

Таким чином, якщо за варіантом розвитку шахти собівартість видобутку вугілля зростає, то термін окупності буде негативним, і питання про ухвалення або неприйняття варіанту розв'язується інакше. З варіантів, коли собівартість знижується, найбільш ефективний той, у якого термін окупності мінімальний. Якщо ж цей термін перевищує середній за галуззю, то питання розв'язується по інших міркуваннях, наприклад, з урахуванням дефіцитності вугілля даної марки.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Економічні та соціальні напрями комплексної реструктуризації промисловості України: Наук. доповідь / Редкол.: Мартякова О.В., Амоша О.І., Баранов С.В., Булеев І.П. та ін. – Донецьк: ІЕП НАН України, 1998. – 144 с.
2. Булат А.Ф. О фундаментальных проблемах разработки угольных месторождений Украины // Уголь Украины. – 1997. – №1. – С. 14–17.
3. Залознова Ю.С., Дзюба С.В. Вплив природних та індустріальних чинників на основні фонди підприємств гірничо-металургійної галузі// Економічний вісник Національного гірничого університету. – 2005. – № 1. – С. 52-59.
4. Ермольев О.М., Ляшко И.И., Михалевич В.С., Тюття В.И. Математические методы исследования операций. –К.: Вища школа, 1979. –312 с.
5. Интрилигатор М. Математические методы оптимизации и экономическая теория. –М.: Прогресс, 1975. – 606 с.
6. Кремер Н.И., Путько В.А., Тришин И.М., Фридман М.Н. Исследование операций в экономике. –М.: Банки и биржа, ЮНИТИ, 1997. – 407 с.

УДК 626.823

Канд. техн. наук С.П. Мусиенко
(ИГТМ НАН Украины)

ПРИМЕНЕНИЕ СПЕЦИАЛЬНЫХ СПОСОБОВ СТРОИТЕЛЬСТВА ПРИ ВОЗВЕДЕНИИ ВЫСОКОНАГРУЖЕННЫХ КОМБИНИРОВАННЫХ ОХРАННЫХ СИСТЕМ

Наведені особливості розробки і застосування спеціальних технологій підвищення взаємодії з гірським масивом високонавантажених комбінованих охоронних систем.

APPLICATION OF SPECIAL WAYS OF CONSTRUCTION AT ERECTION HIGHLY OF LOADED COMBINED SECURITY SYSTEMS

The features of development and application of special technologies of increase of interaction with a mountain file of the loaded combined security systems are given

Применение монолитного бетона при определенных условиях рекомендуется в горном деле и подземном строительстве как особо рациональный и экономичный способ строительных и строительно-ремонтных работ. Наряду с широко применяемыми методами укладки готового бетона за опалубку, находят применение методы тампонажа и набрызгбетонирования.

Целесообразность применения монолитного бетона, в том числе, тампонажа и набрызгбетонирования, можно рассмотреть на примере их применения при креплении горных выработок. Крепи горных выработок можно разделить на

крепей поддерживающего типа и крепей с кинематической связью с вмещающим массивом.

Работа крепей поддерживающего типа основана главным образом на принципе нагружения только после деформации приконтурного слоя пород, т.е. когда первичное трехосное напряженное состояние преобразуется в результате сдвига и разрыхления пород в одно- или двухосное. Это достигается только через соблюдение последовательных промежуточных стадий, в течение которых имеют место различные процессы перераспределения напряжений. Устойчивость породного контура и функциональная способность поддерживающей крепи улучшаются при заполнении закрепного пространства. Конечный результат зависит как от времени выполнения работ, так и от способа заполнения пустот. В большинстве случаев целесообразно применение тампонажа недорогими гидравлическими вяжущими. В целом это вспомогательное мероприятие дает следующие статические эффекты:

- крепь вступает в работу и препятствует распространению изменений напряженно-деформационного состояния и разрушений пород вглубь массива;

