

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КОМБИНИРОВАННЫХ СИСТЕМ КРЕПИ В КАПИТАЛЬНЫХ ВЫРАБОТКАХ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

А.Е. Григорьев, Р.Н. Терещук, В.В. Янко, Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет», Украина

Представлены результаты наблюдений за состоянием капитальных горных выработок шахт компании ДТЭК Добропольского региона. Выполнен анализ статистических данных об объемах и стоимостных параметрах используемых видов крепи на шахтах ДТЭК Энерго, результаты которого свидетельствуют о функциональной и экономической эффективности рамно-анкерной крепи в сравнении с рамной.

Естественным следствием развития добычных работ на угледобывающих предприятиях является рост глубин разработки месторождений, о чем свидетельствует увеличение более чем в два раза за последние два десятилетия количества шахт Донбасса, ведущих разработку на глубинах 700 м и более [1]. Уже сейчас 38 % шахт работают на глубинах 600...1200 м, а 26 % осуществляют разработку горизонтов 1200 м и более [2].

Подобное увеличение глубин разработки сопровождается усложнением условий работы, ростом горного давления и интенсивности его проявлений, что приводит в конечном итоге к снижению устойчивости подземных выработок и эффективности работы предприятий в целом. Очевидным, но отнюдь не самым правильным решением, принимаемым при проектировании строительства горных выработок на больших глубинах, является уменьшение шага установки и без того металлоемкой рамной крепи. Так, на шахтах Добропольского региона имеют место случаи, когда шаг установки рам в капитальных выработках составляет 0,33...0,5 м, что, естественно, приводит к существенному снижению темпов проходки выработок и росту конечной себестоимости готовой продукции. И даже в таких случаях, с подобным уплотнением элементов рамной крепи, сохранить эксплуатационное состояние выработки удастся далеко не всегда.

Причина, вероятно, кроется в самом принципе работы рамной крепи, основной функцией которой фактически является удержание отслоившегося разрыхленного породного массива в пределах области неупругих деформаций, потому как предотвратить его смещения практически оказывается невозможным.

Кроме того, даже на глубинах 250...300 м, не говоря уже о более глубоких горизонтах, существенно интенсифицируются процессы, вызывающие пучение горных пород, предотвратить которые с помощью рамной крепи даже при наличии лежня обратного свода удастся далеко не всегда.

Проблемы «больших глубин» уже давно не являются прерогативой шахт с действительно глубокими горизонтами отработки. В условиях шахт Западного Донбасса интенсивное пучение имеет место уже на глубинах 250 м. Согласно бифуркационной теории пучения проф. Шашенко А.Н. [3] наличие интенсивного поднятия почвы свидетельствует о потере устойчивости породного массива и является, по сути, конечной, вслед за смещениями в кровле и боках, стадией развития процессов деформирования контура горной выработки. В то же время, специалисты ряда шахт Донбасса, обрабатывающих те же пласты или в схожих геологических условиях, отмечают появление сопоставимых объемов поднятия почвы на куда больших глубинах. Естественно, что помимо глубины для определения сложности условий и оценки состояния вмещающих пород следует учитывать и прочностные свойства реального массива со всеми ослабляющими их факторами. В достаточной мере учитывает приведенные выше параметры геосистемы, вмещающей выработку, обратный известному коэффициенту Ю.З. Заславского комплексный показатель условий разработки, обоснование допустимости использования которого приведены в [4, 5]:

$$\theta = \frac{R_c k_c}{\gamma H};$$

где R_c – прочность пород на одноосное сжатие, кг/см²; k_c – коэффициент структурного ослабления породного массива; γ – объемный вес горных пород, кг/м³; H – глубина разработки, м.

Авторами на основании анализа многочисленных натуральных наблюдений с привлечением математического аппарата механики сплошной среды установлена функциональная связь между комплексным показателем условий разработки и размерами зоны деформированных пород. Для капитальных выработок вне зоны влияния очистных работ в [5] определена граница больших глубин разработки соответствующая $\theta = 1$. При $\theta > 1$ деформации массива не приводят к существенным смещениям контура выработки, требующим обширных ремонтных работ. При $\theta < 0,67$ выработки в результате интенсивных деформаций контура оказываются преимущественно во внеэксплуатационном состоянии. Область значений $0,67 < \theta < 1,0$ является переходной от благоприятных условий к тяжелым, в пределах которой вероятность сохранения эксплуатационных характеристик подземных объектов соизмерима с риском полной потери ее устойчивости [6].

