

A - 474

На правах рукописи

Алексеевская Галина Викторовна

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОБНАРУЖЕНИЯ ЗОН  
КОНЦЕНТРАЦИИ МЕХАНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ В МАССИВЕ ПО  
ЭЛЕКТРОМЕТРИЧЕСКИМ ИЗМЕРЕНИЯМ С ДНЕВНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Специальность 05.15.11 - "Физические процессы горного  
производства"

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Кемерово - 1995

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Важнейшей задачей при интенсивной эксплуатации угольных месторождений является оперативный прогноз и контроль напряженного состояния горных пород, поскольку с увеличением глубины разработки месторождений полезного ископаемого резко увеличивается интенсивность проявлений горного давления в очистных и подготовительных выработках, снижающих безопасность ведения горных работ. Возросшая за последнее десятилетие сейсмическая активность юга Куабасса также создает в массиве горных пород области повышенной концентрации механических напряжений. Все это в сочетании обуславливает повышение и многообразие форм проявления горного давления, в частности, горных ударов.

При современных масштабах разработки месторождений непрерывный контроль напряженного состояния массива является необходимым условием успешного ведения очистных работ. Обнаружение аномальных участков повышенной концентрации механических напряжений представляет подготовительный этап в решении задачи создания методов непрерывного контроля, обеспечивающих своевременный прогноз состояния массива и необходимость проведения профилактических мероприятий во избежание последствий горных ударов.

Существующие в настоящее время методы обнаружения зон концентрации механических напряжений с дневной поверхности (дистанционные, по снимкам из космоса, геодезические, по смещениям наблюдательных станций, и другие) имеют разрешающую способность от нескольких десятков до нескольких сотен метров. Более детальные исследования этих зон проводят с привлечением геофизических данных. Эти методы лишь косвенно используются для решения задач прогноза и контроля опасных проявлений горного давления, к тому же недостаточное применение геофизических методов при ведении геологоразведочных работ обуславливает низкую достоверность последних. Метод потенциала естественного электрического поля позволяет определять указанные зоны с точностью до нескольких метров.

Поэтому необходим комплексный подход к решению задачи исследования поведения массива горных пород, включающий дистанционные методы, геодезические и геофизические. Таким образом, разработка метода обнаружения зон концентрации механических напряжений в мас-

сиве является актуальной задачей.

Цель работы - разработка метода обнаружения зон концентрации механических напряжений в массиве на основе измерения величины потенциала электрического поля на поверхности в потенциально опасных зонах.

Идея работы заключается в использовании явления возникновения в зоне концентрации механических напряжений электрического заряда, который генерируется процессами трещинообразования и фиксируется на поверхности путем измерения потенциала электрического поля.

Задачи исследований:

- разработать и обосновать физическую модель распределения потенциала электрического поля на поверхности, величина которого обусловлена эффективным зарядом в зоне концентрации механических напряжений и провести исследование модели на ЭВМ;
- разработать метод выявления зон концентрации механических напряжений в массиве по построенной картине распределения потенциала электрического поля на дневной поверхности;
- осуществить проверку разработанного метода в натуральных условиях при отработке шахтного поля.

Методы исследований:

- обобщение и анализ работ по обнаружению потенциальных очагов горных ударов;
- моделирование на ЭВМ распределения потенциала электрического поля на поверхности, разделяющей две диэлектрически разные среды, над зоной концентрации механических напряжений;
- аналитическое определение зон аномалий потенциала электрического поля с использованием карт разрывных структур, дешифрованных при аэро- и космфотосъемке;
- шахтные и наземные исследования параметров напряженного состояния массива методом потенциала естественного электрического поля.

Научные положения, представляемые к защите:

- концентрация механических напряжений в массиве создает на дневной поверхности распределение потенциала электрического поля за счет образования в зоне концентрации напряжений электрического заряда, возникающего в результате процесса трещинообразования;
- получение картины распределения потенциала электрического

поля по измеренным с дневной поверхности значениям позволяет определять положение, форму и другие характеристики зоны концентрации механических напряжений.

