

Ю.И. Кияшко, д-р техн. наук
(ИГТМ НАН Украины)

А.В. Кириченко, канд. экон. наук
(НГУ МОН Украины)

МИНИМИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЗАТРАТ НА КРЕПЛЕНИЕ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК В ТЯЖЕЛЫХ УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Приведено наукове та економічне обґрунтування доцільності використання на вугільних шахтах кріплень нового технічного рівня.

PRODUCTION COST MINIMIZATION FOR TIMBERING MINE WORKING IN HARD USAGE.

Scientific and economic substantiation of reasonability using timbers of new technical level on coal mine is given.

В Украине для вскрытия, подготовки и выемки 80-90 млн. т угля ежегодно проводится до 500 км выработок различного назначения. По данным, которыми располагают авторы, более 70 % вскрывающих и подготавливающих выработок проводят в условиях, усложненных различными факторами: повышенным горным давлением, неустойчивостью нижних слоев кровель, обводненностью, высокой газоносностью, тектонической нарушенностью массива горных пород и другими. 95 % общего количества выработок поддерживается металлическими крепями разного сечения.

Западно-Донбасским научно-производственным центром «Геомеханика» созданы рамные крепи нового уровня с повышенной несущей способностью. Они по сравнению с крепями АПЗ, АП5 и другими устаревшего технического уровня обеспечивают: устойчивое состояние горных выработок в течение более продолжительного времени, что увеличивает производительность, безопасность и экономичность работы добычных участков; возможность проведения подготовительных выработок с большей скоростью из-за уменьшения объемов работ по монтажу рам, снижение плотности их установки; уменьшение производственных затрат на крепление и ремонт, улучшение условий труда на сопряжениях выработок и лав.

Имеющиеся результаты их промышленного применения позволяют с достаточной достоверностью оценить экономическую эффективность на конкретных примерах. Для этого необходим учёт не только первичных прямых затрат, но и тех, которые связаны с ремонтом выработки (перекрепление, подрывка и т. п.), а также затрат, связанных с усилением крепей на сопряжениях лав и выемочных штреков. Фактические данные о затратах на проведение и поддержание выработок новых и типовых крепей приведены в табл. 1. Здесь представлены стоимость непосредственно рамной и анкерной крепей, затраты на крепление и подрывку почвы, стоимость рам при перекреплении и общие затраты на поддержание пластовых выработок за весь срок отработки выемочных участков при использовании (в сопоставимых условиях) как типовой АПЗ, АП5, так и крепи нового поколения (НТУ).

Таблица 1 – Затраты на крепление и ремонт горных выработок

Горная выработка	Тип крепи	Стоимость крепи, грн/п.м	Затраты на ремонт, грн/п.м	Затраты на перекрепление, грн/п.м	Затраты на подрывку почвы, грн/п.м	Стоимость новой крепи при перекреплении, грн/п.м	Всего
<i>АП «Шахта им. А.Ф.Засядько»</i>							
13 ^в конвейерный штрек пласта m ₃	АП3-18,3	1944	65	4360*	510	1302	8181
14 ^в конвейерный штрек пласта m ₃	КМП-А5С-18,7	2542	86	282	400	Не нужно покупать	3310
15 ^{вост} восточный конвейерный штрек пласта m ₃	АП3-22,5+анкера КМП-А4К (20,5)+анкера	2650+779 ¹ 2470+779 ¹	Нет данных	6270*	829	1570	12098
17 ^в конвейерный штрек пласта m ₃	АП3-22,5+анкера КМП-А4К (18,0)+анкера	2650+779 ¹ 2212+779 ¹	Нет данных	6270*	829	1570	12098
<i>ГП «Красноармейскуголь», шахта им. А.Г. Стаханова</i>							
Вентиляционный штрек коренной северной лавы пласта К ^в ₅	АП3-15,5	2210	168	5211	836	2210	10635
	КМП А3 Р2(16,1)	1440	126	564	836	241	3207
Бортовой ходок пласта К ^в ₅	АП3-15,5	2210	217	2320	886	740	6373
	КМП А3 Р2(16,1)	2030	176	–	886	Не нужно покупать	3092
<i>Шахта Щегловская-Глубокая</i>							
Восточный конвейерный штрек пласта m ₃	АП5-13,8 (18,8)	2774	158	10352*	1092	3408	17784
	КМП А3 Р2 (18,0) и КМП А4 Р2 (18,0)	2827	141	4817*	478	1617	9880

* Перекрепляли не менее 2-х раз в течение срока эксплуатации

¹ Стоимость анкерного крепления

Из табл. 1 следует, что затраты на приобретение металлокрепей в зависимости от их производителя и типа (конструкции), а также условий эксплуатации на указанных шахтах весьма различаются, что приводит к значительным колебаниям стоимости проходческих и ремонтных работ. С большей очевидностью прослеживается следующая тенденция. Даже при незначительных отклонениях стоимости приобретенной крепи (в зависимости от конъюнктуры рынка и производителя, причем как в большую, так и в меньшую сторону), общие фактические затраты на поддержание пластовых выработок за период отработки выемочного участка существенно снижались при использовании крепей НТУ: на 20-34% по шахте им. А.Ф. Засядько, на 24-51% по шахте им. А.Г. Стаханова и на 32% по шахте «Щегловская-Глубокая».

