

5. Новожилов М.Г. Технология открытой разработки южной группы месторождений железистых кварцитов Кривбасса на больших глубинах. Глубокие карьеры. - К.: Научная мысль, 1973.
6. Новожилов М.Г. Решение проблемы транспорта в условиях глубоких карьеров Кривбасса. Свердловский горный институт. Свердловск, 1959.
7. Новожилов М.Г. Поточная технология открытой разработки месторождений: (теоретические основы) - К.: Научная мысль, 1965.
8. Новожилов М.Г. Глубокие карьеры. - М.: Госгортехиздат, 1962.
9. Тарковский Б.Н. Циклично-поточная и поточная технология горных работ для глубоких карьеров Кривбасса. Научная мысль, Киев, 1972.
10. Тарковский Б.Н. Влияние дробления пород на эффективность технологических процессов открытой разработки. - К.: Научная мысль, 1974.

## **ОБОСНОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ НАРУШЕНИЙ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ ПРИ ОТКРЫТОЙ РАЗРАБОТКЕ ЖЕЛЕЗИСТЫХ КВАРЦИТОВ В ЗОНАХ ВЛИЯНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ РАБОТ**

*Е.К. Бабец, Научно-исследовательский горнорудный институт ГВУЗ «Криворожский национальный университет», Украина*

Обоснована возможность использования магнитоэлектрического эффекта для аппаратного обеспечения геофизической системы прогнозирования и мониторинга техногенных нарушений геологической среды при открытой разработке железистых кварцитов в зонах влияния подземных горных работ.

**Введение.** Криворожский железорудный бассейн является основным горнодобывающим регионом, который обеспечивает до 70% производства товарного железорудного сырья Украины.

Разработка Криворожского месторождения железных руд осуществляется с 1881 г. За это время добыто около 4,5 млрд. т товарной железной руды, для чего было изъято из недр более 6 млрд. м<sup>3</sup> (около 17 млрд.т) горной массы.

Вследствие длительного производства горных работ, в Кривбассе произошли масштабные нарушения состояния недр и земной поверхности. Техногенные нарушения земной поверхности превышают 300 км<sup>2</sup> и составляют в длину около 100 км, а в ширину до 3-5 км. Эти нарушения представлены карьерами глубиной до 300 м, шахтами глубиной до 1500 м, мульдами сдвига и зонами обрушения пород, непогашенными подземными пустотами. Вдоль территории с техногенными нарушениями расположены: отвалы вскрышных пород высотой до 120 м; хвостохранилища, в которых накоплено около 5 млрд. м<sup>3</sup> горной массы и отходов обогащения руд; защитные дамбы шламоохранилищ с высотой до 90 м. Рядом с этими объектами расположены промышленные предприятия и жилые массивы.

Создалась ситуация, когда в верхней части земной коры Кривбасса образовались выемки и пустоты антропогенного происхождения, а параллельно им размещаются огромные техногенные объекты с массой в миллиарды тонн. Это привело к созданию значительной концентрации неуравновешенного напряжения земной коры, которое ежегодно возрастает по мере углубления горных работ. Общие объемы земной коры, которые подвержены антропогенным геомеханическим процессам в Кривбассе, составляют около 16-17 млрд. м<sup>3</sup> (возможно до 20 млрд. м<sup>3</sup>) массой около 50 млрд. т при интенсивности нарушений 1 млрд. м<sup>3</sup> каждые 8 лет. Ежегодная интенсивность нарушений возрастает и в самом ближайшем времени может возрасти еще на 15-20 %.

**Состояние вопроса.** В настоящее время отработка залежей железных руд Кривбасса ведется открытым и подземным способами в условиях техногенной нагрузки на

геологическую среду, аналогов которой не знает мировая практика.

В ряде случаев открытая и подземная разработка ведется на одном участке месторождения, что создает определенные трудности, влияет на технико-экономические показатели горнодобывающих предприятий, безопасность ведения горных работ, экологическую ситуацию в регионе.

Комплексное использование открытого и подземного способа разработки позволит более полно использовать разведанные запасы железных руд, снизить капитальные затраты и инвестиции на развитие производства, улучшить экологическую обстановку в регионе.