- обеспечивается комбинированное рабочее сопротивление металлической арочной крепи, бетонной оболочки в закрепном пространстве и омоноличенных приконтурных пород;

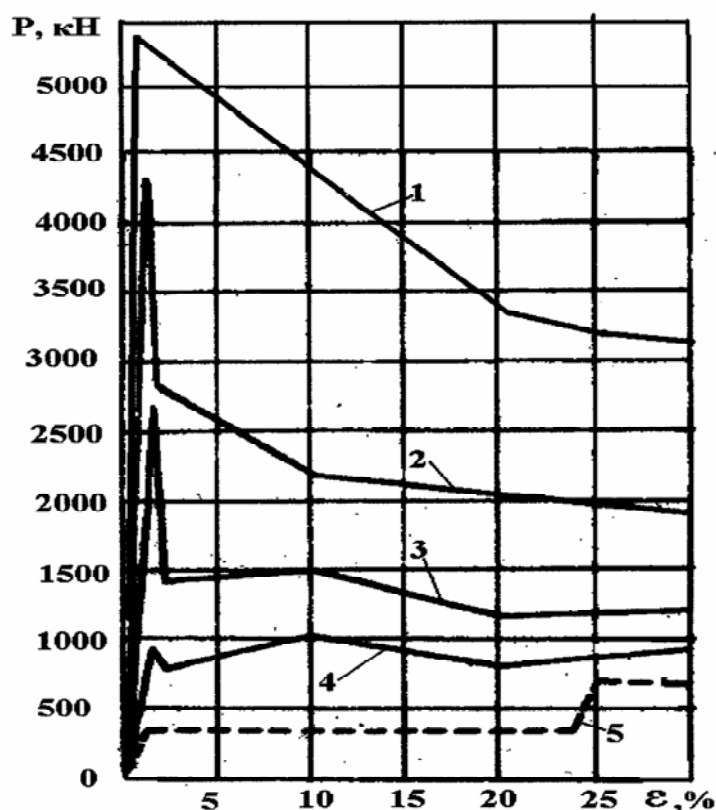
- равномерно распределяется нагрузка на рамы крепи, лучше используется несущая способность материала, и создаются нагрузки, соответствующие конструкции;

- повышается устойчивость арок крепи в отношении продольного изгиба.

Процесс конвергенции в выемочных штреках, являющийся следствием ослабления и разрушения вмещающих выработку пород, начинается сразу же после их проведения и во времени может быть затухающим или незатухающим. При этом конечная конвергенция для конкретного срока службы выработки представляет собой основной показатель деформирования выемочных штреков, позволяющий определить остаточную площадь сечения выработки, а также необходимую податливость крепи.

Сопротивление податливой арочной крепи зависит от качества заполнения закрепного пространства. График зависимости сопротивления рамы податливой арочной крепи P от относительного опускания кровли ε при различном качестве заполнения закрепного пространства представлен на рис. 1.

Сопротивление податливой арочной крепи даже при тщательном заполнении закрепного пространства породой (см. рис. 1, кривая 5) не оказывает влияния на конечную конвергенцию выработки. Это объясняется тем, что достаточно высокое сопротивление крепи, способное противодействовать конвергенции, проявляется в данном случае только при уменьшении площади сечения штрека настолько, что эксплуатация его становится невозможной (при 25%-ном относительном опускании кровли выемочного штрека его общая вертикальная конвергенция составляет около 75%).



Р - несущая способность; ε - относительное смещение кровли; 1 – податливая арка с заполнением закрепного пространства вяжущим материалом, на базе портландцемента, армированный волокнами и полимерами; 2, 3, 4 – податливые арки с заполнением закрепного пространства материалом прочностью 40, 20 и 10 МПа со ответственно; 5 – податливые арки с забутовкой закрепного пространства вручную

Рис. 1 - Характеристика несущей способности арочной крепи с тампонажем закрепного пространства

Значительное повышение сопротивления крепи достигается в том случае, когда закрепное пространство заполняется вяжущим материалом (см. рис. 1, кривые 2-4). Здесь уже небольшие деформации породного массива приводят к увеличению сопротивления рамы арочной крепи до 2600 кН при использовании бетона (см. рис. 1, кривая 2). После этого происходит разрушение твердеющего материала в закрепном пространстве и сопротивление крепи резко уменьшается, но не ниже 1200 кН.