Очевидна также связь параметра θ с затратами на проходку и ремонт горных выработок, для выявления которой в рамках сотрудничества ГВУЗ «Национальный горный университет» (г. Днепропетровск) и компанией ДТЭК Энерго на первом этапе исследований эффективности различных типов крепи для шахт «ДТЭК Добропольеуголь» был определен комплексный показатель условий разработки (Рис. 1).

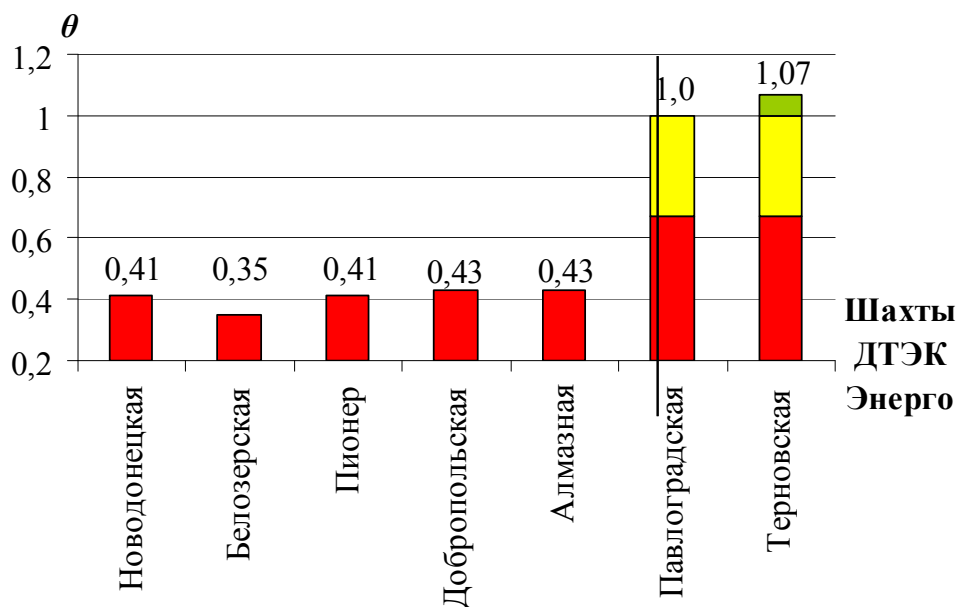


Рис. 1. Диаграмма изменения комплексного показателя условий разработки θ шахт ДТЭК Энерго.

Для наглядности и сравнения на рис. 1 представлены также показатели θ для двух шахт ПАТ «ДТЭК Павлоградуголь» как пример благоприятных горно-геологических условий. Здесь удалось обеспечить долговременное безремонтное поддержание капитальных выработок, закрепленных рамно-анкерной крепью. При этом стоимость крепи капитальных выработок составила 5,6 тыс. руб./п.м., что в среднем в 1,4 раза меньше чем при использовании рамной крепи.

В сложных условиях шахт «ДТЭК Добропольеуголь», где в капитальных выработках используется в подавляющем большинстве случаев рамная крепь, а средний шаг установки составляет 0,5 м, объемы ремонта выработок весьма существенны. Так, например, в условиях

шахты Белозерская, горно-геологические условия разработки которой являются наиболее тяжелыми, участок грузового ходка уклона пласта l_3 гор. 830 м длиной более 400 м, пройденный в 2011 году, по сути проходил заново в том же году, так как потеря сечения в результате пучения составила более 90 %. При этом стоимость используемой рамной крепи при плотности ее установки 2 рам/п.м. составляет 25,1 тыс. руб./п.м.

Естественно и ожидаемо, что большие затраты на проходку и поддержание выработок, их низкая устойчивость и большие по величинам и интенсивности деформации породного массива присущи шахтам Добропольского региона, о чем и свидетельствуют меньшие значения комплексного показателя условий разработки θ . Однако обращает на себя внимание тот факт, что для выработок шахт с $\theta > 1$ рамная крепь успешно заменяется менее затратной рамно-анкерной, а в некоторых случаях даже анкерной. В то же время при $\theta < 0,67$ рамная крепь, несмотря на большую металлоемкость и плотность ее установки, уже не удовлетворяет требованиям обеспечения устойчивости горных выработок в существующих сложных горно-геологических условиях угольных шахт. Иными словами область применения рамной крепи в чистом виде несколько сузилась, а для обеспечения сохранности подземных сооружений и защиты их от горного давления требуются иные охраняющие конструкции, обеспечивающие устойчивость самого массива.

