

УДК 622.28.042.4: 622.281.5: 622.283.5: 622.23.056

*д.т.н. Литвинский Г.Г.,
к.т.н. Смекалин Е.С.
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР)*

ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАМНЫХ КОНСТРУКЦИЙ КРЕПИ

Проведен анализ проблемы крепления горных выработок в горной промышленности. Рассмотрены и сравнены арочные и трапециевидные конструкции крепи. Предложена методика технико-экономического сравнения и критерии оценки рамных крепей. Выявлены тенденции развития рамного крепления и показаны преимущества крепи нового технического уровня. Дана оценка экономического эффекта в горной промышленности при внедрении нового крепления.

Ключевые слова: *рамная крепь, выбор размеров, форма выработки, несущая способность, податливость, работоспособность, критерии оценки, эффективность.*

В горной промышленности для обеспечения эффективной добычи полезных ископаемых необходимо постоянно сооружать большое число капитальных и подготовительных выработок значительной протяженности. Так, в угольной промышленности на каждые 1000 т угля необходимо пройти от 5 до 10 м подготовительных горных выработок (ГВ), что при ежегодной добыче 100 млн т угля (потребность Украины) составляет около 500-700 км ГВ. Учитывая, что стоимость проходки 1 км ГВ среднего поперечного сечения находится в пределах 2...3 млн. долларов, из которых не менее 50-60% - это стоимость крепления, становится понятно, насколько актуальна проблема совершенствования крепления. Положение усугубляется тем, что конструкции крепи далеки от совершенства и в условиях больших глубин и высокого горного давления ГВ часто оказываются нарушенными и нуждаются в ремонтах и перекреплениях, на что затрачивается не менее 10-15% трудовых и финансовых ресурсов и в целом ведет к повышению себестоимости добычи 1 т угля на 20-30%, а по угольной промышленности неоправданные издержки доходят до 0,7-1,1 млрд. долларов в год [1].

В период промышленной революции (18-19 вв.), когда началась интенсивная добыча полезных ископаемых и требовалось проведение большого числа ГВ, их

крепили в основном деревянной крепью и их форма была прямоугольной или трапециевидной. Это позволяло максимально использовать площадь поперечного сечения ГВ и хорошо согласовывалась со строением слоистого массива. В условиях умеренного проявления горного давления на малых глубинах разработки, характерных для того периода развития горной промышленности, когда основными формами разрушения пород вокруг ГВ являлись вывалы пород или своды естественного равновесия [2], деревянная крепь вполне удовлетворяла нужды горной промышленности. Апофеоз расцвета такого типа крепи можно и сейчас увидеть в соляных коях исторического заповедника ш. Величко (Польша), где за семь веков разработки соли были сооружены коридоры и галереи на семи подземных уровнях на глубине от 57 м до 198 м общей протяженностью более 200 км [3]. В 30-х гг. прошлого столетия дерево сменил стальной прокат в виде корытного профиля разных конфигураций, что обеспечило повышение работоспособности крепи в 5-10 раз, главным образом за счет узлов податливости и арочной формы ГВ. Стальные рамные конструкции крепи стали доминирующими и в угольной промышленности более 90% ГВ закреплено именно ими.

Несмотря на то, что крепи ГВ прошли длительный путь совершенствования и раз-

вития, до сих пор не удалось создать достаточно эффективной конструкции, которая могла бы обеспечить надежное безремонтное поддержание ГВ весь срок их службы при умеренных финансовых и трудовых затратах. Исследованиями и разработками по проблеме крепления ГВ занимались многие НИИ и вузы, в числе которых следует упомянуть ИГД им. А.А. Скочинского и МГГУ (г. Москва), ВНИМИ и Национальный минерально-сырьевой университет "Горный" (г. Санкт-Петербург), Тульский национальный технический университет, Донуги и УкрНИМИ (г. Донецк), НГУ и ИГТМ НАНУ (г. Днепрпетровск), ДонГТУ (г. Алчевск), а также Краковская горно-металлургическая академия и Главный горный институт GIG в Катовице (Польша), Монтан-Университет Леобена (Австрия) и др. Изучению вопросов крепления посвящены многочисленные публикации отечественных и зарубежных ученых [1, 4-8]. Тем не менее, несмотря на обширность проведенных исследований и ценный накопленный опыт проектирования и эксплуатации стальных конструкций крепи, их до сих пор нельзя считать достаточно работоспособными, экономичными и надежными.

