

ВНЕДРЕНИЕ РАМНО-АНКЕРНЫХ ВИДОВ КРЕПИ НА ШАХТАХ КОМПАНИИ ДТЭК И РАЗРАБОТКА НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ НА ИХ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

*М.В. Барабаш, С.А. Воронин, С.В. Мкртчян, ЧАО «ДТЭК ПАВЛОГРАДУГОЛЬ», Украина
А.В. Смирнов, В.И. Пилюгин, ООО «ДТЭК Энерго», Украина*

В статье выполнен анализ результатов применения Стандарта для расчета параметров рамно-анкерной крепи применительно к условиям угольных шахт. Выполнен пример расчета. Показана эффективность применения рамно-анкерной крепи современного типа и результативность Стандарта.

Существенным недостатком существующей нормативной базы Украины в части проектирования рамно-анкерной крепи является то, что она не предусматривает прямого участия в этом технологическом процессе технических служб шахт. Это обстоятельство приводит к следующим неэффективным результатам:

- к существенному увеличению сроков разработки паспортов проведения и крепления;
- необходимости заключения большого количества мелких хозяйственных договоров на каждую проводимую выработку между предприятиями и Центром анкерного крепления ИГТМ НАН Украины им. Н.С. Полякова (г. Днепропетровск);
- сложностям на этапе планирования годовых бюджетов предприятий;
- препятствует нормальному развитию технологии рамно-анкерного крепления и ее гибкой адаптации к изменяющимся горно-геологическим условиям проведения конкретных выработок;
- «размыванию» ответственности за возможные аварийные ситуации и просчеты в проектировании.

Для устранения этих недостатков был разработан и введен в эксплуатацию с 01.01.2015 г. новый отраслевой Стандарт Украины 10.1.05411357.012:2014 «Инструкция по проектированию комбинированной рамно-анкерной крепи горных выработок» [1].

Основная идея создания «Стандарта...» состоит в том, что проектирование рамно-анкерной крепи в подавляющем большинстве случаев, кроме особых, должно осуществляться техническими службами угольных шахт и шахтоуправлений.

Основу «Стандарта...» составляет инженерная методика расчета параметров рамно-анкерной крепи, максимально адаптированная к действующей в Украине нормативной базе по креплению и поддержанию горных выработок.

«Стандарт...» основан на методике прогнозирования вертикальной конвергенции контура выработок, закрепленных с использованием комбинированной рамно-анкерной крепи, которая позволяет осуществлять среднесрочное планирование затрат на подготовку запасов.

«Стандарт...» отражает мировые инновационные тенденции в развитии анкерной крепи, которые основаны на том, что анкерование приконтурного массива приводит к увеличению суммарной прочности пород, и это обстоятельство учитывается при расчете параметров рамно-анкерной крепи (РА-крепи).

В «Стандарте...» предусмотрен следующий алгоритм проектирования РА-крепи:

- расчет средневзвешенной прочности пород контура выработки;
- прогноз свободных смещений контура выработки;
- прогноз нагрузки на 1 п. м крепи выработки;
- определение параметров (стоимости) рамной крепи;
- корректировка средневзвешенной прочности заанкерованных пород;
- корректировка смещений контура выработки с РА-крепью;
- корректировка нагрузки на 1 п. м. РА-крепи выработки;
- определение параметров (стоимости) РА-крепи.

Описанный алгоритм основан на методиках действующего стандарта ДонУГИ СОУ

10.1.0018590.011:2007 [2]. Применение «Стандарта...» [1] позволяет техническим службам шахт самостоятельно осуществлять проектирование РА-крепей выработок и оценивать его стоимость на стадии бюджетирования проходки.

Учет влияния анкеров первого уровня на прочностные характеристики вмещающих пород. Сталеполимерные анкеры длиной 2,4 м являются анкерами первого уровня, канатные анкеры длиной 6...8 м – анкерами второго уровня.

Согласно п. 6.6.4 «Стандарта...», результирующая средневзвешенная прочность вмещающих пород R_c^a рассчитывается по формуле:

$$R_c^a = K_{упр} \cdot K_l \cdot R_c, \text{ МПа,}$$

где $K_{упр}$ – коэффициент упрочнения пород, зависящий от числа анкеров, приходящихся на 1 м^2 заанкеренной поверхности выработки (рис. 1); K_l – коэффициент упрочнения пород, учитывающий длину применяемых анкеров (рис. 2).

