

И.Б.КОСИТСКИЙ*, магистр

ГВУЗ «Донецкий Национальный технический университет»

Д.Г. ЛОВКОВ* (магистр)

ГВУЗ «Донецкий Национальный технический университет»

ОПЫТ ПОДДЕРЖАНИЯ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК РАМНЫМИ КОНСТРУКЦИЯМИ КРЕПИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ РАЗВИТИЯ

Введение.

Устойчивый интерес к проблеме крепления и поддержания горных выработок на угольных шахтах в последние десятилетия неразрывно связан с возрастающими требованиями к прочности и надежности применяемых конструкций крепей в усложняющихся горно-геологических условиях отработки месторождений, интенсификацией проявлений горного давления.

1.Актуальность темы.

В реферате проанализирован опыт поддержания подготовительных выработок различными рамными конструкциями крепи и тенденции её развития ,в том числе на ближайший период.

2.Обзор исследований и разработок.

2.1 Обзор международных источников.

С промышленным освоением металлопроката в 40-е годы 19 века стальные рамные крепи начали широко применяться в практике подземного строительства шахт Германии и Чехии. Первоначально в горных выработках использовали жесткие рамы из стального двутаврового профиля или рельса, соединяемых при помощи планок и болтов. Однако, значительные смещения породного контура приводили к недопустимым деформациям крепи и необходимости ее ремонта, поскольку жесткая конструкция может приспособливаться к смещению пород только ценой остаточной деформации с последующим разрушением элементов рамы. В этой связи к началу XX века жесткие металлические конструкции считались непригодными для крепления горных выработок. Поэтому в дальнейшем совершенствование стальных рамных крепей шло по пути увеличения их работоспособности и приспособления (адаптации) к формоизменению сечения выработки. Для этого на первом этапе (до 1924 г.) в конструкцию стальной арочной крепи были введены дополнительные шарниры, позволившие снизить неравномерность распределения внешних нагрузок за счет их передачи на окружающие крепь породы. Особая заслуга по внедрению шарнирных арок принадлежит фирме «Ф.В. Моль и сыновья», благодаря которой в 30-40-е годы 20 века стальная рамная крепь находит массовое применение на угольных шахтах Рура. На втором этапе, в 1932 году фирма «Тиссен-Хайнцман» (Германия) разрабатывает парные желобчатые профили различных типоразмеров и удачную конструкцию их соединений (прототип нынешних замков податливости). Благодаря этому рамная крепь стала податливой и, сохранив свои функции, получила возможность «уходить» от горного давления без

разрушения, приспособляясь к смещениям породного контура. После второй мировой войны металлические податливые крепи получают широкое распространение в большинстве промышленно-развитых стран. К концу 50-х годов 20 века стальной рамной крепью поддерживалось: в Германии – до 50 % горных выработок, во Франции – более 60 %, в Англии – более 70 %, в Бельгии – до 90 %. С 50-х годов 20 века началось широкое использование стальных рамных крепей на шахтах бывшего СССР. Большой вклад в разработку стальной рамной крепи внесли отечественные научные школы, возникшие на базе горных вузов и отраслевых институтов.

Первоначально работы по конструированию и внедрению рамных крепей были сосредоточены в ДонУГИ (г. Донецк). Здесь были разработаны параметрический ряд взаимозаменяемых специальных профилей (СВП), особые стали для изготовления элементов крепи, созданы нормативные материалы по изготовлению и применению податливых крепей типа АП (Комиссаров М.А., Зигель Ф.С. и др.).

Большой вклад в разработку конструкций равно-радиусных крепей, обеспечивающих поддержание подготовительных выработок в условиях наклонного и крутого падения на шахтах ЦРД, внесли проф. С.Я. Липкович и С.В. Краснов.

Важные исследования по изучению взаимодействия металлической податливой крепи с массивом и определению нагрузок на крепь были проведены в 60-е 70-е годы 20-го века проф. Ю.З. Заславским, проф. И.Л. Черняком и проф. Ю.М. Либерманом.

В Институте Горного Дела им. А.А. Скочинского (г. Люберцы) под руководством проф. М.Н. Гелескула и проф. Е.С. Киселева примерно в эти же годы были изучены вопросы повышения производительности труда и экономии металла на горно-подготовительных работах, созданы новые стальные податливые крепи типа МПК, МИК с кулачковыми и клиновыми узлами податливости.

Научной школой проф. В.Н. Каретникова и В.Б. Клейменова (Тульский Государственный Технический Университет, г. Тула) были разработаны методы автоматизированного расчета крепи как пространственной системы, предложены новые элементы для пространственного усиления конструкций, улучшенный специальный профиль СВПУ и др.