Таким образом, становится понятной актуальность правильного выбора конструкции крепи ГВ и научного обоснования ее геомеханических параметров. Для решения этой проблемы необходим правильный выбор основных направлений разработок, поэтому цель исследований настоящей работы – оценить эффективность различных конструкций крепи подготовительных горных выработок.

Основная идея исследований заключалась в сопоставлении различных показателей рамных конструкций крепи, - технических и экономических, - с использованием единого методического подхода на основании новых критериев эффективности, причем сравнивались крепи ГВ с одинаковым набором размещенного в них транспортное оборудования.

В данной работе объектом исследований являются рамные конструкции крепи

подготовительных ГВ, предметом исследований - их абсолютные и относительные технико-экономические показатели. Задача работы состояла в ранжировании крепей по различным сравниваемым показателям и выявление основных направлений их совершенствования.

Прежде всего, остановимся на особенностях взаимодействия крепи подготовительных ГВ с окружающим массивом. Главной отличительной чертой крепежных рам является то, что в условиях больших глубин разработок и высоких смещений породного контура необходимо обеспечить их устойчивость путем создания податливых конструкций с заданной работоспособностью. В угольной промышленности большинство подготовительных ГВ являются пластовыми или полевыми, пройденными согласно залеганию пород по падению, восстанию (наклонные ГВ) или простиранию (штреки и др.). При этом все конструкции крепи в зависимости от их формы можно условно разделить на два больших класса: с криволинейным (арочные, сводчатые, подковообразные и др.) и прямолинейным (прямоугольные, трапециобразные и др.) верхняком. Наиболее характерные и распространенные конструкции рамных крепей представлены на рисунке 1.

Достоинствами крепи трапецеобразной формы следует считать простоту оконтуривания ГВ при ее проведении по пласту, возможность использования природной прочности «пород-мостов» в кровле и почве, полноту использования сечения ГВ в свету для размещения оборудования. Однако этим крепям присущи заметные недостатки: прочность верхняка, самого ответственного элемента, ниже прочности стоек в десятки раз, и даже установка центральной стойки не может исправить этот недостаток. В результате даже при незначительном давлении с кровли такой верхняк ломается и ГВ нуждается в перекреплении, что недопустимо. Этот недостаток привел к почти полной замене такого типа крепи арочными конструкциями.

