

Е.К. БАБЕЦ, В.Я. КОЗАРИЗ, кандидаты техн. наук, доц.,  
В.И. ЧЕПУРНОЙ, С.И. ЛЯШ, НИГРИ ГВУЗ «Криворожский национальный университет»,  
Ю.А. ПЛУЖНИК, ПАО «Криворожжелезрудком»

## **КОМПЛЕКСНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ЕИЭМПЗ И РАП ДЛЯ НАБЛЮДЕНИЯ И ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ПОРОДНОГО МАССИВА НАД ОТРАБОТАННОЙ ЖЕЛЕЗОРУДНОЙ ЗАЛЕЖЬЮ**

Рассмотрены научные предпосылки комплексного применения методов ЕИЭМПЗ и РАП для геофизического наблюдения и оценки геодинамического состояния породного массива над отработанной железорудной залежью. Приведены результаты наблюдений и оценки.

**Проблема и ее связь с практическими задачами.** Изучение с земной поверхности состояния породного массива над отработанной железорудной залежью является актуальным направлением для оценки уровня геотехногенной безопасности объектов, попадающих в зону риска, обусловленного наличием выработанного пространства, образованного отработкой железорудной залежи подземным способом.

**Анализ исследований и публикаций.** Вокруг выработанного пространства происходят деформации, создающие естественное физическое поле, электромагнитная и акустическая составляющая которого может характеризовать геодинамические явления в подработанном породном массиве. Поиском связей между деформациями породного массива и изменением параметров электромагнитного и акустического поля посвящены работы Воробьева А.А., Бахова Н.И., Ахкозова Ю.Л., Грицай Е.Ю., Семенюка В.А., Зуйкова И.В.

**Постановка задачи.** В настоящей работе авторы расширяют подходы к оперативному комплексному аппаратурному геофизическому диагностированию состояния породного массива над отработанной железорудной залежью.

**Изложение материала исследований и полученные результаты.** Железорудные залежи Кривбасса представлены всем разнообразием форм, которые включают пластообразные, столбообразные и линзообразные, залегающие от поверхности с нескольких десятков до десятков сотен метров. При отработке подземным способом залежей железных руд образуется выработанное пространство. При этом в массиве горных пород и на земной поверхности происходит развитие процесса деформаций, которые приводят к высокой нарушенности геологической среды, необратимым изменениям естественных ландшафтов, сдвигам и провалам земной поверхности [1].

Реальный массив горных пород имеет сложное строение и обладает существенной анизотропией физико-механических свойств. Внутри и на границе структурных элементов массива силы связи существенно отличаются, что проявляется в ассоциировании (объединении) их в целостный элемент (кластер). Вследствие этого в массиве существует иерархически упорядоченная структура совокупности кластеров, связь между которыми обусловлена не только силами, связывающими элементы внутри кластера, но и силами, действующими на контактах его с другими кластерами. Очевидно, что силы связи между кластерами в ассоциате существенно слабее, чем внутри кластеров, что является необходимым условием устойчивости внутренней структуры ассоциатов, а также возможности перераспределения внешних силовых воздействий (перколяции сил) по структурным связям (взаимодействиям) внутри.

Согласно теории упругости в массиве горных пород вокруг выработанного пространства, образованного отработкой железорудной залежи, происходит перераспределение напряжений. Кроме изменения абсолютных величин напряжений, в каждой точке массива по сравнению с исходным состоянием, существенно изменяется их ориентация вблизи выработанного пространства. Траектории главных напряжений в реальном массиве на каждом масштабном структурном уровне представляют собой перколяционный кластер передачи сил.

Исходя из изложенной кластерно-перколяционной модели массива горных пород деформирование последнего вокруг выработанного пространства, образованного отработкой железорудной залежи, в зонах максимальной концентрации напряжений приводит к образованию сети микро и макротрещин в этих зонах. Эти процессы лежат в основе явления зональной дезинтеграции породного массива над отработанной железорудной залежью [2].

Зависимость электромагнитного, акустического и гравитационного взаимодействий позволяет построить заключение о том, что в породном массиве над отработанной железорудной залежью происходят деформации, создающие многофакторное силовое поле, электромагнитная и акустическая составляющая которого содержит органически взаимосвязанные трансляционные и поворотные модули [3].

Данное положение является чрезвычайно важным при выборе геофизических методов, которые можно эффективно использовать в рамках наблюдения и оценки структуры, а также состояния породного массива над отработанной железорудной залежью.

Для изучения процессов изменения структуры и состояния приведенного массива горных пород при использовании разработанной в НИГРИ ГВУЗ «КНУ» методики и мобильных технических средств удалось, в рамках натурных исследований, реализовать идею комплексного применения методов ЕИЭМПЗ и РАП для наблюдения и оценки состояния породного массива над отработанной железорудной залежью. Используемая методика и технические средства относятся к геофизическим методам неразрушающего контроля. Они отличаются от известных ранее методик и технических средств системой наблюдения и последующей интерпретации результатов измерений, основанными на концепции синхронной почастотной регистрации, а также интерпретации наблюдаемого геофизического фактора. Методы ЕИЭМПЗ и РАП относятся к категории геофизических методов, изучающих и использующих для получения информации естественные физические поля. Данные методы являются прогностическим критерием развития многих геологических процессов, общей оценки устойчивости территорий и служит для бесконтактной качественной и количественной оценки геодинамических явлений и уровня геозекологической безопасности породного массива над отработанной рудной залежью [4].