Примером таких конструкций является анкерная крепь, широко используемая в практике горнопроходческих работ за рубежом и на некоторых горнодобывающих предприятиях Украины. В капитальных выработках угольных шахт такая крепь сама по себе используется пока еще довольно редко. Однако в виде комбинированной крепи, совместно с рамными, набрызгбетонными ограждающими конструкциями, тампонажем породного массива, анкерная крепь в последнее время получает широкое распространение. Например, крупнейшая компания по добыче и обогащению угля ДТЭК Энерго реализует целевую программу внедрения рамно-анкерной крепи на всех без исключения угледобывающих структурных подразделениях и первые результаты внушают оптимизм.

На шахте Добропольская по данным наблюдений 2011-13 гг. [7] за состоянием нижней части грузового ходка уклона пласта m_5^{16} горизонта 450 м на участке длиной 140 м, закрепленном рамно-анкерной крепью, величина вертикальных смещений уменьшилась в среднем на 24 % по сравнению с участком, закрепленным только рамной крепью. При этом плотность установки рам арочной крепи АП-3/13,8 была уменьшена с на 25 % с 1,25 до 1,0 рам./п.м.

Для определения экономической эффективности использования рамно-анкерных крепей на конвейерном уклоне того же пласта начиная с 2014 года и по настоящее время выполняются натурные наблюдения за двумя участками конвейерного уклона пл. m_5^{16} [8]. Один из них, контрольный, закреплен рамно-анкерной крепью КШПУ-М 17,7 (2 рам./п.м.), усиленной 5 анкерами, в соответствии с разработанным на основании СОУ паспортом крепления [9]. Для второго (экспериментального) участка проект крепления был принят согласно рекомендациям «Инструкции по проектированию комбинированного рамно-анкерного крепления выработок на угольных шахтах Украины», которая разработана на основании исследований, выполненных специалистами службы операционных улучшений ДТЭК в сотрудничестве с Национальным горным университетом и институтом геотехнической механики им. Н.С. Полякова. Согласно паспорту крепления использовалась усиленная 11 анкерами на 1 п.м. крепь КМП-А3 Р3 с шагом установки 0,8 м,

Для мониторинга состояния выработки в процессе ее эксплуатации были установлены 3 контурных замерных станции. Замеры конвергенции осуществлялись маркшейдерской службой ШУ «Добропольское» с очередностью 1 раз в 2 недели. За 1,5 месяца наблюдений фактические вертикальные смещения составили 40 мм на контрольном участке, а на экспериментальном – 39 мм.

Расчетные затраты на крепление уклона по проектному варианту в ценах ноября 2014 года составили 11,05 тыс. грн./п.м., для экспериментального – 7,45 тыс. грн./п.м. Полные затраты на 1 п. м проведения, соответственно, 16,8 тыс. грн./п.м. и 13,0 тыс. грн./п.м.

Анализируя результаты выполненных натурных исследований можно отметить, что величины смещений контура выработки для участков наблюдения практически равны, что подтверждает правомерность использования предложенной системы крепи. Кроме того, экспериментальный вариант крепи на треть (или на 3,6 тыс. грн./п.м.) дешевле проектного, а общие затраты на 22,5 % (или на 3,8 тыс. грн./п.м.) меньше, что свидетельствует об экономической эффективности предложенного варианта. Важным является также то, что использование анкеров в качестве усиливающих элементов в проектном варианте крепи не является пределом ее оптимизации, а дальнейшая обоснованная корректировка параметров комбинированной крепи позволяет несколько улучшить соотношение «цена-качество» строительства и эксплуатации конкретной горной выработки.

В дальнейшем наблюдения будут продолжены либо до погашения уклона, либо до существенного снижения смещений контура выработки. При этом предусмотрена фиксация объемов и стоимости фактических ремонтных работ, что позволит оценить эффективность затрат, вложенных в крепление при проведении. Более того, в будущем планируется использование сугубо анкерных систем крепи для ремонта выработок на отдельных экспериментальных участках с последующей оценкой их эффективности.

