

ного управления, с плановым распределением ресурсов для работы технологического комплекса на ближайшую и более отдаленную перспективу.

Таким образом, предложена система обеспечения управления, предназначенная для сбора, обработки, хранения и анализа информационных потоков для дирекции шахты с целью принятия мотивированных управляющих решений. Она существенно поможет директору предприятия (шахты) в работе, обеспечив его самой необходимой на конкретный момент времени информацией, предоставляя как текущую производственную, так и другую разнообразную справочную информацию.

УДК 622.83

А.Ф. Булат, В.В. Левит, В.Б. Усаченко

**КОМПЛЕКСИРОВАНИЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРИ
ОЦЕНКЕ СОСТОЯНИЯ ГЕОМАТЕРИАЛОВ И
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СИСТЕМЫ "КРЕПЬ-ПОРОДНЫЙ
МАССИВ"**

Качественная и количественная оценка напряженно-деформированного состояния пород вокруг подземных выработок и характер его изменения под воздействием различных факторов имеет большое значение для широкого спектра горно-геомеханических задач. Известно, что значительная часть горных работ ведется в сложных горно-геологических условиях, когда комплекс внешних воздействий естественного и техногенного характера на приконтурные породы вблизи выработок приводит к значительной неравномерности полей напряжений и деформаций в массиве. Несмотря на существенный прогресс в развитии расчетных методов, даже качественная оценка напряженно-деформированного состояния породного массива при объемной постановке задачи во многих конкретных случаях затруднительна. Принципиально важным является то, что часто породный массив следует рассматривать как среду с локальными участками изме-

нения ее свойств, где породы находятся на пределе прочности, а также в состоянии запредельного деформирования.

Высказанное свидетельствует об актуальности разработки методики экспериментальной диагностики состояния геоматериалов приконтурной зоны, где происходят процессы, определяющие как эффективность отбойки пород, так и устойчивость горных выработок. Визуальные наблюдения и инструментальные измерения отражают лишь внешние проявления геомеханических процессов. Для оценки размеров и пространственной ориентации зон разрушения породного массива, в которых геоматериалы близки к пределу прочности или находятся на стадии запредельного деформирования, характеристик взаимодействия системы "крепь-массив" целесообразно использовать геофизические методы. Современная схемотехника позволяет разработать средства в портативном исполнении, обладающие достаточно высокими эргономическими характеристиками, приемлемым быстродействием и небольшими погрешностями измерения. Поскольку значительная часть исследований проводится в угольных шахтах, опасных по газу и пыли, то обязательным условием является соблюдение требований искровзрывобезопасности исполнения средств контроля геомеханических процессов.

На базе лабораторных и шахтных экспериментов из множества геофизических методов как наиболее эффективные по комплексу показателей были выбраны низкочастотное электрическое зондирование породного массива и регистрация естественного электромагнитного излучения. Эти методы отличаются достаточно высокой производительностью, для них разработана портативная аппаратура, удовлетворяющая жестким требованиям проведения натурных экспериментов в указанных условиях.

Геофизическая диагностика рассматривается нами как неотъемлемая часть комплекса работ по оценке состояния пород приконтурной зоны вблизи выработок и их сопряжений, выполняемого как для характеристики геомеханического состояния массива, так и для выбора эффективных мероприятий по креплению выработок и управлению горным давлением, обеспечивающих безопасную

эксплуатацию подземных сооружений. Геофизическая диагностика может быть использована для решения нижеперечисленных задач:

а) оценки нарушенности незакрепленного породного массива;
б) оценки состояния породного массива с искусственным изменением показателей его физико-механических свойств, например, путем тампонажа, анкерования, химического упрочнения и др.;

в) определения влияния характеристик залегания окружающего горную выработку породного массива, на устойчивость контура;

г) качественной оценки напряженно-деформированного состояния на сопряжениях стволов с горизонтальными выработками;

д) сравнительной оценки качества возведения и эффективности применения различных видов крепи в горных выработках и на сопряжениях, качества реализации различных регулятивных систем по управлению горным давлением;