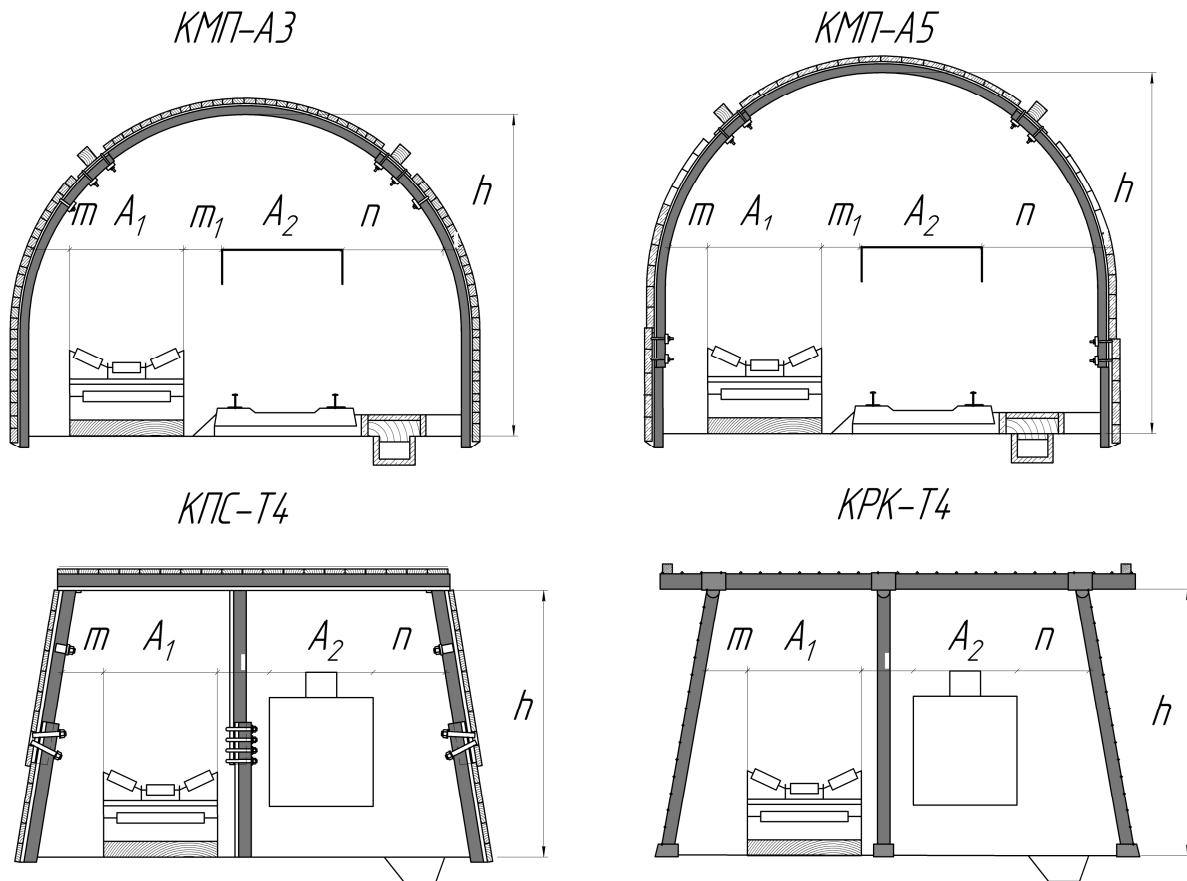


Рисунок 1 – Основные конструкции рамных крепей горных выработок – арочные (КМП-А3 и КМП-А5) и трапециобразные (КПС-Т4 и КРК-Т4)

Крепи с криволинейным очертанием и арочной формы верхняком появились в отечественной угольной промышленности в послевоенное время благодаря использованию для основных элементов (стоек и верхняка) специального взаимозаменяемого профиля СВП различных типоразмеров (14, 17, 22, 27, 33 и т.д.). За счет особой коробчатой формы профиля удалось создать работоспособный узел податливости на принципе проскальзывания вставленных друг в друга спецпрофилей, что происходит, когда продольная сила в элементе превысит некоторый пороговый предел сопротивления узла податливости. Узлы податливости в крепи выполняли важную роль ограничителей предельных нагрузок на крепь, существенно повышая ее надежность и работоспособность. Податливая крепь значительно превосходила все остальные конструкции по несущей способ-

ности и возможности приспособления к большим смещениям породного контура, особенно в условиях интенсивного проявления горного давления. Арочная форма крепи позволяла перекрывать большие пролеты ГВ и позволила решить проблему сооружения ГВ с запасом на осадку.

Основными преимуществами крепи арочной формы являются:

- предельная простота конструкции, все элементы в которой выполнены из одного и того же типоразмера спецпрофиля с одинаковым радиусом;
- высокая работоспособность в условиях больших смещений контура ГВ;
- возможность повторного использования элементов крепи.

Однако опыт широкого промышленного использования и обширные шахтные исследования в различных горно-геологических условиях арочной крепи выявил

ее довольно весомые недостатки:

- конструкция оказалась существенно неравнопрочной: перенапряженные локальные участки соседствуют с протяженными недогруженными с запасом прочности 5-10 и более;

- узлы податливости крепи, несмотря на многочисленные попытки совершенствования, оказались несовершенными;

- в пластовых ГВ арочный верхняк касается кровли на узком участке, отчего создавалась самая неблагоприятная нагрузка в виде сосредоточенной силы, что снижало работоспособность крепи в 2-3 раза;

- арочная рама нуждается в плотной забутовке закрепного пространства, что трудно выполнимо и без чего работоспособность крепи падает в 5-7 раз (до 3-5 т на раму вместо расчетных 30-40 т.).

Выбор формы и определение размеров ГВ является сложной инженерной задачей, решение которой зависит от природных, технологических и технико-экономических факторов. Следует учитывать назначение ГВ, тип размещаемого оборудования и транспортных средств при проходке и эксплуатации, проявления горного давления, особенности вентиляции и пр. Правила безопасности (ПБ) регламентируют зазоры и ограничения по размерам, скорость движения воздуха и пр.