Зачастую открытая разработка проводится на участках месторождений подработанных подземными горными работами.

Возможность выемки железных руд открытым способом в зонах влияния подземных горных работ подтверждается опытом украинских и зарубежных горнодобывающих предприятий [1-3].

По мнению ряда исследователей, открытую разработку в зонах влияния подземных горных работ необходимо считать назревшей задачей для многих месторождений руд черных металлов. Авторы утверждают, что есть все основания расценивать эту задачу как важную проблему горной науки [4].

В настоящее время в Кривбассе разработка природно-богатых руд открытым способом в зонах влияния подземных горных работ осуществляется карьером «Южный» (горный цех шахтоуправления по подземной добыче руды ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог»), карьером «Северный» (горно-обогадительный комплекс «Укрмеханобр» ЧАО «Мариупольский металлургический комбинат»), а также наиболее мощным карьером №1 ЧАО «ЦГОК», который осуществляет добычу железистых кварцитов.

Месторождение железистых кварцитов, расположенное в центральной части Криворожского бассейна и разрабатываемое карьером №1 ЧАО «ЦГОК», имеет свои характерные особенности. В тектоническом отношении месторождение приурочено к Саксаганской синклинали и Саксаганской антиклинали, в которых сосредоточены основные запасы руды в Кривбассе.

Богатые руды 2-го Саксаганского пласта, залегающие в восточном крыле синклинали, отрабатываются шахтами «Октябрьская» (ПАО «Кривбассжелезрудком») и им. Фрунзе (ЧАО «Евраз Суха Балка»). Руды Глееватского и Червоно-компанейского пластов и руды 2-го Саксаганского пласта, залегающие в центральной части синклинали и в западном крыле антиклинали, отрабатываются карьером №1 ЧАО «ЦГОК».

Карьер имеет вытянутую по простиранию форму и в настоящее время его глубина составляет 350 м, длина - около 4000 м, ширина – 1700 м. Годовая производительность карьера по сырой руде составляет 5,6 млн.т. Углы наклона бортов карьера составляют 30-40°. Высота уступов в наносах 10 м, в скальных породах – 15 м. Ширина рабочих площадок равна 40-60 м.

Для карьера №1 предусматривается отработка на глубину 500 м, с извлечением балансовых запасов железистых (магнетитовых) кварцитов и активным вовлечением в работу Восточного борта карьера.

Доступ к горизонтам Восточного борта осуществляется с севера с горизонта 95 м. Далее, по мере разноса борта и углубки горных работ, по Восточному борту формируется система съездов для связи с горизонтами северного и южного бортов.

Восточный борт карьера подрабатывается шахтами «Октябрьская» и им. Фрунзе. Наличие в массиве горных пород Восточного борта карьера, зон влияния подземных горных работ осложняет технологию открытой разработки железистых кварцитов.

В Криворожском бассейне при отработке подземным способом залежей железных руд образуется выработанное пространство. При этом в массиве горных пород и на земной поверхности происходит развитие процесса деформаций. Наиболее опасными проявлениями последних являются провалы и воронки обрушения земной поверхности [5].

Реальный массив горных пород имеет сложное строение и обладает существенной анизотропией физико-механических свойств. Внутри и на границе структурных элементов

массива 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.

Исходя из изложенной кластерно-перколяционной модели массива горных пород деформирование последнего вокруг выработанного пространства в зонах максимальной концентрации напряжений приводит к образованию сети микро и макротрещин в этих зонах. Эти процессы лежат в основе явления дезинтеграции породного массива в зоне влияния подземных горных работ [6].

Данное положение является чрезвычайно важным при выборе геофизических методов, которые можно эффективно использовать в рамках геофизического изучения структуры и состояния массива горных пород в зоне влияния подземных горных работ [7-9].

**Нерешенная часть проблемы** открытой разработки железистых кварцитов в зонах влияния подземных горных работ состоит в обеспечении безопасности отработки карьером массива горных пород, подработанного подземными горными работами.