е) определения качественных и количественных характеристик геомеханических процессов, происходящих в одиночных и взаимовлияющих выработках, в зоне влияния очистных работ. Учитывая спектр решаемых нами задач, в условиях угольных шахт Донбасса отработана методика и проведен комплекс геофизических исследований. Основное методическое требование к натурным измерениям определяется тем, что исследуемый участок породного массива, окружающего горную выработку и взаимодействующих с элементами крепи, можно свести к двум абстрактным, принципиально различным моделям: к конструкции и к структуризованной среде. В соответствии с этим комплекс используемых геофизических методов должен обеспечивать всестороннюю оценку свойств этого двуединого объекта при различных формах его взаимодействия с окружающей средой. Применяемые методы и средства должны удовлетворять общим принципам диагностики: обеспечивать воспроизводимость результатов при повторных измерениях, исключать субъективный фактор, обеспечивать выделение информативных признаков на фоне помех.

Для применения электрометрического метода в лабораторных условиях с использованием жесткой испытательной установки были получены диаграммы полного деформирования геоматериалов и исследованы зависимости между напряжением одноосного сжатия σ и удельным электрическим сопротивлением ρ . Для унификации экспериментальных результатов построены графики в координатах: по горизонтали - относительное механическое напряжение, равное частному от действующего напряжения σ на значение разрушающего напряжения $\sigma_{сж}$; по вертикали - отношение фиксируемого электрического сопротивления ρ к начальному кажущемуся электрическому сопротивлению ρ_k . Нестабильность переходного контакта в значительной степени устранялась путем тщательной шлифовки торцевых поверхностей и серией предварительных нагружений образцов в пределах (10-15) % от напряжения $\sigma_{сж}$. Общей закономерностью является резкое уменьшение сопротивления в пределах упругого участка и дальнейшее небольшое снижение значений относительного показателя ρ/ρ_k до начала разрушения образца породы. Следует отметить, что для слабых пород уменьшение сопротивления на начальном участке деформирования происходит более интенсивно, чем для более крепких. Это обстоятельство позволяет сделать выводы об информативности метода на различных стадиях деформирования для конкретных типов пород.

Метод регистрации электромагнитного излучения породного массива еще не получил достаточного широкого внедрения в практику геофизических работ. Механизм образования электромагнитной эмиссии связан с преобразованием накопленной упругой энергии в другие виды. Методические трудности при осуществлении лабораторных экспериментов по регистрации электромагнитной эмиссии нагруженных горных пород связаны с необходимостью тщательной экранировки образцов от внешних электромагнитных помех. Для получения информационных зависимостей как в лабораторных, так и в шахтных экспериментах регистрировалась магнитная компонента импульсного электромагнитного излучения.

Частотный диапазон для лабораторных экспериментов составил (60-100) кГц.

Лабораторные эксперименты показали, что не все породы склонны к заметной электромагнитной эмиссии при нагружении. Весьма слабый уровень эмиссии, на грани чувствительности аппаратуры, зарегистрирован для образцов гипса, галита, некоторых марок угля. Остальные из испытанных геоматериалов характеризуются приемлемым для регистрации уровнем эмиссии. Процесс эмиссии для большинства исследованных геоматериалов носит скачкообразный характер. Обращает внимание наличие на диаграммах чередование участков с интенсивным ростом излучения и участков его стабилизации, особенно выраженное для пород с крупноструктурным строением. Видимо, это объясняется процессами хрупкого разрушения в локальных, случайно расположенных в образцах зонах перенапряжений. Более однородные песчаники, в основном, характеризуются монотонным ростом эмиссии вплоть до проявления визуально наблюдаемых трещин разрушения. Следует отметить, что максимум уровня эмиссии соответствует не стадии разрушения образца, а стадии выполаживания характеристики "напряжение-деформация", что соответствует значению $(0,85-0,95) \sigma_{сж}$. Процесс интенсивного роста деформаций при установившемся среднем напряжении в образце характеризуется спадом электромагнитной эмиссии. Физически это означает освобождение большей части упругой энергии, накопленной в образце на предыдущих стадиях деформирования.