Максимальный результат достигается при заполнении закрепного пространства вяжущим материалом, который базируется на портландцементе и армирован волокнами и полимерами (см. рис. 1, кривая 1). Стохастическое армирование тампонажного раствора рубленым волокном повышает устойчивость бетона к растрескиванию, общее сопротивление крепи и позволяет избежать его резкого снижения при разрушении твердеющего материала. Такая характеристика является предпочтительной, максимальное сопротивление развивается в наиболее благоприятный момент при весьма малых деформациях приконтурного массива горных пород, когда еще можно управлять разрушением породной оболочки.

При заполнении закрепного пространства бетоном можно добиться требуемого сочетания податливости и высокой несущей способности крепи. В этом случае конечная конвергенция уменьшается на 15-25% по сравнению с конвергенцией выработок, закрепное пространство которых заполняется породой вручную.

Революционный переворот в технологии крепления был сделан в результате внедрения идеи Л. Рабцевича (Австрия, 1949 г.), получившего патент на крепление для туннелей, состоящее из двух слоев, которые определяли начальную и конечную крепь. Эта концепция позднее стала известна [1] как новый австрийский метод строительства туннелей. Затем эта идея была развита Л. Мюллером и его коллегами из австрийской школы механики горных пород и сейчас этот способ строительства известен специалистам всего мира. Этот способ предусматривает, что основным компонентом несущей системы крепи является приконтурный породный массив. Для этого свежесоборванные породные стенки выработки покрывают набрызгбетонной оболочкой и устанавливают анкерную крепь, которая способствует активизации несущей способности породного массива. Благодаря взаимодействию бетонной оболочки с анкерной крепью рабочее сопротивление приконтурного массива существенно возрастает. Непрерывный контроль с применением измерительной аппаратуры на стадии возведения и эксплуатации крепи позволяет в любой момент добиваться, если это необходимо, местного повышения несущей способности крепи, путем установки дополнительных анкеров или увеличения толщины набрызгбетонного слоя.

Комбинированную крепь из анкеров, арматурной сетки и омоноличивающего их набрызгбетона следует устанавливать своевременно, придавая ей надлежащую жесткость, т.е. не слишком рано, чтобы уже произошла релаксация первичных напряжений, но и не слишком поздно, чтобы не произошло разупрочнение породного массива. При этом жесткость крепи должна быть не слишком высокой, так как иначе набрызгбетонный слой станет разрушаться при небольших деформациях, но не слишком малой, с тем, чтобы можно было избежать значительной конвергенции.

Анализ способов и технико-технологических приемов возведения и ремонта как крепи с кинематической связью с породным массивом позволяет выявить ряд общих для них процессов – набрызгбетонные и тампонажные технологии. Причем их широкое применение позволяет уменьшить существенные различия между двумя типами крепи, эффективно использовать преимущества каждой из них. Кроме того, набрызгбетонные и тампонажные технологии применяются в гражданском и промышленном строительстве как самостоятельно, так и при выполнении ремонта бетонных и железобетонных конструкций, а также в заглубленных объектах и сооружениях.

Особенностью работы капитальных горных выработок является весьма продолжительный срок их службы, поэтому при их эксплуатации имеет место физический износ и моральное старение бетона или железобетона, накопление в них различных дефектов, что приводит к разрушению крепи.