**Целью работы является** создание методологических основ и концептуальных подходов к возможности применения магнитоэлектрического эффекта для прогнозирования техногенных нарушений геологической среды при открытой разработке железистых кварцитов в зонах влияния подземных горных работ.

**Задача работы состоит** в обосновании геофизических аспектов создания принципиально новых приборов твердотельной электроники для аппаратного обеспечения геофизической системы предупреждения и мониторинга невозвратной деформации дневной поверхности в районах открытой разработки железистых кварцитов в зонах влияния подземных горных работ.

**Изложение основного материала.** В Криворожском железорудном бассейне, странах ближнего и дальнего зарубежья, где на протяжении многих десятилетий проводятся интенсивные открытые и подземные горные работы, происходит существенное антропогенное нарушение природного геологического установившегося геостатического давления в породах как осадочного чехла, так и кристаллического фундамента.

Такое влияние на окружающую среду не может оставаться без последствий, в том числе и отрицательных, включая как ландшафтные, так и особенно социальные безвозвратные потери.

Как обычно на такое развитие событий общество реагирует с большим опозданием, когда не реагировать становится невозможно как для органов власти, так и существующих научно-технических структур.

Следует отметить, что первые, довольно осторожные попытки научного анализа процесса накопления деструктивной энергии безвозвратной деформации локальных участков потенциальных нарушений породного осадочного чехла и кристаллического фундамента породного массива, определенных участков и территорий Кривбасса, проводятся как НИГРИ ГВУЗ «КНУ», так и другими научно-техническими организациями Кривбасса и Украины.

Проблемы исследований в основном состоят как в финансовом обеспечении, так и в эмпирическом уровне знаний исследователей, хотя первое тесно связано со вторым.

Существующий эмпирический уровень знаний относительно генезиса и развития во времени очагов потенциального сдвижения осадочного чехла и кристаллического фундамента породного массива существенно тормозит как развитие методов наблюдений динамики вышеупомянутых объектов, так и, особенно, прогнозирование процессов потенциального сдвижения.

Широко применяемый геофизический метод исследований геодинамического состояния породного массива, подработанного подземными горными работами, именуемый, как метод

регистрации параметров естественного импульсного электромагнитного поля Земли (ЕИЭМПЗ) во многом имеет эмпирическую основу, что ограничивает масштабы его использования, а сам метод имеет определенные недостатки.

Во-первых, процесс образования локальных очагов излучения электромагнитной энергии в регионах с развитой добычей полезных ископаемых открытым и подземным способами является исключительно антропогенным, следовательно, это ответ природы на принудительное вторжение в стабильное геостатическое давление и такое явление существует не везде и не всегда, а как известно магнитное поле Земли проявляется на Земном шаре везде и всегда [10].

Во-вторых, что является весьма существенным, при использовании метода ЕИЭМПЗ, отдельные исследователи считают, что происходит регистрация не импульсов ЕИЭМПЗ, а отдельных нелинейных магнитных волн [11-13].

Следовательно, геофизическая квалификация метода ЕИЭМПЗ, исходя из позиций существующего физического явления, требует определенных уточнений.

В третьих. Любой естественный физический процесс со временем обязательно поддается математическому описанию, которое раскрывает его содержание и стимулирует соответствующее его использование.

Следует отметить, что метод ЕИЭМПЗ остается на эмпирическом уровне использования, и такое положение дел является следствием существующего толкования сути физического явления метода ЕИЭМПЗ.

В связи с изложенным необходимо выполнить анализ существующего естественного явления, а именно, динамики дискретного нелинейного магнитного поля в непрерывном статическом магнитном поле. Для этого есть все основания, так как основы генезиса физического явления, которое следует идентифицировать, лежат в следующем.

При повышенной внешней нагрузке определенных участков сплошной среды, а это также и осадочные, и кристаллические горные породы подработанные подземными горными работами, формируется дисбаланс магнитного поля внутренней структуры горных пород.