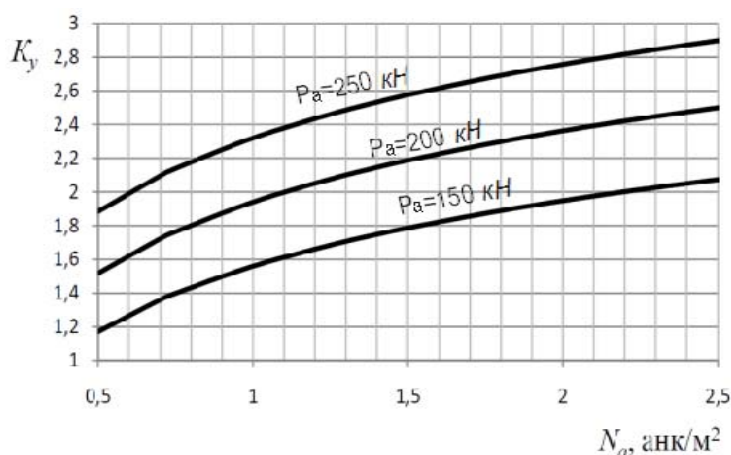


Рис. 1 Зависимости коэффициента упрочнения пород $K_{упр}$ от несущей способности анкеров

P_a и плотности их установки N_a

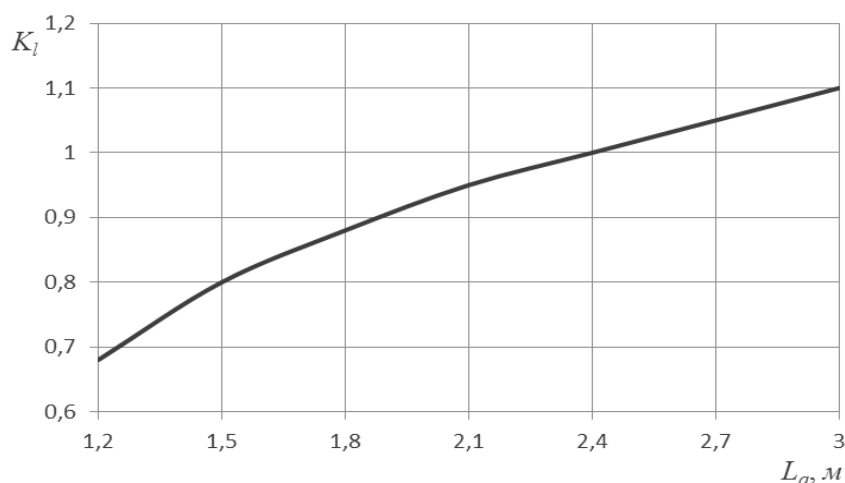


Рис. 2. Зависимости коэффициента упрочнения пород $K_{упр}$

от несущей длины анкеров L_a

Расчет плотности установки рам поддерживающей крепи. Согласно п. 6.7.3 «Стандарта...», шаг установки рам комбинированной рамно-анкерной крепи в

магистральных выработках n_p (м) рассчитывается путем деления рабочего отпора арки $P_{кр}$ на расчетную нагрузку на 1 п. м выработки P_n по следующей формуле:

$$n_p = P_{кр} / P_n,$$

где $P_{кр}$ – рабочий отпор арки, кН;

Согласно п. «Стандарта...» 6.7.4, шаг установки рам комбинированной рамно-анкерной крепи в выемочных выработках n_p (м) рассчитывается путем деления несущей способности арки P_{max} на расчетную нагрузку на 1 п. м выработки P_n по следующей формуле:

$$n_p = 0,9 \times P_{max} / P_n,$$

где P_{max} – несущая способность арки, кН.

Особенности применения двухуровневого анкерного крепления. Основные функции канатных анкеров крепи в выемочных выработках:

- повышение эффективности работы комбинированной рамно-анкерной крепи первого уровня вследствие уменьшения расслоения массива пород кровли над заанкерванной зоной;
- исключение необходимости установки на сопряжении лавы с выработкой стоечных крепей усиления и гидравлических крепей сопряжения;
- обеспечение безопасного снятия и установки ножек арочной крепи при передвижке лавного конвейера.

Основной функцией канатных анкеров в конструкции рамно-анкерной крепи в магистральных (капитальных) выработках является сохранение монолитности пород, расположенных над заанкерванным обычными сталеполимерными анкерами приконтурным массивом.