Научная новизна заключается в том, что

- впервые разработана и обоснована физическая модель распределения потенциала электрического поля источника в двухслойной среде, отличающаяся тем, что источник представляет зону концентрации механических напряжений, где идет интенсивный процесс трещинообразования, сопровождающийся электризацией;

- в установлении характера распределения потенциала электрического поля над зонами концентраций напряжений различной формы.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается

- использованием современных представлений о процессах, протекающих в массиве горных пород при подготовке и отработке угольных пластов;

- использованием при измерениях с дневной поверхности методик, опробованных в подземных условиях с помощью стандартной аппаратуры;

- использованием известных статистических методов обработки результатов эксперимента;

- качественным совпадением моделируемого распределения потенциала электрического поля на поверхности над заряженной областью с практическими наблюдениями.

Значение работы. Научное значение работы заключается в установлении закономерностей распределения потенциала электрического поля на поверхности над зоной концентрации механических напряжений, что позволило разработать метод обнаружения этих зон на стадии подготовки и отработки угольных пластов.

Практическое значение работы заключается в том, что разработанный и опробованный в натуральных условиях метод обнаружения зон концентрации механических напряжений позволяет на основе измерений потенциала электрического поля на дневной поверхности определять места потенциальных очагов динамических явлений в массиве, а также тектонических нарушений, "живущих" разломов в земной коре.

Реализация выводов и рекомендаций работы. Полученные результаты использованы при составлении "Методических указаний для оцен-

ки напряженного состояния массивов в окрестности горных выработок с дневной поверхности методом потенциала естественного электрического поля": используются при чтении курса "Управление состоянием массива горных пород".

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы обсуждались на Областной научно-практической конференции молодых ученых Кузбасса (Кемерово, 5-6 июня 1990 г.), на семинарах кафедры РМПИ КузГТУ, НТС шахт "Распадская" (г.Междуреченск), "Комсомолец", "Польсаевская" (г.Ленинск-Кузнецкий).

Публикации. По результатам выполненных исследований опубликовано 8 печатных работ:

Объем и структура работы. Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав и заключения, изложенных на 117 страницах машинописного текста, содержат 37 рисунков, 4 таблицы, список литературных источников из 135 наименований и 6 приложений.

#### ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Недостаточная изученность процесса формирования очага динамического явления требует надежного контроля за напряженно-деформированным состоянием горного массива. Ряд методов, связанных с бурением скважин, позволяет изучить этот процесс, но такие исследования связаны с большими трудозатратами и способствуют инициированию динамических явлений. В связи с этим перспективным считается развитие бесконтактных методов, в частности электрометрических, основанных на изменении электрических свойств горных пород в зависимости от давления.

Существуют методы, позволяющие следить за смещениями кровли и почвы в горных выработках и смещениями дневной поверхности, в том числе и по фотоснимкам, произведенным с самолетов или спутников, что позволяет решать вопросы региональной геотектоники. В комплексе эти методы дают более полное представление о напряженно-деформированном состоянии массива, поскольку использование отдельного метода предполагает некоторую погрешность.

Существенный вклад в разработку идей формирования очага динамического явления внесли М.А.Садовский (ИФЗ им.О.Ю.Шмидта РАН), С.Н.Журков, В.С.Куксенко, В.А.Петров (ЛФТИ им.А.Ф.Иоффе РАН), И.М.Петухов (ВНИИМ), М.В.Курленя, Е.И.Шемякин (ИГД СО РАН),

Б.Г.Тарасов, П.В.Егоров, И.Т.Айтматов и другие.

Разработанный метод естественного электрического поля использовался в основном для поиска и разведки месторождений полезных ископаемых, а также для исследования напряженного состояния массива горных пород в подземных условиях.

Целью настоящей диссертационной работы является разработка метода обнаружения зон концентрации механических напряжений в массиве на основе измерения величины потенциала электрического поля на поверхности в потенциально опасных районах.

Общей закономерностью разрушения различных по физическим свойствам объектов, в том числе горных пород, под нагрузкой является зарождение микротрещин с последующим переходом к макроразрыву. То есть начальные микротрещины при достижении пороговых концентраций укрупняются и процесс завершается формированием так называемого очага динамического явления и лавинообразным распространением магистральной трещины со скоростью, близкой к скорости распространения упругих волн. Процесс трещинообразования в горных породах происходит параллельно на всех масштабных уровнях. Это фиксируется инструментально в лабораторных условиях как накопление импульсов электромагнитного излучения при нагружении образцов в широком диапазоне частот: от 10 до  $10^7$  Гц. Из того, что природа разрушения одинакова как для образцов в лабораторных условиях, так и самого массива в естественных условиях, следует, что при накоплении микротрещин в некотором объеме массива горных пород возникает квазистационарное электрическое поле. Измерение потенциала этого поля может служить предвестником динамического явления.