В результате развития дисбаланса магнитного поля, в отдельных, наиболее уязвимых в дестабилизационном отношении участках горных пород, подработанных подземными горными работами, происходит их «возбуждение», а также образуются центры постоянного излучения нелинейных магнитных волн, в том числе и за счет энергии локального гравитационного поля, которое поддерживает и развивает повышенную внешнюю нагрузку центров динамики магнитного поля в условиях периодической промышленной динамичности, например, промышленной сейсмичности.

Динамика дискретной магнитной нелинейности происходит не в вакууме, а в непрерывном статическом магнитном поле, которое очевидно оказывает определенное сопротивление интрузии магнитной нелинейности, благодаря чему движение интрузивной нелинейности угасает к нулю, а движение интрузивной нелинейности имеет конкретную длину, которая зависит как от начальной мощности интрузивной нелинейности, так и от энергии внешнего статического магнитного поля, которое сдерживает движение интрузивной нелинейности к ее полному угасанию.

Кристаллические горные породы – вещества, обладающие одновременно и магнитным, и электрическим упорядочением. Взаимосвязь магнитных, электрических и упругих свойств таких пород приводит к тому, что в них возможны перекрестные эффекты, связывающие между собой магнитные и электрические характеристики материала. При приложении к такой структуре внешнего электрического поля происходит изменение намагниченности, и, наоборот, при приложении внешнего магнитного поля происходит изменение поляризации. Этот эффект, называемый магнитоэлектрическим (МЭ), интересен тем, что позволяет создавать принципиально новые приборы твердотельной электроники. Величина МЭ-эффекта в монокристаллических породах довольно мала, что значительно сдерживает их практическое применение. В породах, представляющих собой механически связанные магнитоэлектрические и пьезоэлектрические компоненты, величина МЭ-эффекта значительно больше. Это позволяет

создание приборов на основе МЭ-эффекта, например таких, как датчики магнитного поля, с чувствительностью, значительно превышающей чувствительность датчиков Холла. Механизм возникновения МЭ-эффекта обусловлен связью магнитоэлектрики и пьезоэлектричества. В переменном магнитном поле вследствие магнитоэлектрики возникают механические напряжения, которые передаются в пьезоэлектрическую фазу, где вследствие пьезоэффекта происходит изменение поляризации, что приводит к возникновению электрического напряжения. Поскольку пьезоэлектричество является линейной функцией напряженности электрического поля, а магнитоэлектрика – нелинейной функцией намагниченности, в общем случае возникают как линейные, так и нелинейные МЭ-эффекты. Во многих работах исследовался линейный МЭ-эффект, заключающийся в возникновении электрического напряжения например, в конденсаторе, диэлектриком которого является магнитоэлектрично-пьезоэлектрический материал, при помещении его в постоянное (подмагничивающее) и переменное магнитные поля. Частотная зависимость эффекта имеет резонансный характер, и на частоте антирезонанса наблюдается пиковое увеличение МЭ-коэффициента. Величина эффекта зависит от постоянного магнитного поля, и на так называемой полевой зависимости имеется ярко выраженный максимум. В области слабых полей величина эффекта пропорциональна величине поля подмагничивания. Это связано с тем, что в области, далекой от насыщения, магнитоэлектрика является квадратичной функцией намагниченности, поэтому при наличии поля подмагничивания величина МЭ-эффекта пропорциональна произведению напряженностей постоянного и переменного магнитного полей, т.е. наблюдается линейный по переменному магнитному полю МЭ-эффект. Однако наряду с линейным эффектом возникает и нелинейный МЭ-эффект, величина которого пропорциональна квадрату переменного магнитного поля. При больших полях подмагничивания его величина много меньше линейного, и его вкладом в результирующий сигнал можно пренебречь. Однако в области слабых полей его величина может быть соизмерима или больше величины линейного эффекта. Этот факт следует учитывать при разработке магнитоэлектрических датчиков магнитного поля, предназначенных для измерения слабых полей.