Оригинальные, исследования проведены в Санкт-Петербургском Государственном Горном Университете проф. В.В. Смирняковым, который одним из первых создал шарнирно-податливый узел соединения несущих элементов крепи и разработал ряд крепей повышенной податливости.

При освоении угольных месторождений Западного Донбасса, где выработки проходились и поддерживались в слабых, склонных к размоканию породах, большой вклад в совершенствование конструкций и технологии возведения стальных рамных крепей внесли ученые: проф. А.П. Максимов (НГА Украины), проф. Г.С. Пиньковский (Днепрогипрошахт), проф. Б.М. Усаченко (ИГТМ АН Украины), проф. Ю.М. Халимендик, проф. В.И. Бондаренко (НГУ) и др.

Нормативные материалы по расчету и применению крепи в горных выработках были разработаны во ВНИМИ (г. С.-Петербург) и НИИОМШС (г. Харьков) под руководством проф. И.Г. Коскова и проф. В.П. Дружко.

Большой вклад в решение проблемы управления усилиями в рамных крепях, разработку способов и средств повышения работоспособности конструкций, разработку методов оценки и прогноза взаимодействия крепи и вмещающего массива внесли ученые ДонГТУ (г. Алчевск): проф. Г.Г. Литвинский и Г.И. Гайко.

Задача снижения расхода металла в стальных рамных крепях путем применения анкеров решена в КузНИИшахтострое проф. Ерофеевым Л.М. (г. Кемерово).

Большое разнообразие конструктивных решений стальных рамных крепей и значительный диапазон их рабочих характеристик, позволяющий подбирать конструкции для широко круга геомеханических условий поддерживаемых выработок, сделали рамные крепи фактически универсальным средством крепления горных выработок.

2.2 Обзор национальных источников.

Для подготовительных выработок угольных шахт Украины наиболее используемой была и остается разработанная ДонУГИ в 70-е годы 20-го века арочная податливая крепь из спецпрофиля СВП: трехзвенная – АП-3 (или КМП-А3 и модификация с удлиненными стойками) и 5-ти звенная (АП-5 или КМП-А5). Объемы применения арочной крепи в подготовительных выработках – до 95 % от общего объема проведения. На шахтах таких развитых угледобывающих стран как Россия, Польша, Чехия, Германия и Китай рамные крепи также являются наиболее распространенными конструкциями.

По данным ряда исследований (в том числе Ю.З. Заславского) с увеличением глубины разработки с 500 м до 1000 м смещения боковых пород в подготовительных выработках выросли в три раза, а воспринимаемые крепью нагрузки – в 2,0 раза. Несмотря на это (по данным В.Г. Лисичкина и К.В. Кошелева), в подавляющем большинстве случаев, деформированные податливые крепи, работая за пределами своего паспортного эксплуатационного режима работы, обеспечивают остаточную несущую способность. При этом нагрузка на крепь, при запредельном деформировании несущих ее элементов, перераспределяется по периметру рамы, а смещения элементов крепи происходят с постепенной (поэтапной, достаточно плавной) потерей устойчивости, без разрушений. При этом сохраняется значительная часть от первоначального сечения выработки (рабочего пространства). Все это позволяет считать металлическую арочную податливую крепь одной из наиболее безопасных конструкций.

2.3 Обзор локальных источников.

По данным исследований, выполненных Н.В. Гавриловым, В.И. Бондаренко и Л.В. Байсаровым, кроме высокой надежности, стальная рамная крепь является конкурентоспособной по стоимости крепления, уступая только нарызгбетонной и анкерной крепям, которые имеют ограниченную область применения по устойчивости вмещающих пород и условиям разработки.

Вместе с тем, применяемые в настоящее время рамные крепи имеют и очень существенные недостатки, выявленные в процессе их эксплуатации. В ряде же случаев, как показывает производственный опыт, отмечено их полное не соответствие условиям больших глубин и интенсивного проявления горного давления. Так, по данным обследований состояния горных выработок на шахтах, проведенных ДонНТУ, ДНУ, ДонГТУ и др. типовые рамные крепи деформированы и требуют ремонта в 30-50 % обследованных выработок.

Как система крепления, арочная крепь имеет ряд недостатков. Она фактически не поддерживает выработку до тех пор, пока вмещающие породы не разрушатся и не начнут смещаться в выработку, нагружая рамы крепи. То есть, крепь работает в пассивном режиме и не препятствует разрушению вмещающего массива. Кроме этого основными недостатками арочной крепи являются: большая металлоемкость; крепь не включается в работу сразу после обнажения проектного контура выработки, невозможность полной механизации процесса крепления (затяжка рам и забутовка закрепного пространства производятся вручную); не соответствие условиям ее нагружения (нет соосности между направлениями податливости крепи и наибольших смещений контура выработки).

