП от контура в глубь массива. Благодаря своевременной установке анкеров появляется возможность замедлить этот процесс, а затем и остановить. Породно-анкерная оболочка сохраняет целостность, а смещения кровли уменьшаются на 20%;

– при большем разрыве во времени между выемкой породы и установкой анкеров полностью остановить развитие ЗРП от контура в глубь массива не удается. Скрепленная анкерами оболочка разрушается полностью, а смеще-

ния контура выработки с комбинированной рамно-анкерной крепью приближаются к смещениям контура выработки, закрепленной в аналогичных условиях только рамными конструкциями крепи.

17-й западный конвейерный штрек пласта m_3 шахты им. А.Ф. Засядько

Выработка была закреплена комбинированной рамно-анкерной крепью, шаг установки арочной податливой крепи КМП-А4К составил 0.65 м, плотность анкерования – 1.92 анкера на квадратный метр (длина анкеров 2.4 м). Паспорт крепления выработки приведен на рис. 4.

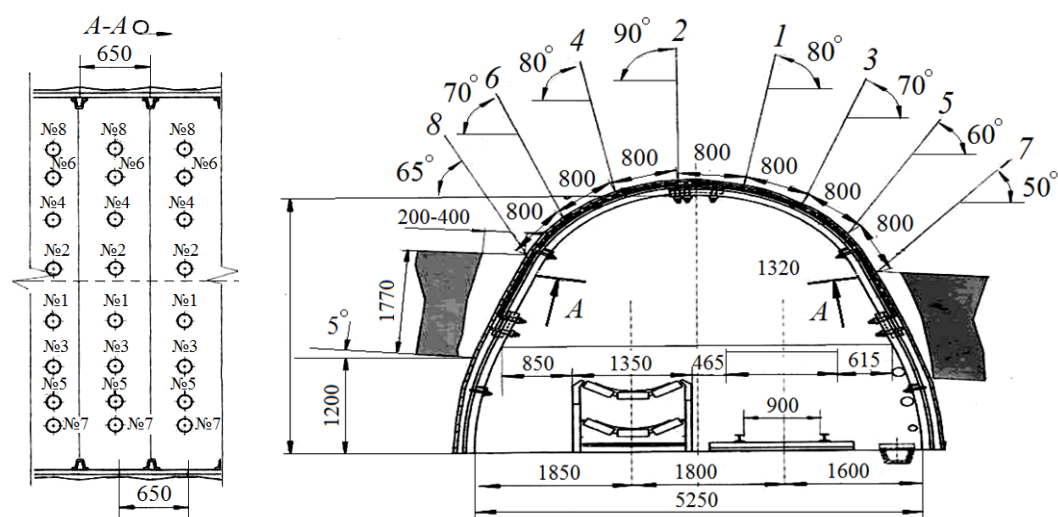


Рис. 4. Паспорт крепления 17-го западного конвейерного штрека

Для наблюдения за смещениями пород кровли в выработке были оборудованы глубинные замерные станции ю022, ю040, ю049 и ю061 (глубина вертикальных скважин составляла от 5.5 до 8.1 м). Наблюдения проводили в течение 252–461 суток.

На рис. 5 представлены зависимости смещений глубинных реперов на замерных станциях (а), а также коэффициентов разрыхления k_{100s} на участках между реперами от расстояния до контура на момент окончания наблюдений (б).

Как видно из графиков рис. 5,а, на всех замерных станциях (ю022, ю040, ю049, ю061) на 252–461-е сутки наблюдений произошло разрушение пород на глубину соответственно 2.5, 0.8, 1.9 и 2.3 м от контура. Конечный размер ЗНД в кровле составил соответственно более 5.9, 5.5, 6.9, 8.1 м, среднее значение k_{100s} – соответственно 1.03, 1.047, 1.024 и 1.033 (рис. 5,б). Учитывая, что глубина анкерования составляла 2.2 м, на станциях ю022 и ю061 скрепленная анкерами оболочка была разрушена полностью, а на станциях ю040 и ю049 – на 36.4 и 86.4%. Однако при визуальном осмотре состояния крепи в выработке не обнаружено высыпаний пород между анкерами, обрывов анкеров, разрушений контурных замков и межрамных ограждений. Следовательно, состояние выработки удовлетворительное.