При квадратичном по напряженности переменного магнитного поля эффекте частота механических колебаний, возникающих в магнитоэлектричной фазе, будет равна удвоенной частоте приложенного переменного магнитного поля. Передаваясь посредством механического взаимодействия в пьезоэлектрическую фазу, эти колебания приведут к изменению поляризации пьезоэлектрика, в результате чего на обкладках конденсатора возникнет электрическое напряжение с удвоенной частотой. При равенстве частоты переменного магнитного поля половине значения частоты антирезонанса будет происходить резонансное увеличение эффекта. В отличие от линейного эффекта этот резонанс будет наблюдаться при нулевом значении поля подмагничивания, и его величина будет квадратична по напряженности переменного магнитного поля.

В низкочастотной области спектра вследствие суперпозиции сигналов от линейного и нелинейного эффектов на временной зависимости сигнала возникает разность между амплитудами двух соседних максимумов, величина которой пропорциональна напряженности постоянного магнитного поля. Этот эффект можно использовать в качестве метода измерения постоянного магнитного поля в области полей, далеких от поля насыщения магнетика.

В качестве модели для теоретического описания МЭ- эффекта рассмотрим структуру в виде пластинки, состоящей из магнетика толщиной  $mt$  и пьезоэлектрика толщиной  $pt$  поляризованного в направлении, перпендикулярном плоскости пластинки (ось Z) [14,15].

Будем считать, что направление постоянного магнитного поля и переменного магнитного поля с частотой  $\omega'$  совпадает с направлением поляризации. Уравнение движения для x-проекции вектора смещения среды бих с учетом неоднородности колебаний в направлении, перпендикулярном границе раздела, имеет вид

$$\alpha \rho \frac{\partial^{2\alpha} u_x}{\partial t^2} = \frac{\partial^\alpha T_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial^\alpha T_{xz}}{\partial z}, \quad (1)$$

где индекс  $a$  равен  $m$  для магнитоэластичного и  $p$  для пьезоэлектрического слоя,  $\rho$  – плотность феррита или пьезоэлектрика,  $\sigma T_{ij}$  – тензор напряжений.

Полагая пластинку длинной и узкой, т.е. пренебрегая неоднородностями по ширине пластинки, с учетом того, что возникающие в магнитоэластичной фазе колебания среды передаются в пьезоэлектрическую фазу, посредством сдвиговых деформаций, уравнения для тензора деформаций магнитоэластичной  $mS_{ij}$  и пьезоэлектрической  $pS_{ij}$  фаз и  $z$ -компоненты вектора электрической индукции запишем в виде

$${}^m S_{xx} = \frac{1}{mY} {}^m T_{xx} + g_{xx,z} (H_z)^2, \quad (2)$$

$${}^m S_{xz} = \frac{1}{mG} {}^m T_{xz}, \quad (3)$$

$${}^p S_{xx} = \frac{1}{pY} {}^p T_{xx} + d_{z,xx} E_z, \quad (4)$$

$${}^p S_{xz} = \frac{1}{pG} {}^p T_{xz}, \quad (5)$$

$$D_z = \varepsilon_{zz} E_z + d_{z,xx} {}^p T_{xx}. \quad (6)$$

Здесь введены обозначения  ${}^m Y$ ,  ${}^m G$ ,  ${}^p Y$ ,  ${}^p G$  – модули Юнга и сдвига магнитоэластичной и пьезоэлектрической фаз соответственно;  $g_{xx,z} = \partial \sigma I(\partial(M_z)^2) \chi^2$  – магнитоэластичный коэффициент;  $\sigma I$  – магнитоэластичная деформация в направлении, перпендикулярном магнитному полю;  $\chi$  – магнитная восприимчивость;  $d_{z,xx}$  – пьезоэлектрический тензор;  $\varepsilon_{zz}$  – тензор диэлектрической проницаемости пьезоэлектрика;  $H_z = H_m \exp(i\omega t)$  – напряженность переменного магнитного поля с частотой  $\omega$ ;  $E_z$  –  $z$ -проекция вектора напряженности электрического поля в пьезоэлектрике.

Решение уравнения (1) представим в виде

$$u_x = u(x, z) \exp(i\omega t), \quad (7)$$

где  $\omega = 2\pi f$  – частота механических колебаний.