Аномалии электрического поля перед горными ударами в подземных условиях регистрировались в угольных пластах и рудных массивах (Тарасов Б.Г., Дырдин В.В., Иванов В.В.). Исследования аномалий электрического поля на земной поверхности, обусловленных развитием фронта очистных работ на глубинах до 300 м, свидетельствуют о том, что при вовлечении осадочных пород в процесс сдвижения аномалии электрического поля достигают сотен милливольт. Причем экстремум потенциала впереди фронта горных работ перемещается в направлении отработки полезного ископаемого. Вызваны аномалии потенциала аномалиями геомеханического состояния массива горных пород.

Очагом горного удара, или очаговой зоной, считают участок

массива, соответствующий положению центра горного удара, то есть такого участка, с которого началось развитие динамического процесса. Тогда при определении потенциала электрического поля, обусловленного местными концентрациями механических напряжений в зоне, воспользуемся системой уравнений Максвелла, которая в случае стационарного поля сводится к уравнению Лапласа.

В рассматриваемом случае решается задача определения электрического поля вокруг равномерно заряженного эллипсоида вращения, представляющего зону концентрации напряжений. Эллипсоид расположен в пространстве, разделенном плоскостью, отстоящей от центра эллипсоида на расстоянии  $Y = H$ , с диэлектрической постоянной  $\epsilon_1$  в нижнем полупространстве и  $\epsilon_2$  в верхнем. Полагая, что заряд равномерно распределен по объему эллипсоида, объемная плотность заряда вне эллипсоида  $\rho = 0$ . Тогда краевая задача определения электростатического поля вне эллипсоида запишется:

$$\Delta \varphi_1 = 0 \text{ при } Y < H,$$

$$\Delta \varphi_2 = 0 \text{ при } Y > H,$$

$$\varphi_1|_{Y=H} = \varphi_2|_{Y=H}, \quad (1)$$

$$\epsilon_1 \frac{\partial \varphi_1}{\partial Y}|_{Y=H} = \epsilon_2 \frac{\partial \varphi_2}{\partial Y}|_{Y=H},$$

где  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$  потенциалы в нижнем  $Y < H$  и в верхнем  $Y > H$  полупространствах.

Используя решение для точечного заряда (Тамм И.Е.) и проинтегрировав его по объему эллипсоида (Муратов Р.З.), получим для нижнего полупространства:

$$\varphi_1 = \frac{\rho}{2\epsilon_1} \left\{ M_{000}(\xi) - M_{100}(\xi)x^2 - M_{010}(\xi)y^2 - M_{001}(\xi)z^2 + \right. \\ \left. K [M_{000}^*(\eta) - M_{100}^*(\eta)x^2 - M_{010}^*(\eta)(y-2H)^2 - M_{001}^*(\eta)z^2] \right\} \quad (2)$$

$$\text{где } M_{lmn}(\xi) = (2l-1)!!(2m-1)!!(2n-1)!! \frac{abc}{2} \int_{\xi}^{\infty} \frac{du}{Q(u)(a^2+u)^l(b^2+u)^m(c^2+u)^n}$$

внешние потенциальные факторы,  $l, m, n$  принимают значения от 1 до 3,  $K = (\epsilon_1 - \epsilon_2)/(\epsilon_1 + \epsilon_2)$ ,  $\xi > 0$ ,  $\eta > 0$  - эллипсоидальные координаты

точки относительно эллипсоида, расположенного в нижнем подпространстве и ему симметричного в верхнем соответственно,  $Q^2(u) = (a^2 + u)(b^2 + u)(c^2 + u)$ .  $a, b, c$  - полуоси эллипсоида по координатным осям  $X, Y, Z$ . Расчеты были проведены для эллипсоида вращения  $b = c$ .