Наличие во вмещающих породах водоносных горизонтов усложняет сооружение капитальных выработок и негативно проявляется при их эксплуатации. Вскрытие толщи пород выработками вызывает дренирующее действие на водоносные горизонты, а наличие полости выработки является причиной миграции вод, сопровождающихся образованием зон гидроразгрузки, водопонижения и интенсификацией водопритоков в капитальные горные выработки с выносом литосреды. Эти процессы существенно усиливаются в условиях гравитационных воздействий при проявлении горного давления в выработках, когда под влиянием воды понижается прочность пород, развиваются реологические эффекты в массивах. Проявление адсорбционного явления существенно снижает сцепление пород по слоям пород, а уменьшение напоров в водоносных горизонтах приводит к сжатию и осадке пород. В совокупности все это интенсифицирует нагрузки на крепь, смещение пород в полость выработок и фильтрацию воды через бетонные и железобетонные конструкции крепи. Таким образом, совместное взаимовлияние на охранную выработку гравитационных и гидравлических факторов способствует развитию флюидодеструктивных явлений, как в породном массиве, так и в крепи, что неизбежно сопровождается коррозией бетона и арматуры, уменьшением грузонесущей способности и водонепроницаемости материала крепи.

Повреждения бетона в основном связаны с разрыхлением структуры, ее поризованностью, повышением водопроницаемости и снижением прочности, отторжением защитного бетонного слоя. Первоначально прослеживается образование каверн на поверхности, а затем отмечается трещинообразование в глубь массива с разрушением глубинных слоев бетона и коррозией арматуры. Все это в условиях проявления горного давления и водопритоков в выработку частично или полностью вызывает потерю эксплуатационного состояния охранной конструкции. Применительно к сооружениям рассматриваемого типа коррозионное разрушение бетона и конструкций, находящихся в породных и грунтовых массивах, называют подземной коррозией [2].

Сооружение выработок в обводненных горных породах представляет собой сложную инженерную задачу трудноразрешимую без применения специальных способов, являющихся нередко единственно возможными и экономически целесообразными в деле повышения эффективности и качества горнопроходческих работ, надежности и экологической безопасности сооружения.

Применение при строительстве подземных сооружений специальных способов приводит к некоторому их удорожанию. Однако, отечественный и зарубежный опыт показывает, что такие затраты оправданы и быстро окупаются за счет снижения эксплуатационных и ремонтных затрат. Кроме того, при выборе способов строительства все большую значимость приобретают эксплуатационная надежность и экологическая безопасность объекта.

Характерным примером насущной необходимости применения специальных способов является строительство вентиляционного канала восточного

вентиляционного ствола № 1 шахты им. А.А. Засядько. Оценка возможных технических решений выполнялась с учетом того, что вентиляционный канал относится к 1-й категории горных выработок.

Вентиляционный канал примыкает к стволу на глубине 19,9 м. Выработка пройдена по наносным породам (глина, суглинок) с $f = 0,9 \div 2$ (по шкале проф. Протодьяконова). Канал закреплен металлобетонной крепью КОЗУ-22 в бетоне. Плотность установки рам крепи - 3 рамы на 1 п.м. выработки. Площадь поперечного сечения канала $S_{д} = 20,55$ м. Угол наклона выработки – 22° .

После окончания возведения монолитной конструкции, остаточные водопритоки в вентиляционном канале превышали $3,4$ м³/час. Состояние крепи вентиляционного канала не исключало возможности резкого повышения притоков воды и прососов воздуха при включении вентиляционной установки.

Для оценки технического состояния и разработки мероприятий по повышению эксплуатационной надежности выработки проведен комплекс специальных исследований. При выполнении исследований использовались следующие методы: визуальные наблюдения с документированием выявленных аномалий, виброакустическая диагностика с целью выявления скрытых пустот в заоболочечном пространстве, а также электрометрия земной толщи в окрестности вентиляционного канала. При анализе данных учитывались также результаты геологических предпроектных изысканий на месте заложения ствола.

Анализ полученных данных показал, что необходим комплекс дополнительных специальных строительных работ для устранения наблюдаемых водопритоков в выработку. Он включает: тампонаж закрепного пространства в зонах выявленных неплотностей контакта бетонной оболочки с налегающей толщей и в зонах разжижения прилегающего к оболочке грунта; очистку поверхности канала от наносов, снятие разрушенного приповерхностного слоя; гидроизоляцию внутренней поверхности вентканала путем выполнения многослойного набрызгбетонирования с использованием специальных добавок.