Решая уравнение движения для  $x$ -проекции вектора смещения среды и подставляя полученное выражение в уравнение (6) с использованием условия разомкнутой цепи для разности потенциалов, возникающей на обкладках конденсатора, получим выражение

$$U(t) = \frac{{}^p Y d_{z,xx} g_{xx,z}}{\varepsilon_{zz} \Delta_\alpha} \frac{{}^m Y {}^m t}{m_Y m_t \frac{th({}^m \kappa)}{m_\kappa} + {}^p Y {}^p t \frac{tg({}^p \kappa)}{p_\kappa}} \frac{tg(\kappa) th({}^p \kappa)}{\kappa p_\kappa} {}^p t (H_z(t))^2 \quad (8)$$

Здесь введены следующие обозначения:

$$\Delta_\alpha = 1 - K_p^2 \left( 1 - \frac{{}^p Y {}^p t}{m_Y m_t \frac{th({}^m \kappa)}{m_\kappa} + {}^p Y {}^p t \frac{tg({}^p \kappa)}{p_\kappa}} \frac{tg(\kappa) tg({}^p \kappa)}{\kappa p_\kappa} \right),$$

$$K_p^2 = \frac{{}^p Y (d_{xx,z})^2}{\varepsilon_{xx}} \quad - \text{квадрат коэффициента электромеханической связи; } {}^m \kappa = {}^m \rho^m t \text{ и } {}^p \kappa = {}^p \rho^p t$$

– безразмерные переменные;  ${}^m \chi^2 = 2(1+\nu)(k^2 - \frac{\omega^2}{{}^m V_L^2})$ ,  ${}^p \chi^2 = -2(1+\nu)(k^2 - \frac{\omega^2}{{}^p V_L^2})$  – переменные,

определяющие неоднородность смещения среды вдоль оси Z;  ${}^m V_L = \sqrt{{}^m Y / {}^m \rho}$ ,  ${}^p V_L = \sqrt{{}^p Y / {}^p \rho}$  – скорости продольных звуковых волн;  $n$  – коэффициент Пуассона, который предполагается одинаковым для магнитоэлектрической и пьезоэлектрической фаз;  $\kappa = kL/2$  – безразмерный параметр;  $k$  – волновое число. Дисперсионное соотношение, связывающее волновое число с угловой частотой, определяется исходя из условия совместности решения системы уравнений (1)-(5) и определяется выражением

$${}^m \chi^m Y \operatorname{tg}({}^m \kappa) = {}^p \chi^p Y \operatorname{th}({}^p \kappa) \quad (9)$$

Уравнение (9) для тонких слоев значительно упрощается и переходит в выражение:

$$k = \sqrt{\frac{{}^m \rho^m t + {}^p \rho^p t}{{}^m Y^m t + {}^p Y^p t}} \omega \quad (10)$$

Уравнение (8) описывает частотную зависимость МЭ-эффекта, которая определяется через зависимость волнового числа от частоты. Как следует из уравнения (8), на так называемых частотах антирезонанса, когда выполняется условие  $\Delta\alpha = 0$ , наблюдается пиковое увеличение эффекта. Следует отметить, что частоты антирезонанса находятся вблизи частот резонанса, которые определяются условием  $\kappa = (p/2)(2n - 1)$  или  $L = (l/2)(2n - 1)$ , где  $l$  – длина волны акустических колебаний,  $n = 1, 2, \dots$  – целое число. Тогда с учетом (10) частота первого или основного резонанса будет наблюдаться вблизи частоты, определяемой условием

$$f_{res} = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{{}^m Y^m t + {}^p Y^p t}{{}^m \rho^m t + {}^p \rho^p t}} \quad (11)$$

Безусловно, указанная динамика (МЭ-эффекта) обязательно должна контролироваться результатами мониторинга.

Как и следует, рациональный подход к решению проблем своевременного предупреждения разрушений выявленных внешними наблюдениями неопределенных участков поверхностных породных массивов, в отличие от эмпирического, позволяет эффективно мониторить развитие во времени деструктивной энергии безвозвратной деформации конкретных участков потенциального сдвижения поверхностных породных массивов, что обеспечивает своевременное предупреждение времени их разрушения в районах масштабного производства открытой разработки железистых кварцитов в зонах влияния подземных горных работ.