Учитывая снижение себестоимости строительства подземных выработок на шахтах ДТЭК благодаря выполнению программы внедрения комбинированных рамно-анкерных крепей, ее реализация планируется и в 2015-16 годах. При этом из 7 шахтоуправлений компании западного Донбасса и Добропольского региона для крепления капитальных горных выработок на 4-х планируется использование только комбинированной рамно-анкерной крепи, в том числе и для ШУ «Белозерское», характеризующееся наиболее сложными условиями разработки (Таблица 1). Лишь в одном шахтоуправлении внедрение рамно-анкерной крепи планировалось после 2015 года, а на двух предполагалось использование и рамной и комбинированной крепи.

Таблица 1.

Плановые параметры проведения и крепления капитальных горных выработок по шахтоуправлениям ДТЭК на 2015 г.

№ п/п	Шахтоуправление	Проходка, м		Шаг крепи, м		Стоимость крепления, тыс. грн./п.м.	
		РК*	РА*	РК*	РА*	РК*	РА*
1	«ДОБРОПОЛЬСКОЕ»	0	775	0	0,5	0	9,7
2	«БЕЛОЗЕРСКОЕ»	0	1820	0	0,8	0	5,4
3	«ПЕРШОТРАВЕНСКОЕ»	0	6883	0	0,8	0	5,5
4	«ПАВЛОГРАДСКОЕ»	0	4190	0	1,0	0	5,95
5	«ТЕРНОВСКОЕ»	2970	5545	0,64	0,61	5,9	8,3
6	ИМ. ГЕРОЕВ КОСМОСА	4815	460	0,57	1,0	9,0	4,3
7	«ДНЕПРОВСКОЕ»	6780	0	0,5	0	8,2	0
		14565	19673				

РК – рамная крепь, РА – рамно-анкерная крепь

По всем шахтоуправлениям компании ДТЭК планируемая средняя стоимость проходки капитальных горных выработок при использовании рамной крепи составит 22,8 тыс. грн./п.м., рамно-анкерной – 19,4 тыс. грн./п.м.

Фактические результирующие показатели внедрения и стоимости применения рамной и рамно-анкерной крепи, представленные в табл. 2, свидетельствуют о следующем:

- несмотря на невыполнение плановых объемов проходческих работ (24,43 км против 34,238 км), суммарная длина пройденных выработок на каждой шахте составляет в среднем 1,52 км;

- более трети всех выработок (37 %) закреплено рамно-анкерной крепью;

- на половине шахтоуправлений удалось снизить стоимость погонного метра пройденной выработки, прежде всего, за счет снижения стоимости крепи путем применения именно рамно-анкерных систем.

Таблица 2.

Фактические объемы проведения и крепления капитальных горных выработок по шахтоуправлениям ДТЭК за 2015 г.

№ п/п	Шахтоуправление	Проходка, м		стоимость крепления, тыс. грн./п.м.		стоимость проходки 1 п.м., тыс. грн./п.м.	
		РК	РА	РК	РА	РК	РА
1	«ДОБРОПОЛЬСКОЕ»	0	5	0	10,5	0	17,3
2	«БЕЛОЗЕРСКОЕ»	840	311	7,26	6,29	22,99	16,79
3	«ПЕРШОТРАВЕНСКОЕ»	2301	3670	5,87	6,75	18,83	20,75
4	«ПАВЛОГРАДСКОЕ»	1553	1896	8,34	7,8	14,35	14,03
5	«ТЕРНОВСКОЕ»	3648	2851	9,5	14,04	18,06	22,73
6	ИМ. ГЕРОЕВ КОСМОСА	2767	120	11,08	10,04	26,9	21,53
7	«ДНЕПРОВСКОЕ»	4165	303	13,31	14,44	24,95	32
		15274	9156				

Снижение объемов проходки и изменение соотношения объемов крепления двумя видами крепи объясняется ухудшением макроэкономических показателей всей Украины, что естественно отразилось на показателях работы одной из крупнейших компаний страны. Тем не менее, постепенный переход шахт от рамных к рамно-анкерным, а впоследствии, вероятно, и к анкерным системам крепи, как ожидается, интенсифицируется в ближайшем будущем.

Обобщая опыт использования рамно-анкерных крепей на шахтах ДТЭК, а также результаты натурных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Рамная крепь ввиду особенностей функционального назначения, реального качества и технологических особенностей ее установки уже не позволяет обеспечить долговременную устойчивость выработок в сложных горно-геологических условиях. В то же время на шахтах с относительно благоприятными условиями использование дорогой и металлоемкой рамной крепи в предписываемых нормативными указаниями [10] объемах не всегда обосновано.