Согласно п. 6.8.22 «Стандарта...» при проектировании паспортов проведения магистральных выработок канатные анкера в расчетах по своим характеристикам и выполняемым функциям приравниваются к обычным сталеполимерным.

Согласно п. 6.8.28 «Стандарта...» установка канатных анкеров в участковых выработках не влияет на выбор параметров анкерной крепи первого уровня и паспорт проведения выработки.

Внедрение Стандарта в практику работы шахт ДТЭК. Шахты ДТЭК отличаются большим разнообразием геомеханических условий поддержания горных выработок. Это обусловлено тем, что предприятия довольно удалены друг от друга (до 500 км) и ведут разработку угля в различных по залеганию и степени метаморфизма угленосных районах (марки углей Г, ДГ, Т, А).

Условия поддержания выработок оцениваются по комплексному показателю условий разработки:

$$\theta = R_c k_c / \gamma H,$$

где R_c – прочность пород; k_c – степень нарушенности пород; γH – геостатическое давление в породном массиве.

На рис. 3 приведены значения показателя условий разработки для шахт Западного Донбасса и Добропольского района.

Зеленая зона ($\theta \geq 1$) соответствует благоприятным условиям поддержания выработок и предполагают их высокую устойчивость. В этом случае возможно применения чисто анкерного крепления и обеспечение безремонтного поддержание без влияния очистных работ.

Синяя зона () соответствует тяжелым условиям поддержания и предполагают низкую устойчивость выработок. При креплении необходимо ориентироваться на комбинированное РА-крепление с аркой из тяжелых типов СВП. Возможны высокие затраты на ремонты, особенно для участковых выработок.

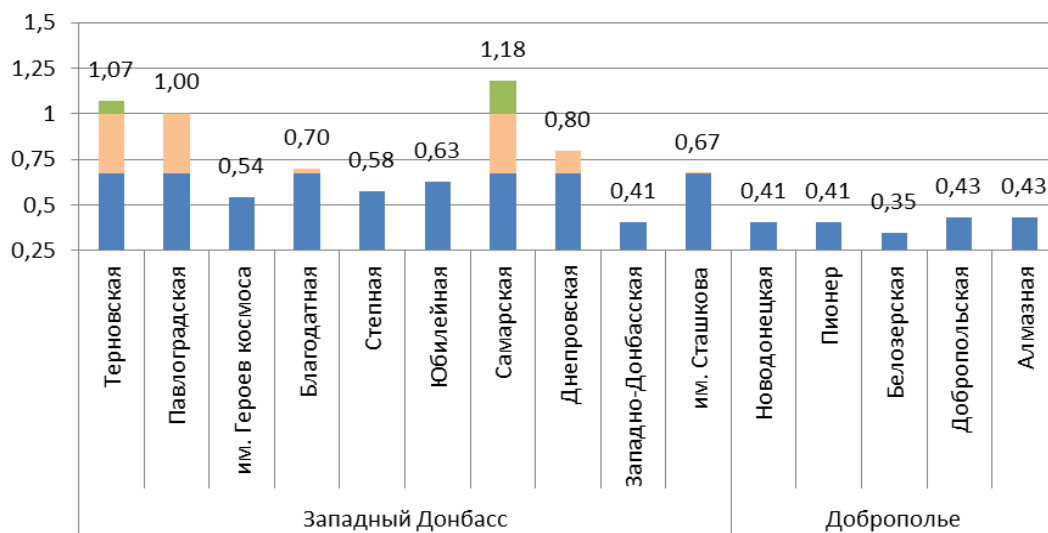


Рис. 3. Диаграмма изменения комплексного показателя θ

Оранжевая зона ($1 \leq \theta \leq 0,67$) является переходной от благоприятных до тяжелых условий поддержания.

Примером благоприятных условий поддержания выработок ($H = 265$ м, $\theta = 1,0 \div 1,07$) являются предприятия ШУ «Павлоградское», в которое входят шахты «Павлоградская» и «Терновская». Они достигли безремонтного поддержания магистральных выработок и минимальными объемами ремонтов повторно используемых участковых штреков (337 п. м в год). Действующая нормативная база по проектированию позволяет этим предприятиям применять в чистом виде анкерную крепь в участковых повторно используемых выработках, что в настоящее время фактически достигнуто.