Задача решалась с использованием ЭВМ ЕС-1022. Программа составлена на языке ФОРТРАН в безразмерных координатах  $\bar{X} = X/a$ ,  $\bar{Y} = Y/a$ ,  $\bar{Z} = Z/a$ . Время счета программы составляет не более 5 минут чистого времени.

На рис.1 представлены полученные расчетные значения безразмерного потенциала  $\bar{\varphi} = \varphi / (a^2 \rho / 2\epsilon_0)$  в сечениях по  $\bar{X} = 1, 2, 3, 4$  в зависимости от расстояния до оси  $\bar{Z}$ . В плоскости  $\bar{X}\bar{O}\bar{Z}$  получены изолинии потенциала (концентрические эллипсы) с увеличением расстояния от центра:  $\bar{\varphi} = 0.7, 0.6, 0.4, 0.3, 0.2$  при  $a = 4$ ,  $e = 0.96$ ,  $N = 4$ , где  $e$  - эксцентриситет эллипсоида. С увеличением глубины расположения эллипсоида  $\bar{N} = N/a$  максимум потенциала уменьшается.

Программа предусматривает модификации. Так например, заряженную область можно представить серией эллипсоидов, касающихся в крайних точках друг друга. Такие варианты модельной задачи при конкретных значениях размеров эллипсоидов, глубины расположения от поверхности, их объемной плотности заряда и угла между большими полуосями могут быть использованы для получения оценки напряженного состояния в окрестностях сопряжений двух выработок, примыкания выработки к разлому и самого разлома.

Для подтверждения теоретических положений и отработки методических вопросов были проведены натурные измерения в выработках шахт "Польсаевская" и "Комсомолец" ПО Ленинскуголь. Поскольку методы измерений параметров электрического поля в шахтных условиях достаточно апробированы на практике и в аппаратурном и методическом плане хорошо обеспечены. И с поверхности шахты "Распадская" вблизи зоны концентрации механических напряжений.

На шахте "Польсаевская" измерения проводились при отработке пласта Надбайкаимского, отнесенного к шахтопластам с тяжелой кровлей, склонного к горным ударам. В момент проведения измерений осуществлялся разворот механизированного комплекса от  $60^\circ$  до  $180^\circ$  при переходе его из лавы 11-112 в лаву 11-113 в течение двух месяцев.

Перед началом измерений из конвейерного штрека 11-113 в пласт на глубину 5 м были пробурены скважины (рис.2а), в которые уста-

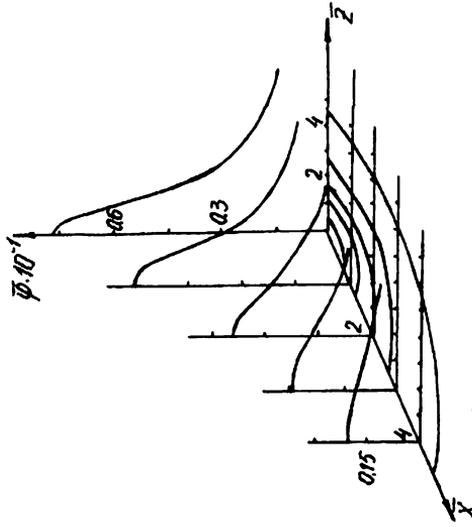
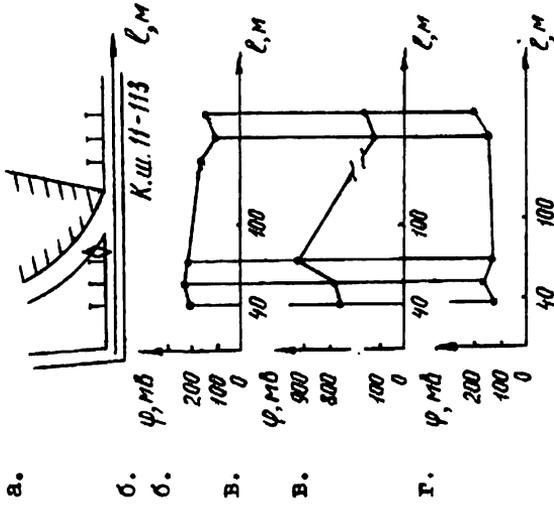


Рис. 1. Значения потенциала  $\varphi$  в сечениях по  $\bar{X}$



а.  
б.  
в.  
г.