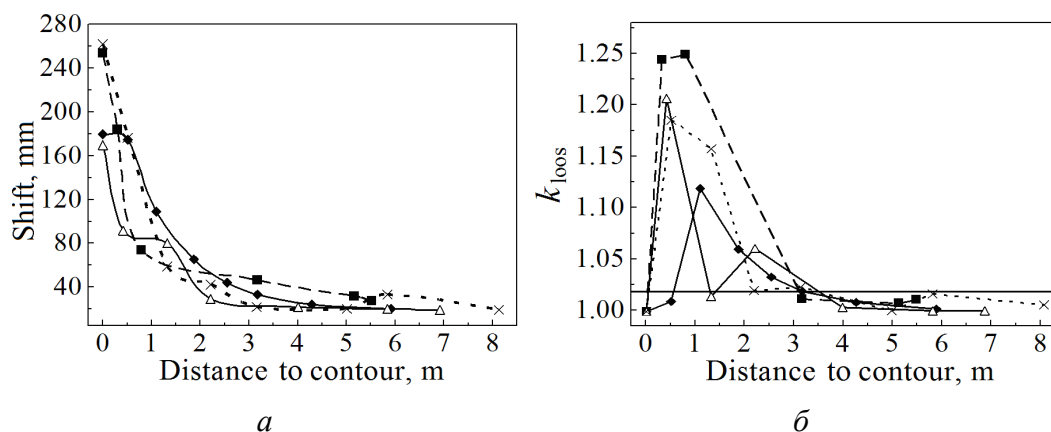


Рис. 5. Зависимости смещений глубинных реперов в кровле выработки (а) и коэффициента k_{loos} на участках скважины между реперами (б) от расстояния до контура на момент окончания наблюдений на замерных станциях: \blacklozenge – ю022 (на 461-е сутки), \blacksquare – ю040 (на 377-е), \blacktriangle – ю049 (на 341-е), \times – ю061 (на 252-е); горизонтальная линия – критерий разрушения породы (для песчаного сланца $k_{\text{loos}}^{\text{max}} = 1.02$)

Выполненный анализ результатов наблюдений за смещениями пород на глубинных замерных станциях в выработке позволил сделать следующие выводы:

1) интенсивное разрушение пород кровли выработки на всех станциях начинается от контура выработки, затем происходит его плавное затухание. Такой характер деформирования вмещающего массива характерен для выработок, закрепленных только рамными конструкциями крепи, либо для выработок с комбинированной рамно-анкерной крепью, в которых установку анкеров производили со значительным разрывом во времени между выемкой породы и последующим анкерованием;

2) вследствие установки анкерной крепи со значительным отставанием от забоя на трех станциях из четырех скрепленная анкерами оболочка разрушилась полностью;

3) применение анкерной крепи не позволило замедлить развитие деформационных процессов в приконтурном массиве. Однако применение анкеров в составе комбинированной рамно-анкерной крепи дало возможность снизить смещения на контуре выработки, а также уменьшить общую степень нарушенности приконтурного массива по сравнению с выработками, закрепленными только рамной крепью.

Коренной западный штрек пласта k_7^5 горизонта 1078 m шахты им. А.Ф. Засядько

Выработка была закреплена рамно-анкерной крепью, шаг установки арочной крепи КМП-А4К составил 0.65 m, плотность анкерования 2 анкера на квадратный метр. Усиление рамной крепи анкерами производили вслед за

проходом лавы. В выработке была оборудована комплексная замерная станция, представляющая собой скважину длиной 5.35 m, пробуренную в кровлю выработки, в которую устанавливали глубинные реперы. Кроме того, в бока и почву выработки были установлены контурные реперы. Следует отметить, что по техническим причинам, связанным, очевидно, с обрывом нитей на первых трех глубинных реперах, данные по их перемещению после 82.6 суток отсутствовали.

Анализ механизма деформирования вмещающего выработку массива производили путем построения графиков перемещений глубинных реперов в кровле (рис. 6,а), изменений k_{loos} между реперами (рис. 6,б).