Усредненные параметры крепления магистральных горных выработок по состоянию на 2016 г. следующие:

- среднее сечение выработок $13,8 \text{ м}^2$;
- шаг рамной крепи (СВП 27) 1 р./м;
- плотность анкеров 11 шт./п. м;
- затяжка сетчатая;
- доля РА-крепления в общем объеме проведения 90 %;
- средние затраты на крепление 1 п. м составляют 5,6 тыс. грн. (анкерная компонента 1,58 тыс. грн.);
- средняя полная стоимость 1 п. м 9,572 тыс. грн.;
- доля рамной крепи в общей стоимости проведения 51%;
- доля анкерной крепи в общей стоимости проведения 16%.

Примером тяжелых условий поддержания выработок характеризуется предприятия ШУ «Белозерское» ($H = 850 \div 1000$ м, $\theta = 0,35 \div 0,41$). Действующая нормативная база по проектированию предусматривает применение рамной крепи из тяжелых спецпрофилей (СВП 27 и более) с плотностью установки до 2 р./п. м или эквивалентных по эффективности РА-крепей. В настоящее время РА-крепь в шахтоуправлении только начинает внедряться. Устойчивость выработок низкая. В 2013 г. в неудовлетворительном состоянии находилось 25,99 км или 14 % вскрывающих и подготавливающих выработок. Объемы ремонтных работ большие (корректный учет отсутствует).

Усредненные параметры крепления магистральных горных выработок по состоянию на 2016 г. следующие:

- среднее сечение выработок $15,06 \text{ м}^2$;
- шаг рамной крепи (СВП 27) 2 р./м;

- затяжка ж/б;
- доля рамно-анкерного крепления в общем объеме проведения 0%;
- средние затраты на крепление 1 п. м 8,35 тыс. грн.;
- средняя полная стоимость 1 п. м 14,78 тыс. грн.;
- доля рамного крепления в общей стоимости проведения 56%.

Первым шагом для обеспечения и реализации системного подхода к решению проблемы повышения устойчивости является создание общей базы данных о магистральных и участковых выработках, проводимы на шахтах ДТЭК ЭНЕРГО. База данных (БД) включает перечень выработок, длину, сечение, параметры их крепления, его стоимость, полные затраты на 1 п. м и их основные элементы, сроки проведения и т. д. База данных для каждого ШУ условно разделена по источнику финансирования на 2 группы:

- магистральные (капитальные) горные выработки (КГВ), финансирование по инвестициям;
- участковые горные выработки, финансирование из Операционно-производственной деятельности (ОПД-расходов).

Сводные данные и параметры проводимых на предприятиях ДТЭК ЭНЕРГО в 2016 году участковых выработок приведены в табл. 1.

Таблица 1

Сводная таблица параметров проведения и крепления ОПД-выработок на шахтах ДТЭК ЭНЕРГО в 2016 г.

№	Шахтоуправление	S, м2	Объемы проведения, м						Доля РА, %	Шаг крепи, м		Стоимость крепления 1 п. м, тыс. грн.		Стоимость 1 п. м, тыс. грн.	
			РК			РА						РК	РА		
			Всего	ПИ	%	Всего	ПИ	%		РК	РА	РК	РА		
1	«ПАВЛОГРАДСКОЕ»	11,1	0	0	0,0	17770	9910	55,8	100	0	1	0	3,34	0	13,57
2	«ЯСЕНОВСКОЕ»	12,6	0	0	0,0	4210	3660	86,9	100	0	0,82	0	6,8	0	22,27
3	«ПЕРШОТРАВЕНСКОЕ»	15,5	90	25	27,8	12010	6150	51,2	99	0,58	0,77	11,08	6,59	24,78	18,82
4	«ДОБРПОЛЬСКОЕ»	15,6	180	0	0,0	10170	2960	29,1	98	0,5	0,75	7,59	6,34	17,83	14,71
5	«БЕЛОЗЕРСКОЕ»	14,3	1970	940	47,7	2825	1395	49,4	59	0,75	0,9	4,96	5,35	13,68	13,11
6	«ТЕРНОВСКОЕ»	12,6	2250	0	0,0	16705	9015	54,0	88	0,83	0,79	4,86	5,87	16,95	14,92
7	«ШКД»	15,2	3435	2135	62,2	6805	4340	63,8	66	0,92	0,97	4,54	5,30	11,55	11,32
8	«ДНЕПРОВСКОЕ»	13,6	5265	3970	75,4	8485	4955	58,4	62	0,75	0,75	4,58	5,47	19,29	15,44
9	«СВЕРДЛОВСКОЕ»	13,9	6355	0	0,0	6565	5425	82,6	51	0,86	0,89	4,18	4,69	20,71	18,08
10	«КРАСНОПАРТИЗАНСКОЕ»	13,6	6682	1422	21,3	4643	1378	29,7	40	0,83	1	4,16	4,76	16,73	19,24
11	«РОВЕНЬКОВСКОЕ»	10,3	7499	1510	20,1	4250	4250	100,0	36	0,87	0,83	2,3	4,99	14,02	16,96
12	«ГЕРОЕВ КОСМОСА»	14,2	13520	3565	26,4	5005	3465	69,2	27	0,65	0,9	4,43	4,54	11,98	12,46
ВСЕГО ББУ ДТЭК:		13,4	47236	13567	28,7	99443	56903	57,2	68	0,78	0,86	4,11	5,27	15,29	15,56