Экономическое сопоставление выполнено только по стоимости крепей и затратам по статье «перекрепление и ремонт», а экономия на транспорте дополнительных объёмов породы в отвал и от снижения нагрузки на обогатительную фабрику не учтены. Не учитывался также экономический эффект от роста нагрузки на лаву из-за более комфортных условий работы на сопряжениях лав.

Неучтенный эффект по указанным факторам по меньшей мере сопоставим с полученным. Экономический эффект от применения крепей нового поколения увеличивается пропорционально уровню тяжести условий эксплуатации. Практически любые обоснованные затраты, связанные как с удорожанием крепи, так и с осуществлением дополнительных мероприятий технологического характера (анкерование, охранные конструкции и т.п.) могут быть вполне оправданными, что подтверждается практикой и нашими расчётами. Такие расчёты необходимы для каждого конкретного случая из-за многообразия параметров, технологических характеристик и специфических условий применения крепей, как устаревших конструкций, так и нового поколения. Применение крепей НТУ позволяет минимизировать производственные затраты на крепление горных выработок особенно в сложных условиях эксплуатации.

Крепь КМП–АЗР2 в соответствии с необходимой нормативной и разрешительной документацией выпускается Западно–Донбасским научно-производственным центром «Геомеханика». Овоидная форма этой крепи является самой устойчивой из всех известных при работе в массиве горных пород, если нагрузки распределены с различной интенсивностью по периметру крепи. Опыт применения этой крепи показал её основное преимущество перед АПЗ и АП5 – гарантированную возможность эксплуатации выработок в течение заданного срока.

Расчёты параметров, экспериментальное и промышленное применение новой крепи показали такие технические преимущества перед АПЗ: увеличенное в $1,8 \div 2$ раза сопротивление за счёт роста радиальной нахлестки до 600 мм и установки в главных узлах податливости дополнительных замковых соединений типа АПЗ.070; стабильность величины сопротивления ($90 \pm 10\%$) за счёт увеличения несущей способности оптимально

формируемого верхняка и сопряженных с ним по другим радиусам стоек; увеличенная до 700 м податливость крепи в целом при стабильной величине сопротивления, что удалось достигнуть путем комплекса технических новшеств, в том числе за счёт оптимальной кривизны и уменьшения пролёта верхняка.

Технические преимущества новой крепи КМП-АЗР2 по сравнению с типовой АПЗ и АП5 позволяют определить такие факторы экономической эффективности применения: а) уменьшение металлоёмкости крепления выработки за счёт: а) увеличения шага установки рам по длине выработки; б) уменьшения производственных затрат за счёт снижения объёмов подрывки пород почвы при ремонте выработки; в) уменьшения (исключения) производственных затрат на перекрепление выработки.

Кроме указанных в расчётах использованы конструктивные данные и параметры крепей, значения которых представлены в табл. 2. При этом учитывались сведения о горном массиве, в котором планируется проходка выработки с конкретными размерами и назначением, результаты опыта эксплуатации типовых и новых крепей в сопоставимых условиях.

Таблица 2 – К сравнению технических характеристик базовых Б и новых Н вариантов крепи