Комплекс двух указанных методов позволил оценить в широком диапазоне условий состояние геоматериалов в приконтурной зоне породного массива, а также выявить особенности взаимодействия системы "крепь-массив". Для выполнения работ по электрическому зондированию массива использовалась разработанная в Институте геотехнической механики Национальной академии наук Украины искровзрывобезопасная аппаратура ШИИС-3, которая рассчитана для выполнения измерений на поверхности выработок по четырехэлектродной схеме, а также для профилирования по шпурам с помощью входящего в комплект четырехэлектродного

зонда. Измерения интенсивности естественного электромагнитного излучения в диапазоне от 2 кГц до 55 кГц осуществлялись прибором "ДЭМОН" (дистанционный электромагнитный определитель напряжений). Шахтные эксперименты показали, что регистрация электромагнитного излучения - весьма высокопроизводительный вид контроля, а полученные результаты исследований подтвердили, что метод наиболее эффективен для выделения зон геологических нарушений, размеры которых могут составлять от единиц до сотен метров. Результаты оценки изменения интенсивности эмиссии при профилировании вдоль оси квершлага (ш. Центральная-Ирмино), гор. 913 м) показали, что минимум интенсивности совпадает с зоной дробления, где породы находятся уже на стадии запредельного деформирования.

В комплексе со шпуровым электрическим зондированием рассмотренный метод весьма эффективен для исследования состояния приконтурной зоны в штреках и шахтных стволах. Проектные решения по креплению стволов вдали от сопряжений и геологических нарушений, как правило, предполагают осевую симметрию состояния породного массива. Такое положение не всегда справедливо. Полученная зависимость изменения уровня электромагнитной эмиссии, оцениваемая по ее магнитной компоненте, при круговом обходе контура незакрепленного участка ствола, пройденного в песчанике буровзрывным способом (ш. "Белозерская", гор. 490 м), свидетельствует о заметной асимметрии естественного электромагнитного излучения по контуру выработки. На участке ствола, где контактирующий с бетонной крепью массив (отм. 478 м) сложен глинистым сланцем, асимметрия выражена сильнее и уровень излучения ниже, что свидетельствует о более высоких напряжениях в бетонной крепи. По значениям r_k выделена приконтурная (0,4-0,8 м) и глубинная (1,3-1,6 м) зоны повышенной трещиноватости. Породы в интервале 1,0-1,3 м более уплотнены.

На этом же участке был осуществлен эксперимент по оценке состояния приконтурной зоны путем продольного профилирования четырехэлектродным зондом по четырем горизонтальным шпурам, примерно равномерно расположенным по контуру. Установлено

изменение кажущегося электрического сопротивления по длине каждого из шпуров, участки массива с более высокими значениями кажущегося сопротивления характеризуются большей степенью нарушенности. Эти же участки характеризуются более высокими значениями уровня электромагнитной эмиссии. На базе этих результатов сделан вывод об особенностях процесса хрупкого разрушения на данном участке контура, как следствие наложения асимметрии в направлении слоистости пород, системы естественной трещиноватости и колебаний параметров при выполнении буровзрывных работ. Выявлена разновременная последовательность в деформационных процессах: когда на контуре ствола процесс активного преобразования упругой энергии только начинается, то в зоне дробления он, в основном, уже завершен.

Методом электрометрии возможна оценка асимметрии формирования зоны неупругих деформаций вблизи выработок, что позволяет косвенно определять неравномерность распределения нагрузок на крепь выработок. Проведенные на шахте им. Чапаева на гор. 627 м эксперименты позволили установить такие особенности. Приконтурная зона пород на удалении 0,4 м как со стороны восстания, так и падения пластов уплотнена. Однако на удалении 0,6-1,2 м имеет место разная тенденция изменения ρ_k по азимутам направления шпуров 90° и 265° . В первом случае величина ρ_k достигает 55 Ом, во втором - 15 Ом, т.е. в 3,7 раза меньше, что свидетельствует о наличии зоны нарушенности в первом (восстание) и зоны уплотнения во втором (падение) случаях. На удалении до 1,5 м от контура ствола наблюдаются вариации электросопротивления в массиве, вызванные разной его нарушенностью.