Для равноценного сравнения были выбраны два типа ГВ различной формы с двумя размерами поперечного сечения в свету после осадки $A_{св}$ (рис. 1):

- вспомогательные ГВ, оборудованные одноколейным рельсовым путем с проходом для людей при $A_{св} = 6,0 \dots 6,2 \text{ м}^2$, что соответствует унифицированным типовым сечениям (УТС, лист 62) для арочной трехзвенной крепи КМП-А3;

- транспортные ГВ с ленточным конвейером, одноколейным рельсовым путем или монорельсовой дорогой и с проходом для людей при $A_{св} = 10,4 \text{ м}^2$ (для КМП-А3 - лист 70 УТС).

Принятые для анализа конструкции крепи сравнивались по техническим и экономическим показателям (рис. 2) и, до-

полнительно, по предложенным критериям работоспособности и эффективности. Целесообразно для сравнения различных конструкций крепи использовать критерий работоспособности:

$$K_p = P \cdot \frac{U}{m}, [\text{кДжс} / \text{кг}] \quad (1)$$

где P - несущая способность рамы крепи, кН; U - максимальная податливость крепи, м; m - масса рамы крепи, кг.

Критерий работоспособности отражает совершенство конструктивного решения крепи и показывает, какая работа по сопротивлению смещениям пород выполняет единица массы конструкции крепи. Чем выше критерий, тем более работоспособна крепь, тем менее она материалоемка.

Чтобы учесть стоимостные параметры крепи, следует воспользоваться критерием эффективности, который можно определить из выражения:

$$K_э = P/C, [\text{кН} \cdot \text{м} / \text{грн}] \quad (2)$$

где C - полная стоимость 1 рамы крепи, тыс. грн.

Физический смысл этого критерия - показать соотношение несущей способности к стоимости рамы, поэтому он отражает эффективность затрат на создание сопротивления рамы горному давлению.

К основным техническим показателям крепи (рис. 2 а, в) относятся площадь поперечного сечения выработки в свету после осадки $A_{св}$, м^2 , несущая способность одной рамы крепи P , кН, и масса одного комплекта крепи m , тонн. Оценка параметров крепей производили по относительной шкале в процентах по отношению к среднему значению параметра принятым вариантам крепи.

Размеры поперечного сечения выработки $A_{св}$ находили графоаналитически, для чего на чертеже наносили габариты транспортного оборудования (A_1 и A_2 на рис. 1) минимальные зазоры между оборудованием m_1 и между оборудованием и крепью m с учетом величины прохода для людей $n = 0,7 \text{ м}$ на уровне 1,8 м от балласта.