Виды вариантов	Тип крепи	Сечение в свету, м ²	Ширина, мм:		Высота, мм	Тип спецпрофиля	Масса спецпрофиля в одной раме, кг	Рабочее сопротивление, кН/раму	Предельная несущая способность, кН/раму
			у почвы	на высоте 2 м					
Малые сечения									
Б1	АПЗ	11,2	4183	3685	3132	СВП22	212,14	211,0	317,0
Б2	АПЗ	11,2	4170	3666	3127	СВП27	261,54	307,0	461,0
Н1	КМП-АЗР2	11,4	4355	3382	3474	СВП22	220,0	380,0	570,0
Н2	КМП-АЗР2	11,4	4340	3363	3470	СВП27	270,0	553,0	830,0
Средние сечения									
Б3	АПЗ	13,8	4742	4217	3393	СВП27	285,78	267,0	400,0
Б4	АПЗ	13,8	4747	4202	3383	СВП33	353,40	348,0	522,0
Н3	КМП-АЗР2	13,3	4700	3806,0	3666,0	СВП27	285,0	497,0	745,0
Н4	КМП-АЗР2	13,3	4685	3788	3656	СВП33	352,0	653,0	980,0
Большие сечения									
Б5	АПЗ	15,5	5200	4641	3455	СВП27	303,98	233,0	350,0
Б6	АПЗ	15,5	5200	4620	3450	СВП33	375,92	318,0	478,0
Н5	КМП-АЗР2	15,5	5065,0	4242	4007,0	СВП27	312,0	447,0	670,0
Н6	КМП-АЗР2	15,5	5055,0	4230	4002,0	СВП33	386,0	593,0	880,0

Поэтому была поставлена задача определить величины снижения производственных затрат при применении новой крепи КМП-АЗР2 взамен типовой АПЗ (соответственно – новый и базовый варианты).

Расчёты выполнены методом прямого счёта для базовых (Б1...Б6) и новых (Н1...Н6) близких между собой по сечению типоразмеров крепей, при этом варьировали шагом установки рам по длине выработки (0,5; 0,67; 0,8 м) и типом спецпрофиля (СВП22, СВП27, СВП33). Точность расчётов при определении: разница в массах рам составляет сотые доли кг; отношений масс рам – до тысячных долей единицы.

Удельные затраты металлоемкости 1 км выработки, закрепленной новой и базовой крепями, в зависимости от типоразмера профиля СВП и уменьшения шага установки рам, приведены в табл. 3.

Таблица 3 – Сравнение производственных затрат при покупке новой крепи

Технико-экономические показатели	Типоразмер профиля СВП, из которого изготовлена рама крепи и шаг их установки по длине выработки (м) при различных сечениях:		
	(11,0±ΔF) м ²	(13,8±ΔF) м ²	(15,5±ΔF) м ²
1) <u>КМП-АЗР2</u> АПЗ	СВП22 <u>11,4x0,8</u> 11,2x0,5	СВП27 <u>13,3x0,8</u> 13,8x0,5	СВП27 <u>15,5x0,8</u> 15,5x0,5
1.1. Металлоемкость крепления, т/км	<u>275,0</u> 424,28	<u>356,25</u> 571,56	<u>390,0</u> 607,96
1.2. Фондоёмкость крепления (по металлопрокату), млн.грн/км	<u>1,65</u> 2,249	<u>2,1375</u> 3,029	<u>2,340</u> 3,222
1.3 Уменьшение производственных затрат, млн.грн/км	0,599	0,892	0,882
2) <u>КМП-АЗР2</u> АПЗ	СВП27 <u>11,4x0,8</u> 11,2x0,5	СВП33 <u>13,3x0,8</u> 13,8x0,5	СВП33 <u>15,5x0,8</u> 15,5x0,5
2.1. Металлоемкость крепления, т/км	<u>337,5</u> 523,1	<u>440,0</u> 706,8	<u>482,5</u> 751,84
2.2. Фондоёмкость крепления (по металлопрокату), млн.грн/км	<u>2,025</u> 2,772	<u>2,64</u> 3,746	<u>2,895</u> 3,985
2.3 Уменьшение производственных затрат, млн.грн/км	0,747	1,106	1,09
3) <u>КМП-АЗР2</u> АПЗ	СВП22 <u>11,4x0,67</u> 11,2x0,5	СВП27 <u>13,3x0,67</u> 13,8x0,5	СВП27 <u>15,5x0,67</u> 15,5x0,5
3.1. Металлоемкость крепления, т/км	<u>328,36</u> 424,28	<u>425,37</u> 571,56	<u>465,67</u> 607,96
3.2. Фондоёмкость крепления (по металлопрокату), млн.грн/км	<u>1,97</u> 2,249	<u>2,552</u> 3,029	<u>2,79</u> 3,222
3.3 Уменьшение производственных затрат, млн.грн/км	0,279	0,477	0,432

то же в средних по тяжести горно-геологических условиях на средних глубинах, но со слабоустойчивой кровлей

а) шаг установки, м 0,5 0,67
б) № спецпрофиля СВП27 СВП27

в) уменьшение затрат на 0,477 млн. грн на каждом км выработки;

то же в средних по тяжести горно-геологических условиях, но с устойчивой кровлей

а) шаг установки, м 0,5 0,8
б) № спецпрофиля СВП33 СВП33

в) уменьшение затрат на 1,106 млн. грн на каждом км выработки;

то же в тяжелых горно-геологических условиях на больших глубинах со слабоустойчивой кровлей

а) шаг установки, м 0,5 0,67
б) № спецпрофиля СВП33 СВП33

в) уменьшение затрат на 0,594 на каждом км выработки.