На шахте "Прогресс" на гор. 900 м методом электроразведки изучен участок сопряжения ствола с горизонтальной выработкой. В бок горизонтальной выработки, закрепленной металлокрепью в бетоне с шагом 2 м бурили шпуры длиной 2,5 м. По изменению кажущегося электрического сопротивления пород в приконтурной зоне горизонтальной выработки по мере удаления точек профиля от ствола установлено, что наиболее напряженным

участком на сопряжении являются первые 2-3 метра. Но наиболее важным является вывод о том, что вслед за уменьшением уплотнения пород по мере удаления от ствола наблюдается волнообразный характер нагружения массива по длине сопрягаемой выработки. Это проявляется в чередовании уплотненных (сжатых) и разуплотненных зон. Можно заключить, что в данном случае наблюдается явление зональной дезинтеграции породного массива. Волнообразный характер изменения электросопротивления подтвержден также измерениями на сопряжении вентиляционного ствола № 2 с горизонтом 740 м на шахте "Октябрьский рудник" и на сопряжении скипового ствола с горизонтом 870 м на той же шахте. Сложный характер распределения напряжений вдоль горизонтальной выработки в непосредственной близости от ствола выявлен при измерениях на сопряжении ствола № 8 с горизонтом на отметке 986 м на шахте им. А.Г. Стаханова.

Полученные результаты бокового электрического зондирования по четырехэлектродной схеме в полевом штреке со стороны пласта (ш. Центральная-Ирмино гор. 913 м) до и после отработки лавы позволил сделать вывод о существенном увеличении нарушенности контура после отработки лавы и оценить глубину нарушений зон значением порядка 2-2,5 м, а также параметры зоны опорного давления, величина которых составляет 25-40 м. Применение электрометрии весьма перспективно для изучения процессов пучения. Выполненные измерения в кваршлагае пластов $l_8 - m_2$ позволили установить, что формирование зоны неупругих деформаций в почве выработки сопряжено с образованием зоны разгрузки, максимальная глубина распределения которой соизмерима с полупролетом выработки и для исследуемых условий составляла 1,75-2,50 м. При этом величина коэффициента разрыхления, определяемого по значениям ρ_k , гиперболически уменьшается вглубь массива. Выявлено существенное повышение ортотропности прочности пород при химическом упрочнении и тампонаже.

Результаты получаемые комплексным использованием обоих методов, служат основой для постановки аналитических исследований и разработки инженерных рекомендаций по повышению

устойчивости выработок в сложных горно-геологических условиях. Очевидно, что одним из направлений является адаптация крепи к распределению нагрузок по контуру выработки с учетом их асимметрии; вторым - изменение геомеханической структуры приконтурной зоны пород путем управления в заданных направлениях и на заданную глубину физико-механическими свойствами окружающего выработку породного массива.

УДК 622.016.63

В.В. Левит, В.Б. Усаченко

**РЕШЕНИЕ ПО ПРИМЕНЕНИЮ АНКЕРНОЙ СТЯЖНОЙ
КРЕПИ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕЙ САМОЗАПИРАНИЕ
ПРИКОНТУРНЫХ ПОРОД**

Изучение природы и механизма протекания деформационных процессов в приконтурных породах вблизи выработок и взаимодействия системы “крепь - породный массив” показывает, что к числу особенностей, определяющих невысокую эффективность применения известных решений по охране горных выработок относятся: 1) неоднородность полей напряжений и деформаций в породном массиве, определяемая его литолого-геомеханическими характеристиками и горно-технологическими факторами; 2) развитие дезинтеграционных процессов в массиве пород, вызывающих формирование локальных и протяженных зон по длине выработок и вглубь массива с различными структурными и механическими свойствами пород; 3) развитие больших зон нарушенности пород вокруг выработок, сопровождающееся запредельным деформированием и существенным понижением прочности пород; 4) возведение крепи без предварительного распора и несвоевременное включение ее в работу; 5) низкая сопротивляемость и адаптация крепей к асимметрии и нарастанию нагрузок на них, являющихся причиной снижения эффекта равнопрочности крепи и эффекта арочности; 6) понижение несущей способности крепи в контактных зонах и при самопроизвольном увеличении пролета поддерживаемой вы-