Рис. 2. Схема расположения скважин (а) и результаты измерений потенциала с поверхности конвейерного штреха в ох-ранном целике: б - после микроудара, в - после подвигания забоя на 2 м, г - после подвигания забоя на 5 м

новлены датчики. Датчики представляют собой медные неполяризующиеся электроды в скажинном исполнении конструкции КузГТУ. Собственно электроды состоят из эластичного пористого сосуда, заполненного электролитом, в котором помещается медный стержень, соединяемый с входной клеммой прибора. Передняя и задняя стенки совместно с брезентовой трубкой образуют корпус электрода. Поролоновая оболочка, пропитываемая раствором электролита, обеспечивает электрический контакт с поверхностью измеряемого объекта.

Величина потенциала определялась относительно потенциала нетронутого массива с помощью комбинированного милливольтмикроамперметра МК-3, разработанного КузГТУ. Прибор имеет искробезопасное исполнение и может применяться в шахтах, опасных по взрывам газа и пыли. Одновременно с измерением потенциала проводились визуальные наблюдения за состоянием массива в призабойном пространстве лавы. На рис. 26, в, г представлены графики изменения потенциала электрического поля на участке, ограниченном дугой разворота, конвейерным штреком и уклоном. График рис. 26 соответствует положению линии очистного забоя в момент, когда угол разворота составил  $167^\circ$ , рис. 2в -  $169^\circ$ , рис. 2г -  $174^\circ$ . При выходе линии забоя из разворота в момент, когда линия очистного забоя совпала с направлением трещин кливажа, в конвейерном штреке в 15 м от его сопряжения с дугой разворота произошло обрушение кровли. Размеры купола составили  $3 \times 2 \times 1.5$  м, при этом было сломано несколько верхняков и нарушена перетяжка кровли. При подвигании забоя на 3 м датчиками, расположенными в охранном целике в 20, 25, 30 м от линии очистного забоя, зафиксированы значения потенциала, превышающие значения потенциала датчиков впереди очистного забоя на 100 мВ (рис. 2б). Дальнейшее подвигание лавы на 2 м вызвало резкое увеличение концентрации напряжений (рис. 2в), но профилактические мероприятия по укреплению сопряжения выработок позволили предупредить опасные проявления горного давления. В последующем, при подвигании очистного забоя на 3 м значения потенциала в охранном целике снизились практически до первоначального уровня.

При измерениях с дневной поверхности на шахте "Распадская" была обнаружена зона повышенной концентрации механических напряжений. Последовательность исследований включала следующие этапы. Изучив карты, полученные при дешифрировании аэро- и космофотосним-

ков, был выбран сложный участок с нарушениями и разломом, где намечалось производство горных работ. На этом участке был применен метод потенциала естественного электрического поля в момент, когда отработка лавы еще не начиналась и в соседних лавах работы не производились (рис.3а) и когда лава отошла от разрезной печи на расстояние 170 м (рис.3б). Измерения производились прибором ЦИИАС-КП-3, модификации существующих приборов КП-3 и МК-3.

При измерениях по методу потенциала электрического поля шаг профилирования от начальной точки выбран равным 50 м, измерительные датчики устанавливались в верхний слой почвы на глубину 0.1-0.2 м. По полученным значениям потенциала электрического поля построены изолинии, на карту изолиний нанесено выработанное пространство соседних лав, нарушения, встретившиеся при проходке, и разрыв, перенесенный с аэрофотоснимков. На рис.3а видно, что изолинии потенциалов расположены как вдоль границ выработанного пространства, так и вдоль разломов. При следующих измерениях изменившееся напряженное состояние пород отразилось на значениях потенциала на поверхности (рис.3б).

Как видно из рисунков, изолинии потенциала впереди очистного забоя близки по форме к замкнутым, плотность изолиний возросла, из чего можно судить об образовании зоны концентраций механических напряжений в массиве горных пород. При совмещении этого участка с планом горных работ обнаружено, что место сгущения совпадает с опасной зоной, возникающей при подходе линии очистного забоя к сопряжению выработок. К тому же на этом участке отработки лавы происходит наложение зоны влияния нарушения, что отражает неправильная форма изолиний. То есть действительно, опасная в динамическом отношении ситуация, возникающая при отработке угольного пласта, проявляется на поверхности возросшим значением потенциала электрического поля.