Натуральные исследования на основе комплексного применения методов ЕИЭМПЗ и РАП проводятся в течение 2 лет на жизненно важном для г. Кривой Рог, техническом сооружении - городской автодороге, обеспечивающей проезд с северной группы рудников на трассу Кривой Рог-Кировоград. Участок автодороги длиной свыше 500 м проходит на земной поверхности породного массива над отработанной железорудной залежью. Отработка залежи выполнена шахтой «Родина» ПАО «Криворожский железорудный комбинат» с глубины 865 метров системами разработки с обрушением налегающих пород. В массиве горных пород и на земной поверхности на протяжении последние 30 лет происходит развитие техногенного геодинамического процесса, который проявляется в виде классической мульды сдвижения, включающий в себя следующие зоны: воронкообразования, обрушения, трещин, опасного и общего влияния.

Для гарантированной безопасности эксплуатации ответственных технических объектов и сооружений к которым относятся и автодороги различного назначения, тщательно изучаются горно-геологические условия их расположения с применением обширного комплекса различных видов исследований.

В последние годы в этом комплексе все большую роль играют геофизические методы, которые применяются для решения конкретных задач, связанных с изучением особенностей строения, свойств и состояния породного массива, закономерностей изменения его важнейших физико-механических характеристик в зависимости от различных природных и техногенных факторов, а также процессов, происходящих в массиве и сооружениях в результате производственной деятельности горнодобывающих предприятий.

Существующие в наблюдаемом массиве мощности и геологическое строение подработанной толщи разнопрочных пород осадочного чехла и кристаллического фундамента не позволяют прогнозировать во времени выходы зон обрушения на земную поверхность [5].

Учитывая высокую степень опасности обрушения на исследуемом техническом сооружении НИГРИ ГВУЗ «Криворожский национальный университет» проводит методом регистрации комплекса параметров ЕИЭМПЗ и РАП системные геофизические наблюдения и оценку состояния породного массива над отработанной железорудной залежью.

Регистрация параметров ЕИЭМПЗ и РАП проводится в диапазоне частот соответственно 0,1-50 кГц и 1,028-4,015 кГц. Обработка результатов измерений позволила выявить в наблюдаемом породном массиве 9 аномальных зон с различной степенью дезинтеграции, являющихся индикатором устойчивости массива над отработанной железорудной залежью.

Проводимые наблюдения показали, что аномальные зоны по профилю дороги представлены в виде столбообразных зон нарушений шириной 25-50 м с куполообразной верхней грани-

цей, которая находится по профилю дороги на глубине 120 м от поверхности наблюдений, а для остальной территории над отработанной железорудной залежью данный показатель равен 200-240 м.

Данное обстоятельство может быть объяснено тем, что внутри и на границах структурных элементов массива над отработанной железорудной залежью силы связи существенно отличаются. Применяя метод синергетического подхода к вопросу деформирования горных пород, следует исходить из того, что они должны рассматриваться как открытые, сильнонеравновесные в локальных зонах концентратов напряжений системы, в которых протекают неравновесные локальные структурные преобразования. Последние развиваются на разных масштабных уровнях и отличаются по характеру, энергии, протяженности в объеме, скорости протекания.

Их самоорганизация в заданных граничных условиях обуславливает формирование диссипативных структур, эволюция которых определяет характер пластического течения и разрушения горных пород.

Полученные результаты мониторинга массива горных пород методами ЕИЭМПЗ и РАП позволяют сделать вывод, что наблюдаемый массив представляет многогранговую иерархическую структуру. Это проявляется в том, что в структурах элементов массива горных пород существуют связи обусловленные не только связывающие элементы структуры внутри определенной зоны дезинтеграции, но и с силами действующих на контактах с другими зонами дезинтеграции.

В исследуемом массиве зоны дезинтеграции разделены по глубине тектоническими нарушениями. Исключение представляет верхняя зона дезинтеграции массива. Данная зона дезинтеграции находится ближе к поверхности и на развитие микротрещин и расслоений в ней существенно влияют подземные воды.

До проведения НИГРИ ГВУЗ «КНУ» системных наблюдений методами ЕИЭМПЗ и РАП и оценки состояния породного массива над отработанной железорудной залежью предполагалось, что данный массив горных пород квазиоднороден и развитие процесса его дезинтеграции будет проходить монотонно стабильно. Проводимые наблюдения и анализ полученных результатов показали, что процессы дезинтеграции происходят локально как в верхней части массива, так и в нижележащих зонах.

Данные положения позволили уточнить применительно к структурно и текстурно сложному породному массиву, залегающему над отработанной железорудной залежью, критерии опасности для оценки безопасной эксплуатации участка автодороги пролегающего над названной залежью.