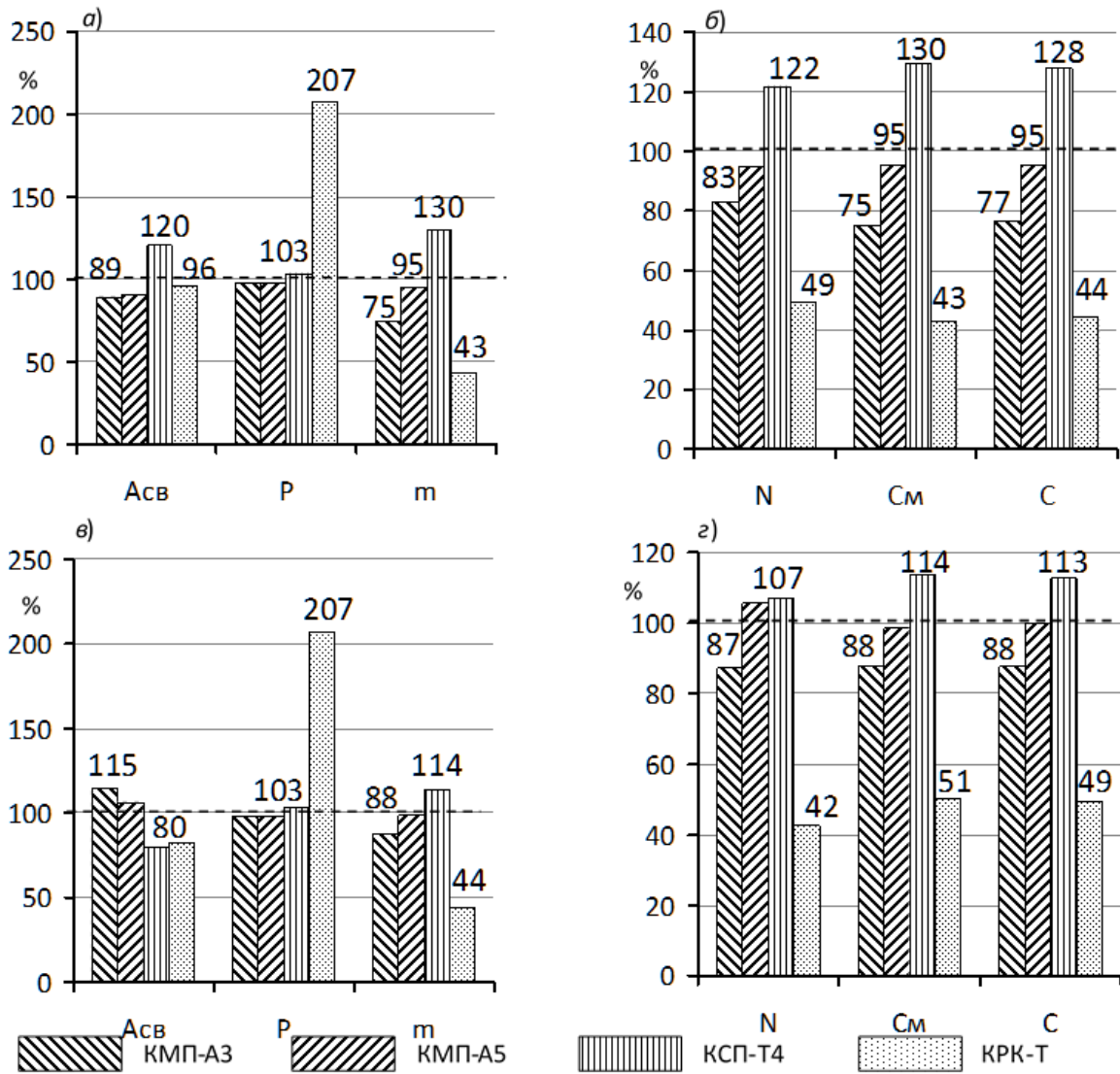


Рисунок 2 – Относительные (в %) технические (а, в) и экономические (б, з) показатели рамных крепей для однопутевых (а, б) и двухпутевых (в, з) ГВ

Затем вокруг габаритов оборудования с учетом зазоров очерчивали контур выработки в свету, вчерне и в проходке и определяли основные размеры поперечного сечения и его площадь.

Несущая способность рамных конструкций крепи Р и масса комплекта крепи м принималась в соответствии с их паспортными данными, а для новой конструкции крепи рассчитывались поэлементно и зависела, в первую очередь, от несущей способности узлов податливости, а также устойчивости стоек и верхняка.

В качестве экономических критериев

сравнения (рис. 2 б, з) приняты трудоемкость монтажа крепи N, чел.-час., которая определялась на основании действующих норм времени, стоимость материалов C_m , грн. и полная стоимость комплекта крепи C, грн., которая включает затраты на оплату труда, эксплуатацию машин и стоимость материалов. Стоимостные показатели определялись в ценах IV квартала 2013г. путем составления ведомости ресурсов с помощью комплекса "Смета-online". Сравнение рамных крепей ГВ проводили на основе предложенных критериев работоспособности K_p и эффективности K_3 (рис. 3).