Для получения сравнительных оценок расчетного и измеренного потенциалов необходимо учитывать ослабляющие электрическое поле источника факторы.

Первый - это породный слой, обладающий значительно большей проводимостью по сравнению с нижележащими коренными породами.

$$K_{\text{осл}} = \frac{2\rho_2}{\rho_2 + \rho_1} (z_1 + h) \int_0^1 \frac{u \frac{z_1 - h}{2}}{1 + K_1 u} du, \quad (3)$$

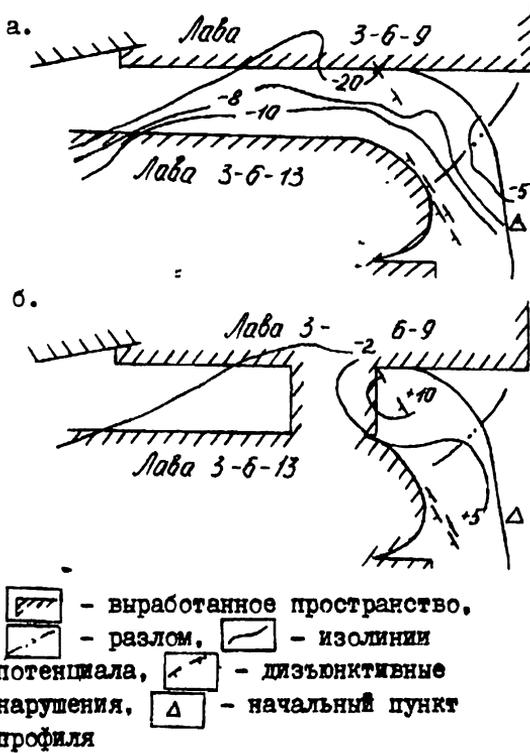


Рис. 3. Карта изолиний потенциала электрического поля, построенная (а) - по первым, (б) - по вторым измерениям с дневной поверхности

где  $\rho_1, \rho_2$  - электрические сопротивления слоя, в котором находится источник, и породного слоя;  $Z_1$  - расстояние от источника до породного слоя;  $h$  - глубина породного слоя;  $K_1 = (\rho_2 - \rho_1) / (\rho_2 + \rho_1)$ . При расстояниях от источника до породного слоя, превосходящих глубину породного слоя в 20 и более раз, потенциал электрического поля, измеренный с дневной поверхности, ослабляется почти в два раза, при условии, что удельное сопротивление горных пород более, чем в 40 раз превышает удельное сопротивление породного слоя.

И второй фактор, ослабляющий поле источника, - наличие в горных породах и минералах влаги. В этом случае коэффициент ослабления, зависящий в отдельных случаях от пористости породы, влажности, удельного веса и проводимости электролита и минерального скелета, принимает значения  $K_{осл} = 0.3-0.004$ .

Сравнение потенциалов, полученных из расчетов по описанной модели с учетом всех ослабляющих факторов и измеренных, не превосходит 10% для условий шахты "Распадской".

На основании проведенных теоретических и экспериментальных исследований разработана методика обнаружения зон концентрации механических напряжений, заключающаяся в следующем. По изученным картам и данным наблюдений за смещениями геодезических пунктов выбираются наиболее опасные в динамическом отношении места, где намечается производство горных работ. По способу градиента потенциала электрического поля обнаруживают на дневной поверхности место локализации механических напряжений на глубине (например зону повышенного горного давления или нарушения). При приближении горных работ к этим участкам механические напряжения в массиве резко возрастают, соответственно возрастает и потенциал электрического поля, фиксируемый инструментально при проведении дополнительных измерений по способу потенциала. По форме построенных изолиний потенциала определяют причину возникновения аномальной зоны. Наблюдения за этой зоной повторяют с определенной периодичностью. По увеличившейся плотности изолиний потенциала судят об изменении напряженного состояния исследуемого участка массива горных пород. Если значения потенциала электрического поля возрастают на порядок, то в массиве идет начальный процесс - формирование очага динамического явления.

Разработанная методика опробована на шахте "Распадская" и ее основные положения использованы при составлении "Методических указаний для оценки напряженного состояния массивов в окрестности горных выработок с дневной поверхностью".