Уточненные критерии опасности включены в «Мероприятия по контролю безопасной эксплуатации участка автодороги над отработанной шахтой «Родина» железорудной залежью по результатам полевых измерений методами ЕИЭМПЗ и РАП».

**Выводы и направление дальнейших исследований.** Выполненные исследования показали, что изложенная комплексная система наблюдения методами ЕИЭМПЗ и РАП является эффективной и информативной применительно к изучению строения и оценки состояния породного массива над отработанной железорудной залежью.

Использование настоящей системы в рамках обеспечения безопасности эксплуатации объектов различного назначения позволяет, применительно к исследуемому породному массиву, экспресно решать следующие инженерно - геомеханические задачи:

изучать с земной поверхности по возмущению природного электромагнитного и акустического поля характер распределения напряженного состояния массивов горных пород, вызванного как природными, так и техногенными факторами;

окопировать оползневые и гидрологически опасные участки, прослеживать разломы и другие тектонические нарушения;

оперативно осуществлять прогнозирование природных и техногенных геодинамических явлений;

определять с земной поверхности динамику или режим необратимых деформаций в породном массиве;

качественно и количественно оценивать уровень геотехногенной безопасности породного массива относительно объектов, попадающих в зону риска, обусловленного наличием выработанного пространства представленного отработанной железорудной залежью.

Дальнейшие исследования необходимо проводить в направлении более детального определения глубинности геодинамических процессов, происходящих в породном массиве над отработанной железорудной залежью.

#### *Список литературы*

1. Сдвигание горных пород и земной поверхности на рудных месторождениях. **И.А. Кузнецов, А.Г. Акимов, В.И. Кузьмин и др.** М: Недра, -1971.-224с.
2. **И.Ш. Коган** «Самоорганизация горной породы вокруг неоднородностей», издательство ЮжКаз ЦНТИ, 1985г.
3. Явление электризации горных пород при механическом нагружении. **Н.И. Бахов**, Институт геофизики НАН Украины.-Киев, Украина, 2006г.
4. Некоторые аспекты применения метода наблюдения естественного импульсного электромагнитного поля земли (ЕИЭМПЗ) для решения геологических, инженерно-геологических и гидрогеологических задач. - **М.М. Довбнич, И.С. Белых, Г.И. Кузина, Г.С. Стывас**, ДО УкрГГРИ – г. Днепропетровск, Украина, 2006г.
5. Исследование и прогноз характера процесса сдвижения с районированием подрабатываемых территорий при отработке глубоких горизонтов шахт Кривбасса на предмет использования в народном хозяйстве. Отчет о НИР /ГНПП «МЭГГИ», рук.Сазонов А.В., -Кривой Рог, 1995 г. -94 с.

Рукопись поступила в редакцию 22.01.13

УДК 622.062:622.281

Д.В. БРОВКО, канд. техн. наук, доц., К.А. АГАТЬЕВ, аспирант  
ГВУЗ «Криворожский национальный университет»

### **НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ НЕСУЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ГОРНО-ПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА**

Рассмотрены методологические направления по обеспечению безопасности эксплуатации строительных объектов, а именно к разработке научных основ технического диагностирования состояния несущих элементов зданий и сооружений горнопромышленного комплекса

**Проблема и ее связь с другими практическими задачами.** Значительный износ существующих горнотехнических зданий и сооружений с большим сроком эксплуатации, а также низкое качество поддержания и реконструкции таких объектов, возведенных в стране за последние четверть века и более, являются причинами роста числа обрушений зданий и сооружений, нередко сопровождающихся гибелью людей. В этой связи для повышения надежности и безопасности эксплуатации строительных объектов в последние годы в разработан целый ряд нормативных документов в области диагностирования, обследования и мониторинга технического состояния зданий и сооружений.

Исторически задачи повышения безопасности зданий и сооружений при длительном их использовании решались по разным методологическим концепциям, сыгравшим, несомненно, свою положительную роль. И, прежде всего, следует отметить, что еще на рубеже 60-70-х годов прошлого века усилия известных специалистов [1] были направлены на научное обоснование принципов задания уровня надежности зданий и сооружений еще на стадии их проектирования, что позволило в 80-х годах при переработке всех СНиПов по проектированию несущих элементов (строительных конструкций и грунтовых оснований) зданий и сооружений ввести соответствующие коэффициенты «запаса» (по надежности, условиям работы, по материалу и т.п.), которые заложены во всех СНиПах по проектированию и в настоящее время. Однако подобный методологический подход не позволяет оценивать фактическую надежность несущих элементов и в целом зданий и сооружений на стадии их эксплуатации и после проведения реконструкции, поскольку в классической теории [1] надежность любого объекта должна оцениваться вероятностью того, что объект на заданный момент окажется в каком-то заданном состоянии. Невозможность решения подобных задач оценивания надежности применительно к таким объектам, как эксплуатируемые здания и сооружения горнодобывающих предприятий, в частности, обусловлена была тем, что в нормативной базе вообще до 1997 г. не была регламентирована классификация состояний строительных объектов и их несущих элементов, которая впервые в нашей стране была представлена в [2]. Однако даже введение этой классификации не позволяет оценивать надежность эксплуатируемых объектов по показателю вероятности