### **Выводы**

1. Горные работы в Кривбассе ведутся как открытым, так и подземным способом в течение более 130 лет практически одновременно на одном месторождении.

2. В настоящее время отработка залежей железных руд Кривбасса ведется в условиях как совместных открытых и подземных горных работ, так и в условиях отработки открытым способом в зонах, подработанных подземными горными работами.

3. Процесс сдвижения подработанных шахтами толщ не завершен – фронты работ карьеров наступают на зоны еще не вышедших на контуры карьеров воронок, террас и трещин, мульды сдвижения продолжают развиваться.

4. Открытые горные работы ведутся в зоне влияния подземных, подземные горные работы

ведутся в зоне влияния открытых.

5. В Криворожском железорудном бассейне, странах ближнего и дальнего зарубежья, где на протяжении многих десятилетий проводятся интенсивные горные работы происходит существенное антропогенное нарушение природного геологического установившегося геостатического давления в породах, как осадочного чехла, так и кристаллического фундамента.

6. Антропогенное влияние на окружающую среду не может оставаться без последствий, в том числе и отрицательных, включая как ландшафтные, так и особенно социальные безвозвратные потери.

7. На антропогенное нарушение геологической среды общество реагирует с большим запозданием, когда не реагировать становится совсем невозможным как для органов власти, так и существующих научно-технических структур.

8. Вопросам научного анализа процесса накопления деструктивной энергии безвозвратной деформации локальных участков потенциальных нарушений породного осадочного чехла и кристаллического фундамента породного массива определенных участков и территорий Кривбасса уделяет внимание как НИГРИ ГВУЗ «КНУ», так и другие научно-технические организации Кривбасса и Украины.

9. Существующий эмпирический уровень знаний относительно генезиса и развития во времени очагов потенциального сдвижения осадочного чехла и кристаллического фундамента породного массива существенно тормозит как состояние развития геофизических методов наблюдений динамики состояния вышеупомянутых объектов, так и, особенно, прогнозирование процессов потенциального сдвижения.

10. Применяемый в настоящее время метод исследований геодинимического состояния породного массива, именуемый, как метод регистрации параметров естественного импульсного электромагнитного поля Земли (ЕИЭМПЗ) во многом имеет эмпирическую основу, что ограничивает масштабы его использования, а сам метод имеет целый ряд определенных недостатков.

11. НИГРИ ГВУЗ «КНУ» обоснована возможность применения магнитоэлектрического эффекта для аппаратного обеспечения геофизической информационной системы предупреждения и мониторинга невозвратной деформации дневной поверхности в районах масштабного производства открытой разработки железистых кварцитов в зонах влияния подземных работ.

#### Список литературы

1. Полищук А.К. Открытая повторная разработка железорудных месторождений /А.К. Полищук.- К.:Вища школа, 1978.-192 с.
2. Ботанцев И.В. Технологические аспекты повторной разработки крутопадающих месторождений открытым способом //Сб.научн. трудов ИППЭ «Экология и природопользование».-Днепропетровск, 2008.-Выпуск 11.-С.26-30.
3. Шапарь А.Г., Ботанцев И.В., Романенко В.Н. Повторная разработка природно-богатых потерянных и разубоженных руд в Кривбассе открытым способом //Горный информационно-аналитический бюллетень.-МГТУ-М.-2008.-№2.-С.239-244.
4. Барон Л.И. О повторной разработке рудных месторождений /Научные сообщения, вып. VII.- М.: Гостехиздат, 1961.-30 с.
5. Кузнецов И.А., Акимов А.Г., Кузьмин В.И. и др. Сдвижение горных пород и земной поверхности на рудных месторождениях. М: Недра, -1971.-224с.
6. Коган И.Ш. Самоорганизация горной породы вокруг неоднородностей. Издательство ЮжКаз ЦНТИ, 1985г.
7. Бахов Н.И. Явление электризации горных пород при механическом нагружении. Институт геофизики НАН Украины. -Киев, Украина, 2006г.
8. Довбнич М.М., Белых И.С., Кузина Г.И., Стовас Г.С. Некоторые аспекты применения метода наблюдения естественного импульсного электромагнитного поля земли (ЕИЭМПЗ) для решения геологических, инженерно-геологических и гидрогеологических задач. ДО УкрГГРИ – г.Днепропетровск, Украина, 2006г.