В. Переход с АПЗ – 15,5 м² на КМПА3-Р2 – 15,5 м² в благоприятных условиях

а) шаг установки, м 0,5 0,8
б) № спецпрофиля СВП27 СВП27

в) уменьшение затрат на 0,882 млн. грн на каждом км выработки;

то же в средних по тяжести горно-геологических условиях на средних глубинах, но со слабоустойчивой кровлей

а) шаг установки, м 0,5 0,67
б) № спецпрофиля СВП27 СВП27

в) уменьшение затрат на 0,432 млн. грн на каждом км выработки;

то же в средних по тяжести горно-геологических условиях, но с устойчивой кровлей

а) шаг установки, м 0,5 0,8
б) № спецпрофиля СВП33 СВП33

в) уменьшение затрат на 1,09 млн.грн на каждом км выработки;

то же в тяжелых горно-геологических условиях на больших глубинах со слабоустойчивой кровлей

а) шаг установки, м 0,5 0,67
б) № спецпрофиля СВП33 СВП33

в) уменьшение затрат на 0,528 на каждом км выработки.

Укрупнено уровень снижения производственных затрат от применения новых крепей КМП-А3Р2 взамен АПЗ, АП5 по статьям «покупка металлокрепи» и «ремонт выработки в процессе эксплуатации» представлен в табл. 4.

Таблица 4 – Уменьшение затрат на покупку новой крепи, ремонт выработки и общих затрат при замене крепи АПЗ новой крепью КМП-АЗР2

Тип условий эксплуатации, величины уменьшение затрат, млн.грн/км	Обозначение, сечение, шаг установки в выработке и тип профиля, из которого крепь изготовлена					
	КМП-11,4x0,8x22	КМП-11,4x0,67x22	КМП-13,3x0,8x27	КМП-13,3x0,67x27	КМП-15,5x0,8x27	КМП-15,5x0,67x27
а) при покупке крепи	0,59	0,279	0,892	0,477	0,882	0,432
б) при ремонте выработки	1,0	2,15	0,670	1,258	0,680	1,39
в) общие затраты	1,59	2,94	1,562	1,735	1,562	1,822
Средней тяжести и тяжелые	КМП-11,4x0,8x27	КМП-11,4x0,67x27	КМП-13,3x0,8x33	КМП-13,3x0,67x33	КМП-15,5x0,8x33	КМП-15,5x0,67x33
а) при покупке крепи	0,747	0,354	1,106	0,594	1,09	0,528
б) при ремонте выработки	0,590	Требуется уточнение данных (ТУД)	0,398	ТУД	0,40	ТУД
в) общие затраты	1,337		1,504		1,490	

Выводы:

1) Применение в угольных шахтах крепей нового технического уровня взамен устаревших малоэффективных в эксплуатации конструкций – технически целесообразно и экономически обосновано во всех и, особенно, в тяжелых условиях эксплуатации выработок.

2) Кроме уменьшения металло- и фондоемкости крепления выработок, проверенными на практике достоверными расчетами показано, что:

в благоприятных условиях эксплуатации общая величина ΔU уменьшения производственных затрат находится в пределах:

а) Сечение, м ²	11,2-11,4	13,3	15,5
б) Общее уменьшение затрат, млн. грн/км	1,6÷2,9	1,55÷1,7	1,55÷1,8

в средней по тяжести условиях эксплуатации ΔU равна:

а) Сечение, м ²	11,2-11,4	13,3	15,5
б) Общее уменьшение затрат, млн. грн/км	1,34÷2,9	1,5÷1,7	1,4÷1,8

в тяжелых условиях эксплуатации на больших глубинах с различной по устойчивости кровлей и по склонности к пучению почвой ΔU равна:

а) Сечение, м ²	11,2-11,4	13,3	15,5
б) Общее уменьшение затрат, млн. грн/км	не менее 2,9	не менее 1,75	не менее 1,8

3) Если при проходке, например, 100 км выработок (20 % от общего их требуемого ежегодного объема) заменить типовую крепь АПЗ, АП5 на крепи нового технического уровня, то в целом по угольной отрасли можно сэкономить до 200 млн. грн. в год производственных затрат на покупку металлической крепи и эксплуатацию закрепленных выработок.

4) Указанные типы крепей НТУ масштабно внедряются на многих шахтах Украины, апробированы на шахтах Кузбасса, а их опытные партии применены на шахтах Болгарии и Ирана.