Условные обозначения таблицы: РК – рамное крепление; РА – рамно-анкерное крепление; ПИ – повторное использование.

По магистральным выработкам (КГВ) сводная таблица базы данных выглядит следующим образом (табл. 2).

В течение 2013-2016 г. г. на шахтах ДТЭК была реализована целевая программа по распространению анкерного и рамно-анкерного крепления, осуществлено апробирование и широкое внедрение канатных анкеров. В результате этих усилий доля анкерных и рамно-анкерных выработок на шахтах ДТЭК в 2015 году достигла:

- по магистральным выработкам 44 % (22,2 км);
- по участковым выработкам 62 % (101 км).

В 2016 году эти показатели возрастут, соответственно, до 58,1 % (25,1 км) и 71,7 % (106,2 км).

Таблица 2

Сводная таблица параметров проведения и крепления КГВ
по ШУ ДТЭК на 2016 г.

№ п/п	Шахтоуправление	Проходка, м		S, м ²	шаг крепи, м		Стоимость крепления, тыс. грн.		Стоимость 1 п.м, тыс. грн.	
		РК	РА		РК	РА	РК	РА	РК	РА
1	«ПЕРШОТРАВЕНСКОЕ»	0	6883	14,9	0,00	0,80	0,00	5,49	0,00	21,88
2	«ПАВЛОГРАДСКОЕ»	0	4190	13,8	0,00	1,00	0,00	4,95	0,00	12,24
3	«БЕЛОЗЕРСКОЕ»	0	1820	14,9	0,00	0,80	0,00	5,38	0,00	14,95
4	«РОВЕНЬКОВСКОЕ»	0	1510	13,8	0,00	1,00	0,00	4,76	0,00	16,13
5	«ДОБРОПОЛЬСКОЕ»	0	775	16,6	0,00	0,50	0,00	9,73	0,00	24,15
6	«ТЕРНОВСКОЕ»	2970	5545	15,9	0,64	0,61	5,96	8,25	16,48	20,87
7	«СВЕРДЛОВСКОЕ»	1455	1005	14,3	0,90	0,90	3,28	3,11	28,58	28,36
8	«ЯСЕНОВСКОЕ»	1085	825	11,1	0,74	0,80	3,70	4,32	26,60	26,11
9	ИМ. ГЕРОЕВ КОСМОСА	4815	460	16,8	0,57	1,00	9,04	4,26	23,65	16,47
10	«КРАСНОПАРТИЗАНСКОЕ»	960	360	14,8	0,80	1,00	4,43	3,84	27,27	22,85
11	ШКД	1755	0	15,6	0,83	0,00	5,52	0,00	25,74	0,00
12	«ДНЕПРОВСКОЕ»	6780	0	16,4	0,50	0,00	8,24	0,00	21,71	0,00
ББУ ДТЭК		19820	23373	15,3	0,63	0,80	7,06	5,94	22,79	19,41

- I-я группа ШУ, которые применяют только РА-крепление в КГВ;
- II-я группа ШУ, которые применяют одновременно и РК и РА;
- III-я группа ШУ, которые применяют только РК.

Широкое распространение РА-технологии крепления горных выработок предполагает оптимизацию его стоимостных показателей. Принцип оптимизации стоимостных показателей крепи с участием анкерной составляющей основан на 2-х положениях:

1. В настоящее время рыночная стоимость рамной крепи существенно превышает стоимость анкерной. Так, комплект рамной крепи на сечение 17 м² из спецпрофиля СВП-33 по цене примерно эквивалентен 30 комплектам анкеров длиной 2,4 м диаметром $d = 22$ мм с ампулами для их установки.