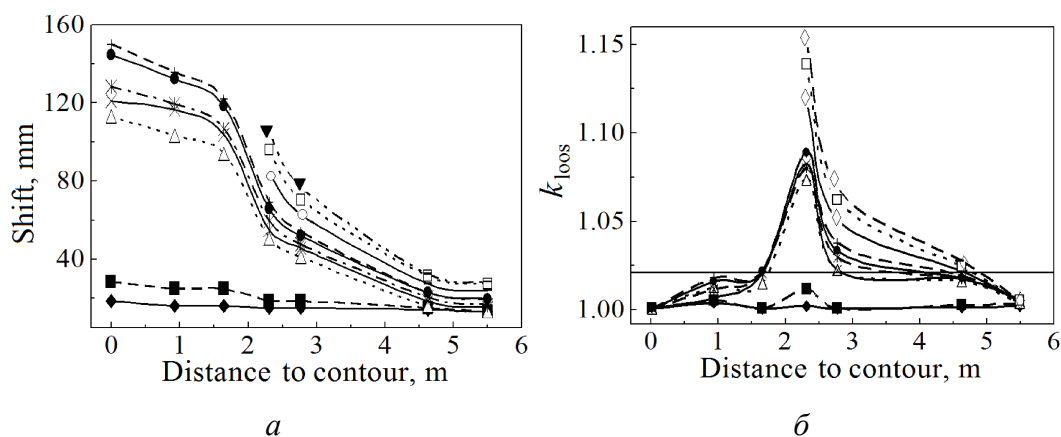


Рис. 6. Зависимости смещений глубинных реперов в кровле выработки (а) и коэффициента k_{loos} на участках скважины между реперами (б) от расстояния до контура с учетом расстояния до лавы, м: \blacklozenge – 1, \blacksquare – 4.2, \triangle – 49.5, \times – 61.5, ж – 64, \bullet – 77, \circ – 82.6, \diamond – 112.5, \square – 188.8, \blacktriangledown – 380.2; горизонтальная линия – критерий разрушения породы (для песчаного сланца $k_{loos}^{max} = 1.02$)

Из графика рис. 6,б видно, что при отходе лавы на 49.5 m разрушился участок скважины 1.7–3.3 m (размер ЗРП 1.6 m). При этом максимальное значение k_{loos} составило 1.08, размер ЗНД – 5.35 m.

При дальнейшем отходе лавы от замерной станции происходит интенсивное увеличение ЗРП на уже разрушившемся участке. При этом она росла как в глубь массива, так и в сторону контура выработки:

- а) при отходе лавы на 64 m разрушился участок скважины 1.6–4.0 m;
- б) при отходе лавы на 82.6 m – участок 1.4–4.4 m.

Установлено также, что в течение периода наблюдений приконтурный участок скважины 0–1.4 m не разрушился. Таким образом, применение усиливающей раму анкерной крепи позволило частично сохранить целостность приконтурного массива, который испытывал нагрузки со стороны вмещающего массива, выполняя роль крепи.

Следует отметить, что частичное разрушение скрепленной анкерами облочки (участок скважины 1.4–2.2 m) обусловлено, по нашему мнению, либо

сокращением фактической активной длины анкера до 1.4–1.5 m, либо некачественным закреплением стержня анкера в шпуре.

Выводы

Проведенные шахтные исследования особенностей деформирования массива, вмещающего выработки с комбинированным рамно-анкерным креплением в зависимости от времени установки усиливающей крепи относительно выемки породы в забое позволили сделать следующие выводы:

– использование рамной крепи совместно с анкерованием кровли с плотностью 1 анкер на квадратный метр дает возможность параллельно с уменьшением плотности установки рам уменьшить смещения кровли до 66% по сравнению с участками выработок, закрепленных только рамной крепью;

– применение анкерования позволяет уменьшить общую степень нарушенности вмещающего массива по сравнению с выработками, закрепленными только рамной крепью;

– при использовании анкерно-рамных конструкций крепи «сшитый» анкерами участок (0–2.2 m) не разрушается и выполняет роль крепи, испытывая нагрузки со стороны вмещающего массива;

– усиление рамной крепи анкерами с отставанием до 5 m от забоя позволило замедлить, а затем остановить начавшееся после выемки породы развитие деформационных процессов от контура в глубь массива. Благодаря установке анкером основные повреждения происходили за пределами скрепленной анкерами оболочки;

– усиление рамной крепи анкерами с отставанием 5–10 m не позволяет полностью остановить начавшееся развитие ЗРП от контура. Скрепленная анкерами оболочка разрушается полностью. Однако благодаря установке анкером степень нарушенности приконтурного массива существенно меньше, чем в выработках, закрепленных только рамной крепью;

– установка анкером с отставанием более 10 m нецелесообразна. В этом случае смещения пород кровли приближаются к смещениям в выработках, закрепленных только рамной крепью, поддерживаемых в аналогичных условиях.