9. Туманов В.В., Компанец А.И., Сухина Е.В., Савченко А.В. Исследование аномальных зон подработанного массива горных пород комплексом наземных геофизических методов. //Научные труды УкрНИМИ НАНУ, №3, 2008 г., с. 61-79.

10. Словник іншомовних слів. За редакцією члена-корреспондента АН УРСР О.С.Мельничука. – Головна редакція АН УССР. – Київ, 1974. – 776 с.

11. Барьехтар. Магнетизм, что это? – Киев: Наукова думка, 1981. – 208 с.

12. Сена Л.А. Единицы физических величин и их размерности. – М.: Наука, 1977. – 336 с.

13. Филиппов А.Т. Многоликий солитон. – М.: Наука, 1990. – 288 с.

14. Веневцев Ю.Н., Гагулин В.В., Любимов В.Н. Сегнетомагнетики. – М.: Наука, 1982. – 224 с.

15. Белов К.П. Магнитострикционные явления и их технические приложения. – М.: Наука, 1987. – 160 с.

## **ОПЫТ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ДЕФОРМАЦИИ ОТВАЛА И БОРТА КАРЬЕРА МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

*Е.К. Бабец, А.А. Сова, А.В. Сазонов, М.И. Русаков, Научно-исследовательский горнорудный институт ГВУЗ «Криворожский национальный университет», Украина*

Геомеханическое обоснование возможности размещения отвала пустых пород вблизи юго-западного борта Глееватского карьера ПАО «ЦГОК». Было выполнено моделирование методом конечных элементов, уточнены параметры процесса сдвижения подработанного участка земной поверхности. Проведено геологическое описание залежи «Северная Червонная» Для определения устойчивости отвала и борта карьера был выполнен расчет минимального коэффициента запаса устойчивости.

Значительный объем отходов производства (выход товарной продукции, от добываемых объемов руды на ГОКах, равен 40-42%) и большие коэффициенты вскрыши (значительные объемы пустых пород при добыче руды) приводит к дефициту земельных ресурсов для их складирования, и значительным затратам на складирование. Кроме этого, возникает целый комплекс проблемных экологических вопросов (выбросы вредных веществ, нарушение водного режима вблизи отвалов и хвостохранилищ, возрастание вероятности техногенных катастроф). Поэтому вопрос использования участков земной поверхности, подработанных подземными горными работами, для размещения на них отвалов пустых пород является весьма актуальным.

В Кривбассе накоплен значительный опыт использования подработанных площадей. В настоящее время часть подработанных площадей земной поверхности используются под отвалы, карьеры, коммуникации, огороды дачи и т. п.

Для прогноза деформаций вблизи отвала, основания отвала и юго-западного борта карьера № 1 ПАО "ЦГОК" было выполнено моделирование методом конечных элементов (МКЭ, FEM). Данный метод начал применяться в 60-70 годах прошлого века в связи развитием ЭВМ. "Основная концепция МКЭ состоит в том, что искомую непрерывную величину, будь то напор фильтрационного потока или перемещения точек деформированного тела, аппроксимируют кусочным набором простейших функций, заданных ограниченными конечными подобластями (элементами). С помощью такой процедуры интегрирование дифференциальных уравнений аналитической постановки задачи сводится к решению системы линейных уравнений. В настоящее время существует значительное количество программных комплексов позволяющих решать значительный круг задач по определению деформаций, фильтрации, теплопереносу и разрушений.

Размещение отвала пустых пород вблизи юго-западного борта Глееватского карьера ПАО "ЦГОК" в осях 410-260 (0-130 ос. ш. "Большевик") и между базисами I+125...I+1025 (ЛСП +1300...+2110 ш. "Большевик") позволяет не только экономить земельные ресурсы, но и