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе изложено новое решение актуальной научной задачи: разработан метод обнаружения зон концентрации механических напряжений в массиве по изолиниям потенциала электрического поля на дневной поверхности. Данный метод позволяет определять положение потенциальных очагов динамических явлений в массиве, что имеет важное практическое значение для повышения безопасности ведения горных работ, а также для развития методов исследования процессов горного производства.

Выполненные исследования позволяют сделать следующие выводы.

1. Разработана, обоснована и реализована на ЭВМ модель распределения потенциала электрического поля, величина которого обусловлена эффективным зарядом в зоне концентрации механических напряжений. Зона концентрации в модели представлена в виде одного или серии заряженных эллипсоидов вращения. Модель позволяет при конкретных значениях размеров эллипсоидов, расстоянии от них до плоскости, объемной плотности заряда эллипсоидов и угла между большими полуосями определять распределение потенциалов на дневной поверхности над уалами сопряжений двух выработок, над участками примыкания выработки к разлому и над самим разломом.

2. Разработана методика выявления аномальных зон концентраций механических напряжений, заключающаяся в определении потенциально опасного в динамическом отношении участка по картам, полученным при дешифрировании аэро- и космофотоснимков, а также данным наблюдений за смещениями геодезических пунктов. Проведя измерения потенциала электрического поля с дневной поверхности, построив изолинии, проанализировав полученную картину, судят об образовании зоны концентрации механических напряжений, на основании увеличившейся плотности изолиний.

3. Результаты выполненных автором исследований положены в основу "Методических указаний для оценки напряженного состояния массивов в окрестности горных выработок с дневной поверхности методом

потенциала естественного электрического поля".

Основные положения диссертации опубликованы в работах:

1. Квон С.С., Алексеевская Г.В. Результаты инструментальных наблюдений за проявлениями горного давления в зоне влияния целика смежного пласта // Оптимизация технологии выемки полезных ископаемых: Сб. науч. тр. - Караганда, 1988. - С. 44-46.

2. Алексеевская Г.В., Зюзин А.И. Изучение динамики осадок пород основной кровли в условиях отработки лавы 1837 пласта Толмачевского // Тез. докл. областной научно-практической конференции 5 - 6 июня 1990 г. Молодые ученые Кузбасса - народному хозяйству. - Кемерово, 1990. - С. 45.

3. Алексеевская Г.В., Зюзин А.И. Оценка проявлений горного давления на пласте Толмачевском // Совершенствование подаемной разработки месторождений: Сб. науч. тр. / Кузбас. политехн. ин-т. - Кемерово, 1990. - С. 165-168.

4. Алексеевская Г.В. Влияние разрывных структур на распределение потенциала естественного квазистационарного электрического поля // Совершенствование технологии отработки угольных месторождений Кузбасса: Сб. науч. тр. 1 / Ассоциация "Кузбассуглетехнология". - Кемерово, -1991. - С. 149-151.

5. Алексеевская Г.В. Использование метода потенциала ЕСЭП для определения расположения разрывных структур на геодинамическом полигоне шахты "Распадская" // Вопросы безопасности разработки угольных месторождений Кузбасса: Сб. науч. тр. 4 / Ассоциация "Кузбассуглетехнология". - Кемерово, 1991. - С. 27-29.

6. Иванов В.В., Алексеевская Г.В. Аномалии квазистационарного электрического поля на земной поверхности, обусловленные зоной повышенных тектонических напряжений // Совершенствование технологических процессов при подземной разработке месторождений: Сб. науч. тр. / Кузбас. политехн. ин-т. - Кемерово, 1992. - С. 110-117.

7. Алексеевская Г.В., Шиканов А.И. Обнаружение зон повышенных концентраций механических напряжений в горных породах по аномалиям потенциала геоэлектрического поля // Геомеханические основы подземной разработки полезных ископаемых: Сб. науч. тр. / Кузбас. политехн. ин-т. - Кемерово, 1993. - С. 19-25.

8. Алексеевская Г.В. Результаты моделирования распределения

потенциала электрического поля при меняющихся параметрах заряженной области // Геомеханические основы подаежной разработки полезных ископаемых: Сб. науч. тр./ Кузбас. политехн. ин-т. - Кемерово, 1993. - С. 58-62.

*Левин*