Ликвидацию пустот, источников воды, повышение водонепроницаемости оболочки осуществляли методом тампонажа закрепного пространства, а стабилизацию вмещающих приконтурных пород – путем отжима воды жесткими цементно-песчаными растворами под избыточным давлением. После схватывания раствора выполняли омоноличивание конструкции нагнетанием водоцементного раствора. Тампонаж и цементацию выполняли многоцелевой бетоноукладочной машиной МБМ через шпуров диаметром 42 мм, пробуренные в бетоне крепи и герметизируемые инъекторами. Усредненный состав тампонажного раствора следующий: цемент М400 – 600 кг; песок – 862 кг; вода – 574 кг. В процессе тампонажа наблюдался отжим воды и вынос разжиженных глинистых пород через контрольные шпуров и дефектные зоны монолитного бетона. Максимальный расход тампонажного раствора через 1 шпур составил $3,6$ м³.

Очистку поверхности бетонной крепи выполняли механическим способом и гидроразмывом. Полости заполняли набрызгбетонированием по “сухому” способу. Максимальный размер крупного заполнителя – 20 мм. После выравнивания почвы выполнили 5 слоев набрызгбетона по “сухому” способу. Для повышения прочности и водонепроницаемости бетона в его состав ввели добавку «Adi Con». Толщина каждого слоя – 5-7 мм. При нанесении бетон в слоях поочередно модифицировали добавками жидкого стекла или полимерной добавкой «Spray Con». Выдержка после бетонирования каждого слоя составляла 12-24 часа.

Для обеспечения гидроизоляции и антикоррозионной защиты бетонной крепи канала выполнено набрызгбетонирование по “мокрому” способу с применением модифицирующих добавок. В состав раствора для гидроизоляции входит добавка «Spray Con» - сухой порошок, состоящий из полимеров, других химических компонентов и армирующих волокон, придающих бетону устойчивость к растрескиванию, химическую стойкость, водонепроницаемость и повышает адгезию набрызгиваемого раствора. Толщина нанесенного защитного слоя – 25 мм.

Лабораторное исследование показали, что прочность защитного слоя составляет 60 МПа, а пористость, газо- и водопроницаемость не превышают установленных норм. В результате проведенных работ общий водоприток в выработку снижен на 90%. Вентиляционный канал принят в эксплуатацию.

Для механизации работ по тампонажу горных выработок рекомендуется применять машину бетоноукладочную многоцелевую МБМ. Машина МБМ предназначена для:

непрерывного до 6 м³/ч и циклического приготовления облегченных и обычных бетонных смесей с содержанием до 35% наполнителя с фракцией до 10 мм и цементно-песчаных растворов;

транспортирования бетонной смеси подвижностью соответствующей осадке стандартного конуса от 8 см и выше на расстояние по горизонтали до 100 м и по вертикали до 30 м;

укладки бетонной смеси за опалубку сложных конфигураций с высоким качеством уплотнения без вибрационной обработки;

пикотажа щелей методом мокрого торкретирования, как с добавками модификаторов, так и без них;

инъекции цементно-песчаных растворов под давлением до 6,3 МПа.

Анализ примененных технических решений и технологий их реализации показывает их надежность и эффективность, а также применимость не только при строительстве новых капитальных выработок, но и для капитального ремонта бетона подземных и заглубленных сооружений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Sauer G. Further insight into the NATM // Tunnels and Tunnelling. – 1988. – 20. - № 7. – 35-39.
2. Усаченко Б.М., Шевченко А.В. Задачи эксплуатационной защиты шахтных бетонных (железобетонных) конструкций при горнокапитальных ремонтах // Геотехническая механика – Сб. научн. трудов ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск. – 2000. – Вып. 23. – С. 203 – 209.