2. Снижение трудоемкости крепления арочной крепью при увеличении с шага 0,5 м до 0,8 м эквивалентно установке 7-ми, а при увеличении с шага 0,33 м до 0,5 м – 10 стандартных анкеров на 1 п. м выработки.

Таким образом, анкерная составляющая комбинированной крепи, как по цене, так и по трудоемкости установки, может рассматриваться как инструмент управления более дорогой рамной составляющей. Отсюда вытекает, что основной принцип оптимизации крепления выработок на шахтах ДТЭК заключается в минимизации суммарных затрат на их проведение и эксплуатацию путем перебора всех возможных вариантов ее рамно-анкерного крепления.

Для реализации принципа оптимизации необходимо:

1. Наличие на шахтах нормативной базы по проектированию параметров РА-крепи в виде действующего отраслевого стандарта или инструкции.
2. Мониторинг фактических затрат 1 п.м выработок в процессе проведения.
3. Мониторинг фактических затрат на ремонты выработок в процессе их эксплуатации.

Учет фактических затрат на проведение 1 п.м выработок необходим для проверки достоверности экономического прогноза, сделанного при оптимизации паспорта крепления.

Суть мониторинга состоит в том, что по каждой проводимой на шахте выработке ежемесячно производится суммирование основных видов затрат в перерасчете на 1 п. м. Это позволяет анализировать:

- динамику изменения во времени отдельных статей расходов;
- динамику отклонений стоимости 1 п. м проведения от запланированной;
- направления повышения эффективности технологии с учетом рыночной динамики изменения цен на ТМЦ.

Данные мониторинга фактических затрат на проведение вносятся в базу данных по всем подготовительным выработкам ДТЭК. Они будут учитываться в процессе дальнейшей оптимизации паспортов крепления.

Затраты на ремонты горных выработок в процессе их поддержания являются той «обратной связью», которая позволяет оценить эффективность затрат, вложенных в крепление при проведении. Фактически мониторинг позволяет ответить на вопрос о том, насколько правильно изначально было выполнено проектирование крепи, и насколько эффективно она обеспечила устойчивость данной выработки.

Опытно-промышленная проверка работоспособности вышеописанного подхода к оптимизации крепления была осуществлена при проведении конвейерного уклона пл. m_5^1 на шахте «Добропольская».

Расчетные затраты на крепление уклона по шахтному варианту в ценах ноября 2015 года составили 11 021 грн./п.м, после оптимизации – 7 432 грн./п.м. Полные затраты на 1 п. м проведения, соответственно, 16 814 грн./п.м и 13 035 грн./п.м.

После проведения экспериментального участка уклона длиной 50 м были просуммированы все фактические эксплуатационные затраты на крепление. В пересчете на 1 п. м они составили по старому паспорту 8 518 грн., а по новому – 8 440 грн. Небольшая разница в затратах обусловлена неожиданно высокой ценой на канилированную сетку-затяжку, которая превысила стоимость Ж/Б примерно на 1 827 грн. (2 625 грн. против 798 грн.).

Для мониторинга состояния выработки в процессе ее эксплуатации были установлены 3 контурных замерных сечения. Замеры конвергенции осуществляются маркшейдерской службой ШУ «Добропольское» с очередностью 1 раз в 2 недели. За время наблюдений 1,5 месяца фактические вертикальные смещения составили 40 мм на участке, закрепленном КШПУ-17,7 против 39 мм – на экспериментальном участке с овоидной крепью.

В дальнейшем наблюдения будут продолжены либо до погашения уклона, либо до периода достижения полной стабилизации конвергенции на контуре выработки. При этом предусмотрена фиксация объемов и стоимости фактических ремонтных работ.

В целом опытно-промышленная проверка доказала работоспособность и эффективность общего подхода по оптимизации паспортов РА-крепления с использованием нового Стандарта.

Список литературы

1. СОУ 10.1.05411357.012:2014. Інструкція з проектування комбінованого рамно-анкерного кріплення гірничих виробок. Стандарт Міненерговугілля України. – Введ. 2015-01-01. – К.: Міненерговугілля України, 2014. – 42 с.

2. СОУ 10.1.05411357.010:2014. Система забезпечення надійного та безпечного функціонування гірничих виробок із анкерним кріпленням. Загальні технічні вимоги. Стандарт Міненерговугілля України. – Введ. 2014-12-01. – К.: Міненерговугілля України, 2014. – 84 с.