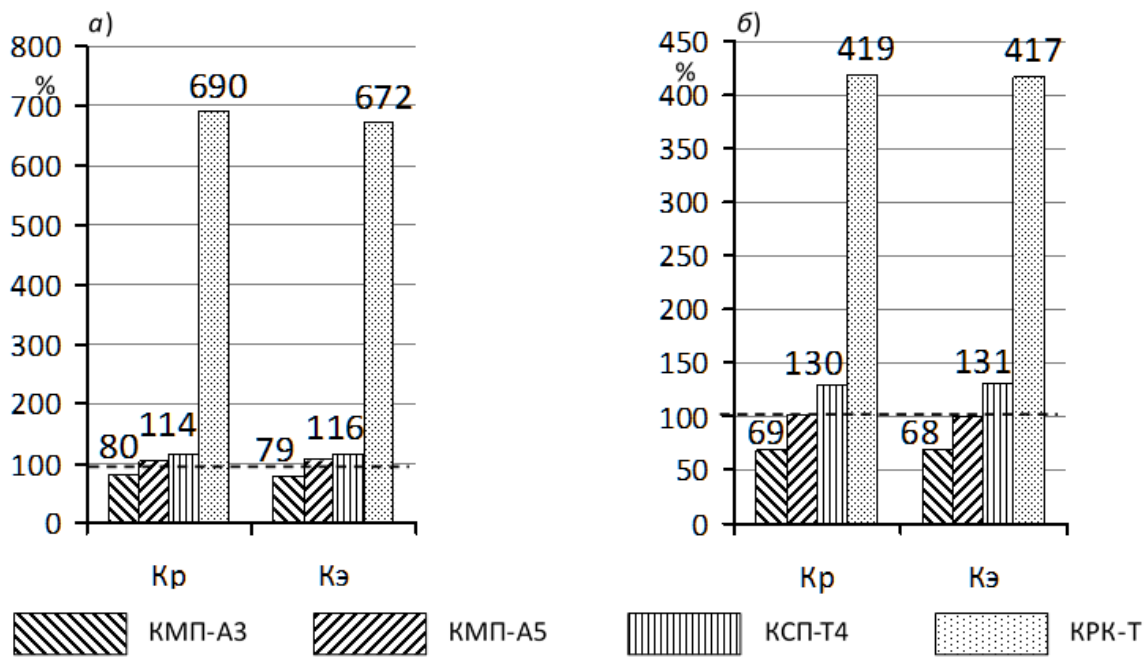


Рисунок 3 – Критерии работоспособности K_p и эффективности K_z рамной крепи для однопутевых (а) и двухпутевых (б) ГВ

Как альтернативное решение проблемы крепления была для сравнения в ряду известных рамных конструкций взята предложенная в ДонГТУ трапецеобразная крепь нового технического уровня КРК-Т4, в которой впервые были использованы общестроительные профили проката (двутавр, уголок, трубы), реализованы идеи полной заводской готовности, предварительного распора стоек и преднапряжения верхняка, механизированного возведения крепи и затяжки, отказа от забутовки и др.

Сравнивая технические параметры арочных и трапецеобразных крепей (рис. 2а и 2б), можно заключить, что по площади сечения в свету $A_{св}$ арочные крепи в однопутевых ГВ имеют преимущество на 10-15%, что обусловлено увеличением зазоров из-за наличия в трапецеобразных крепях центральной стойки, однако в двухпутевых выработках они явно хуже на 25-30%. По несущей способности рамы P существующие крепи примерно равноценны и находятся в пределах 10-20 т/раму в зависимости от технологии их возведения, однако новая крепь КРК-Т4 заметно (более чем в 2 раза) превосходит их. Особенно

важно сравнить крепи по массе m , которая заметно влияет на базовые результативные показатели крепи. Здесь благодаря рациональному использованию в крепи общестроительного сортамента проката (двутавр, уголки, трубы) новая крепь КРК-Т4 имеет минимальную массу, - примерно в 3 раза меньшую, чем у ближайшего аналога – крепь КСП-Т4, и более, чем в 2 раза меньшую среднеотраслевого уровня. В целом арочные конструкции по техническим показателям превосходят существующие крепи в форме трапеции, что и обусловило их доминирование на шахтах.

Еще более показательны результаты сравнения экономических показателей крепи (рис. 2в и 2г), по которым явным лидером следует считать новую конструкцию крепи КРК-Т4: она примерно в 2 раза лучше по трудоемкости N возведения (49%), стоимости материалов C_m (43%) и общей стоимости рамы C (44%) от среднеотраслевого уровня для рамных крепей. И по этим показателям существующие трапецеидальные крепи типа КСП-Т4 явно уступают арочным на 30-40% в однопутевых ГВ и 10-15% в двухпутевых ГВ, что делает нецелесооб-

разным их использование.

Итоговые обобщенные критерии работоспособности K_p и эффективности K_z крепи (рис. 3а и 3б) дают возможность наиболее полно оценить различные конструкции. Оказалось, что для всех рассмотренных ГВ арочные крепи уступают трапецеобразным на 20-30%, что обусловлено их недостаточной податливостью, которая меньше в 2-3 раза, чем у крепи с плоским верхняком. Хотя следует отметить, что в условиях малых смещений породного контура арочные крепи будут заметно предпочтительнее, чем крепи типа КСП-Т4.

По сравнению с существующим техническим уровнем рамных конструкций крепи выделяется крепь нового технического уровня КРК-Т4, которая превосходит общепромышленный уровень крепи в 6 раз по критерию работоспособности и в 4 раза по критерию эффективности.