1. *А.О. Новиков, Ю.А. Петренко, И.Н. Шестопалов, А.В. Резник*, Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія «Гірнично-геологічна», ДонНТУ, Донецьк (2012), вип. 16(206), с. 179–184.
2. *Указания по рациональному расположению, охране и поддержанию горных выработок на угольных шахтах СССР*, ВНИМИ, Ленинград (1986).
3. *КД 12.01.01.201–98. Расположение, охрана и поддержание горных выработок при отработке угольных пластов на шахтах. Методические указания*, УкрНИМИ, Донецк (1998).
4. *СОУ 10.1.05411357.010:2014. Система забезпечення надійного та безпечного функціонування гірничих виробок із анкерним кріпленням. Загальні технічні вимоги*, Мінергосвугілля України, Київ (2014).

5. Ю.И. Бурчаков, В.Е. Гнедин, В.М. Денисов, Строительная механика: учеб. пособие для вузов, Высшая школа, Москва (1983).
6. М.В. Корнилов, Проблемы геотехнологии и недроведения (Мельниковские чтения) **3**, 189 (1998).
7. Д.А. Черев, Автореф. дис. ... канд. техн. наук, УГГУ, Екатеринбург (2004).
8. А.О. Новиков, И.Н. Шестопалов, Исследования влияния усиления рамной крепи анкерами на процесс формирования вокруг выработки зоны разрушенных пород, ДонНТУ, Донецк (2012)
9. Б.В. Бокый, А.А. Цикра, Ю.С. Опрышко, в сб. научн. тр. «Геотехническая механика», ИГТМ НАНУ, Днепрпетровск (2005), вып. 57, с. 60–66.

A.O. Novikov, I.N. Shestopalov

MINE STUDIES OF THE DEFORMATION OF THE MASSIF CONTAINING THE OUTPUT WITH A COMBINED FRAME-ANCHOR LINING

The article presents summary results of mine instrumental observations of the moving of adjacent rocks in 12 preparatory workings fixed with anchor-frame and frame-anchor lining. The tests were carried out at complex metering stations equipped at experimental and control divisions. The peculiarities of the development of deformation processes are established, which take place and develop in the rock massive containing host excavation and combined lining.

Keywords: working, frame, shell held together with rock anchors, deformation features, methods of calculation, combined lining

Fig. 1. Scheme of a metering station

Fig. 2. Time dependence of the size of the ruptured zone at the control metering station

Fig. 3. Shifts of deep bench marks in the roof (*a*) and coefficient k_{loos} at the borehole zones between the benchmarks (*b*) in 5 (I), 20 (II) and 220 (III) days of observation vs the time of installation of the anchor lining, d: □ – 2.27, ▲ – 1.14, × – 0.68, ● – 0; ◇ – the data of the control area; the horizontal line is the criterion of the loosening ($k_{loos}^{max} = 1.03$ for shale)

Fig. 4. Face-timbering plan of the 17th west belt entry

Fig. 5. Shifts of deep bench marks in the roof (*a*) and coefficient k_{loos} at the borehole zones between the benchmarks (*b*) vs the distance to the contour at the moment of the end of observation at the metering stations: ◆ – ю022 (461st day), ■ – ю040 (377th day), △ – ю049 (341st day), × – ю061 (252nd day); the horizontal line is the criterion of the loosening ($k_{loos}^{max} = 1.02$ for fakes)

Fig. 6. Shifts of deep bench marks in the roof (*a*) and coefficient k_{loos} at the borehole zones between the benchmarks (*b*) vs the distance to the face, m: ◆ – 1, ■ – 4.2, △ – 49.5, × – 61.5, ж – 64, ● – 77, ○ – 82.6, ◇ – 112.5, □ – 188.8, ▼ – 380.2; the horizontal line is the criterion of the loosening ($k_{loos}^{max} = 1.02$ for fakes)