Проведенные многочисленные экспериментальные исследования и опыт поддержания выработок показывают, что обеспечить их нормальное эксплуатационное состояние в течение всего срока службы можно лишь путем использования несущей способности породного массива, вмещающего выработки. Поэтому, одним из перспективных направлений

совершенствования рамных конструкций в последние годы стало применение анкерно-рамных и рамно-анкерных конструкций крепи.

Крайне негативным следствием применения типовых металлокрепей в сложных горно-геологических условиях, кроме роста стоимости поддержания выработок, является невозможность увеличить нагрузку на очистной забой и интенсивность отработки запасов. Так, на шахтах им. А.А. Скочинского, им. Челюскинцев, ш/у «Октябрьская», им. А.Ф. Засядько, «Щегловская-Глубокая», им. А.Г. Стаханова и др., где глубина ведения работ превышает 900 м, стоимость перекрепления 1 п.м выработки на 30 % и более превышает стоимость ее крепления при сооружении. В условиях выше перечисленных шахт все подготовительные выработки при столбовой системе разработки обязательно 1 раз перекрепляются, а при комбинированной или сплошной системе разработки – 2-3 раза. При этом, из-за плохого состояния подготовительных выработок суточная нагрузка на лаву не превышала 700-800 т.

Совершенствование конструкций рамных крепей в последние десятилетия развивалось по следующим направлениям:

- уменьшение металлоемкости крепи;
- максимальное упрощение конструктивных элементов;
- упрощение технологии изготовления крепи.

Приоритетными мероприятиями при этом было использование низколегированных сталей с более высокими прочностными свойствами и прокатных профилей с повышенными статическими показателями (КГВ). Конструкции крепежных рам упрощались за счет исключения электросварки на участках опирания стоек на подошву выработки («подпятник»), сокращения длины нахлестки элементов в замках и количества межрамных стяжек. У профиля КГВ, несмотря на достигаемое снижение металлоемкости крепи на 4 % при постоянной несущей способности и увеличении на 30 % рабочего сопротивления запас прочности еще ниже – 1,1-1,2.

Опыт применения сталей с более высокими прочностными свойствами был направлен на снижение размера профиля на ступень при том же сечении. Однако при этом рабочее сопротивление крепи снизилось на 12-22 %, а за счет повышения хрупкости стали возросла деформация несущих элементов крепи.

Другой известной тенденцией развития средств крепления выработок (в том числе и рамных конструкций) последние 3-4 десятилетия остается увеличение площади поперечного сечения подготовительных выработок. Так, если в 70-е годы 20-го века значение средней площади поперечного сечения для откаточных штреков не превышало 11,2 м², то в 2003 году оно составляло уже 14,8 м², а в настоящее время достигает 16-18 м². По данным обследований состояния горных выработок, проведенных ДНУ в 2008-2010 годах, крепи с сечением до 11,2 м² практически не используются (4 %); с сечением 13,8 м² – 37 %; с сечением 15,5 м² – 25 %; с сечением 18,3 м² – 29 %; и с сечением 19 м² и более – 5 %.

Следует отметить, что рамы с поперечным сечением в свету до 11,2 м², которые наиболее часто встречались 25-30 лет назад, в настоящее время практически не используются, а преобладающие сейчас сечения 13,8 м² зачастую оказываются не достаточными и вытесняются сечениями 15,5 м² и 18,3 м². На шахтах с особо тяжелыми условиями поддержания преимущественно используются крепи трехзвенные, с удлиненными стойками с сечением 18,3 м². Вместе с тем, опыт применения трехзвенных крепей с удлиненными стойками (сечение 18,3 м²) и пятизвенных крепей оказался отрицательным, так как улучшения состояния выработок добиться не удалось.

Еще одна тенденция развития рамного крепления связана с применением более тяжелых профилей. Так, к 1983 году, спецпрофиль СВП-14 вышел из употребления, а удельный объем применения спецпрофиля СВП-17 снизился в 5,9 раза (с 20 % до 3,4 %). К 2003 году, СВП-17 также вышел из употребления. Из года в год сокращается объем применения СВП-19. Основными типоразмерами в настоящее время являются СВП-22, СВП-27 и СВП-33, что связано с увеличением средних сечений поддерживаемых выработок изготавливаемых из профилей больших размеров.

В процессе обследования состояния крепей на шахтах Западного Донбасса, проводимого В.Я. Кириченко, была выявлена тенденция изготовления металлокрепей из более тяжелых типоразмеров профиля, чем это необходимо по техническим условиям. Это объясняется стремлением производителей повысить несущую способность типовых рамных крепей. Такая экстенсивная тенденция развития рамного крепления малоэффективна и связана с отсутствием альтернатив при выборе типа крепи. Результатом такого подхода явилась негативная тенденция увеличения плотности установки рамной крепи, которая уже сейчас привела к росту металлоемкости крепи до 1,2 тонны на 1 п.м выработки.