Результаты исследования доказывают необходимость изменения отраслевой политики в области крепления в сторону отказа от существующих малоэффективных конструкций рамной крепи и переходу к широкому применению крепи нового технического уровня при сооружении подготовительных ГВ. В результате горная про-

мышленность может существенно сократить издержки производства и снизить себестоимость добычи угля на 15-20%, что даст прямой экономический эффект в размере 7-10 тыс. долларов на каждую 1000 тонн добытого угля.

Выводы и рекомендации.

Проведенные исследования на основании предложенной методики сравнения и новых критериев оценки позволили произвести ранжирование рамных конструкций крепи различной конструкции и формы по эффективности. При этом установлено, что эти крепи обладают существенными недостатками и не могут удовлетворить возросший уровень требований горной промышленности. С целью повышения технико-экономических показателей горной промышленности необходимо и повсеместно отказаться от арочной формы подготовительных ГВ и перейти на трапецеобразную, выработки следует проходить с нижней подрывкой под плоскую кровлю с применением высокоэффективной крепи нового технического уровня типа КРК-Т4, что позволит получить прямую экономию в размере 7-10 тыс. долларов на 1 Кт угля.

Библиографический список

1. Литвинский Г.Г. Стальные рамные крепи горных выработок / Г.Г. Литвинский, Г.И. Гайко, Н.И. Кулдыркаев. — К.: Техника, 1999. — 216 с.
2. Протоdjаконов М.М. Давление горных пород и рудничное крепление / М.М. Протоdjаконов. — М.-Л.: Гос. НТ издат., 1931. — 104 с.
3. Wieliczka and Bochnia Royal Salt Mines. www.worldheritagesite.org/sites/wieliczka.
4. Tajdus A. Geomechanika w budownictwie podziemnym. Projektowanie i budowa tuneli / Antoni Tajdus, Marek Cała, Krzysztof Tajdus. — Wydawnictwo AGH: Kraków, 2012. — 762 pp.
5. Hoek E. Practical Rock Engineering. — www.rockscience.com/educatinal/hoeks_corner. — 2010. — 237 p.
6. Hoek E. Overcoming squeezing in the Yacambú-Quibor tunnel / E. Hoek, R.Guevara // Venezuela. Rock Mechanics and Rock Engineering, Vol. 42. — 2009. — No. 2. — 389-418p.
7. Rabcewicz L.V. The New Austrian Tunneling Method / L.V. Rabcewicz // Water Power. — Part I, November 1964. — Part II, December 1964. — 511-515p. — Part III, January 1965. — 19-24p.
8. Rulka K. Stalowe obudowy odrzwiowe. Nove rozwiazanie konstrukcyjne i metode proektowania. Praca zbiorowa / K. Rulka — Katowice: GIG, 2008. — 263 p.

*Рекомендована к печати д.т.н., проф. Борзых А.Ф.,
д.т.н., проф. ДонНТУ Борщевским С.В.*

Статья поступила в редакцию 02.04.15.

д.т.н. Литвинський Г.Г., к.т.н. Смекалін Є.С. (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР)

ЕФФЕКТИВНІСТЬ РАМНИХ КОНСТРУКЦІЙ КРІПЛЕННЯ

Проведено аналіз проблеми кріплення виробок у гірничій промисловості. Розглянуті й порівняні аркові й трапеціодальні конструкції кріплення. Запропоновано методичку техніко-економічного порівняння й критерії для оцінки рамних кріплень. Виявлено тенденції розвитку рамного кріплення й показані переваги кріплення нового технічного рівня. Дана оцінка економічного ефекту в гірничій промисловості при впровадженні нового кріплення.

Ключові слова: *рамне кріплення, вибір розмірів, несуча спроможність, податливість, роботоспроможність, критерії, ефективність.*

Ph.D. Litvinsky G.G., Ph.D. Smekalin E.S. (DonSTU, Alchevsk, LPR)

EFFICIENCY OF THE FRAME SUPPORTS

The analysis of a problem for the frame supports of mine workings in the mining industry was fulfilled. Arched and trapezoidal designs of lining were considered and compared. Method of feasibility comparison and evaluation criteria for frame supports was suggested. Development trends for the frame support were found and the advantages of the up-to-date lining were identified. The estimation of economic benefits in the mining industry after the implementation of the new frame lining was given.

Key words: *frame support, mine workings, choice of size, shape of support, pliability, load-bearing capacity, compliance, performance, evaluation criteria, efficiency.*