2. Комплексный показатель условий разработки θ , возможность использования которого обоснована в [3...5], является критерием, позволяющим определить область применения рамно-анкерной крепи. В благоприятных условиях при $\theta > 1$ и в неблагоприятных – $\theta < 0,67$. В переходной зоне ($0,67 < \theta < 1,0$) использование рамно-анкерной крепи уместно при условии большей эффективности по сравнению с рамными крепями. Действительно, шахты «ДТЭК Добропольеуголь», где $\theta = 0,35...0,43$ имеется опыт успешного использования рамно-анкерной крепи (шахта «Добропольская»), что лишний раз подтверждает правильность выводов работы [5] и возможности использования подобных систем крепи на иных шахтах с подобными условиями.

3. Рамно-анкерная крепь в силу своей способности частично предотвращать деформации массива вокруг выработки, оказывается не менее эффективной при снижении металлоемкости путем увеличения шага установки ее рамных элементов, о чем свидетельствуют результаты исследований на шахте Добропольская, и статистические данные результатов производственной деятельности шахт ПАТ «ДТЭК Павлоградуголь».

4. Использование рамно-анкерной крепи в некоторых случаях позволяет на четверть сократить расходы на проходку и крепление выработок, как, например, на ШУ «БЕЛОЗЕРСКОЕ» и ИМ. ГЕРОЕВ КОСМОСА.

Список литературы

1. Касьян Н.Н. О перспективах применения анкерной крепи на угольных шахтах / Н.Н. Касьян, Ю.А. Петренко, А.О. Новиков // Наукові праці ДонНТУ. Серія «Гірничо-геологічна» – Донецьк : Донецький Національний технічний університет, 2009. – Вип.10(151). – С. 109–115.
2. Солодянкин А.В. Эффективные решения по повышению устойчивости протяженных выработок с применением анкерных систем / А.В. Солодянкин, В.В. Раскидкин // Проблемы гірничої технології: матеріали регіональної науково-практичної конференції – Донецьк : Красноармійський індустріальний інститут ДонНТУ, 2010. – С. 73-78.
3. Шашенко А.Н. К вопросу о максимальной величине радиуса зоны неупругих деформаций / А.Н. Шашенко, А.В. Солодянкин // Проблемы горного дела и экологии горного производства. Материалы IV Международной научно-практической конференции – Антрацит : Восточноукраинский Национальный университет им. В. Даля, 2009. – С. 80-86.
4. Шашенко А.Н. Критерии оценки устойчивости пород почвы горных выработок / А.Н. Шашенко, А.В. Солодянкин // Науковий вісник Національного гірничого університету – Дніпропетровськ: РВК НГУ, 2007. – № 1. – С. 44–49.
5. Шашенко А.Н. К обоснованию границы «больших глубин разработки» / А.Н. Шашенко, А.В. Солодянкин, С.Н. Гапеев // Матеріали міжнародної конференції “Форум гірників-2009”. Том 3. – Дніпропетровськ: РВК НГУ, 2009. – С. 8-12.
6. Григорьев А.Е. к вопросу определения систем крепи подземных горных выработок угольных шахт / А.Е. Григорьев, А.С. Барышников, Б.В. Марцынюк // Перспективи розвитку будівельних технологій. Матеріали 9-ї міжн. наук.-практ. конференції молодих учених, аспірантів і студентів, 23–24 квітня 2015 р. – Д.: Національний гірничий університет, 2015. – С. 33–36.
7. Терещук Р.Н. Обследование состояния горных выработок на шахтах шахтоуправления «Добропольское» ООО «ДТЭК Добропольеуголь» / Р.Н. Терещук, А.Е. Григорьев // Проблемы гірського тиску. – Донецьк : Донецький Національний технічний університет, 2012. – №1(20) – 2(21). – С. 68-85.
8. Колесниченко Е.А. Оптимизация паспортов комбинированной рамно-анкерной крепи капитальных выработок / Е.А. Колесниченко, В.И. Пилюгин, А.Е. Григорьев // Уголь Украины. – К, 2015. - №3-4. – С. 72-74.
9. СОУ 10.1.05411357.010:2008. Система обеспечения надежного и безопасного функционирования горных выработок с анкерным креплением. Общие технические требования. – Київ : Минуглепром України, 2008. – 83 с.
10. Расположение, охрана и поддержание горных выработок при отработке угольных пластов на шахтах; КД 12.01.01.201–98. – Київ : Мінуглепром України, 1998. – 150 с.