В последние десятилетия неуклонно происходит изменение геомеханической ситуации при отработке угольных пластов на больших глубинах. Возрастают не только смещения вмещающих выработки пород, изменяется характер и интенсивность протекающих во вмещающем массиве деформационных процессов. Это приводит не только к резкому увеличению затрат на поддержание выработок, но и практически сводит на нет одно из основных преимуществ наиболее перспективных столбовой и комбинированной систем разработки, обеспечивающих при нагрузке на лаву 3,0-3,5 тыс. тонн в сутки необходимую экономичность отработки запасов. Вместе с тем, объем их применения на шахтах Украины в 2012 году составил более 80 %, а объем добываемого там угля – более 90 % с использованием современных механизированных комплексов. Однако суточные нагрузки на лаву только в 50 % случаев превышают 1500 т/сут, перекрывая минимальный порог окупаемости таких комплексов как ЗКД-90.

Основной причиной такой ситуации следует считать не удовлетворительное состояние всех поддерживаемых конвейерных и вентиляционных выработок, в том числе и на уровне «окна лавы». В настоящее время до 55% участков затрат приходится на ремонт и поддержание выемочных штреков, а также комплекс работ на сопряжениях. Использование для поддержания конвейерных выработок старых типовых рамных крепей, имеющих не соответствующие новым условиям силовые и кинематические характеристики не позволяет обеспечить эффективность отработки запасов при столбовой системе разработки.

Одним из радикальных путей решения этой проблемы является переход на безнишевую технологию, с выносом концевых приводов лавного конвейера в пределы сечения выемочных штреков. Однако это условие в новой геомеханической ситуации, при использовании стальных крепей старого типа, стало непреодолимым препятствием при решении задачи обеспечить высокие технико-экономические показатели работы добычных участков. По мнению экспертов, наиболее перспективной считается тенденция, направленная на повышение несущей способности крепи за счет изменения формы поперечного сечения выработки и типа рамной конструкции.

До 80-х годов 20 века, в Украине, идея создания рамных крепей эллиптической формы считалась не осуществимой по технико-технологическим причинам. Переходным техническим решением стали разработанные трех-шарнирные крепи КС-4, прошедшие успешную апробацию на шахте «Южно-Донбасская №3» в 1994-1995 гг.

В начале 80-х годов прошлого века были разработаны две конструкции рамной крепи, приближающейся по форме к эллипсу: КЭП и КШПУ. Крепь типа КЭП была разработана МакИСИ и успешно использовалась в системе Укршахтостроя. Однако, для крепления штреков она не подошла из-за ограниченной податливости (от 120 до 200 мм). Крепь КШПУ

была создана для условий Западного Донбасса и по сравнению с АП-3 показала лучшую несущую способность и более высокую устойчивость.

Дальнейшее развитие тенденция изменения формы поперечного сечения выработок нашла при разработке пятизвенной крепи типа КМП-А5С (разработчик Донбасский НЦ при АГН Украины) и четырехзвенной крепи КМП-А4К (разработанной на основании опыта применения рамных крепей на шахтах Германии). Однако эти конструкции крепи широкого распространения не получили из-за необходимости иметь в забое дополнительное оборудование для монтажа и более сложной технологии сборки.

Выводы. Анализируя объемы и области применения стальных арочных крепей, количество выпускаемых конструкций, а также изобретения, продлевающие срок эксплуатации рамных конструкций, проф. Г.Г. Литвинский делает вывод об их S-образном характере развития во времени, как любой технической системы. Так как система уже прошла исходный этап быстрого совершенствования и последующий этап стабильного роста, то темпы ее развития начинают спадать, хотя объемы применения еще достаточно высоки. В дальнейшем, в соответствии с «законом жизни технических систем», стальная рамная крепь скорее всего вытеснится принципиально иной системой крепления (анкерные, породонесущие конструкции и др.). Однако, в ближайшие 10-20 лет это маловероятно из-за высокой инерционности развития горной промышленности. Более вероятно, что рамная крепь перейдет на существенно более высокий уровень своего технического развития.

Наиболее перспективными направлениями совершенствования металлического рамного крепления для подготовительных выработок является изменение формы поперечного сечения и конструкции крепи, а также использование комбинированных конструкций на основе анкерных систем, позволяющих за счет вовлечения вмещающих пород в совместную работу с крепью существенно увеличить ее несущую способность.

* Научный руководитель, д.т.н., проф. Новиков А.О.