

6
А-64
МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР
ПЕРМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

Аспирант А. С. Дальнов

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНИМОСТИ И
ОБОСНОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМЕТРИЧЕСКОГО
МЕТОДА ЭФФЕКТИВНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ
ДЛЯ ПРОГНОЗА ГОРНЫХ УДАРОВ
(На примере Шурабского бурогольного
месторождения)**

Диссертация напечатана на русском языке

*Специальность № 0,5.311 Подземная разработка и
эксплуатация угольных, рудных и нерудных месторождений*

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Пермь
1972

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР
ПЕРМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ**

На правах рукописи

Аспирант А. С. Дальнов

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНИМОСТИ И
ОБОСНОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМЕТРИЧЕСКОГО
МЕТОДА ЭФФЕКТИВНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ
ДЛЯ ПРОГНОЗА ГОРНЫХ УДАРОВ
(На примере Шурабского бурогольного
месторождения)**

Диссертация напечатана на русском языке

*Специальность № 0,5.311 Подземная разработка и
эксплуатация угольных, рудных и нерудных месторождений*

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Пермь

Центральная научная библиотека

мощью давящей установки ВНИМИ. Исследовалось изменение электрического сопротивления массива угля в зоне опорного давления очистных выработок.

I.

Условия, характер и механизм проявления горных ударов на мощных буроголивых пластах, залегающих в слабых, обводненных вмещающих породах, имеют существенные особенности и являются еще недостаточно изученной областью сложной проблемы борьбы с горными ударами.

К отличительным условиям Шурабского месторождения относятся: невысокая прочность угля ($50-75 \text{ кг/см}^2$), наличие слабых, обводненных пород в непосредственной кровле и почве пласта, сравнительно малая глубина возникновения горных ударов (180-250 м), — проявление горных ударов при проведении подготовительных выработок по первому слою или в толще пласта вне зоны влияния очистных работ, сравнительно небольшая разрушительная сила горных ударов, отсутствие после проявления горного удара характерной щели между углем и вмещающими породами.

Особенности пласта "В" (большая мощность II-25 м, монолитность и однородность угля, простое строение и отсутствие ясно выраженного кливажа) и характер проявления горных ударов в этих специфических условиях явились основной причиной проведения большого объема научно-исследовательских работ, позволивших обосновать и применить электрометрический метод эффективного сопротивления для прогноза степени удароопасности участков пласта "В".

Необходимость этих исследований определялась еще и тем, что методы прогноза степени удароопасности, основанные на регистрации явлений и процессов, возникающих при бурении скважин в краевую часть пласта, и широко используемые на ряде каменноугольных бассейнов страны, в условиях Шурабского месторождения не применимы из-за высокой влажности бурого угля пласта "В" (25-40%). По этому при бурении скважин не происходит характерного для каменных углей хрупкого разрушения в околоскважинном про-

странстве с возникновением сейсмоакустических импульсов, не наблюдается и повышенный выход буровой мелочи (штыба).

Вопрос о необходимости и целесообразности привлечения электрометрических методов для изучения напряженного состояния угольных удароопасных пластов был впервые поставлен во ВНИМИ, в лаборатории горных ударов, в 1959 г. Первые эксперименты и последующий опыт изучения напряженного состояния массива горных пород электрометрическими методами показали возможность использования их для решения отдельных вопросов многогранной проблемы горного давления и, в частности, прогноза горных ударов.

В связи с изложенным в диссертации были поставлены следующие задачи:

- исследовать и обосновать применимость электрометрического метода эффективного сопротивления в горных выработках для оценки степени удароопасности отдельных участков пласта "В" в условиях Шурабского буроголивого месторождения;
- исследовать характер зависимости эффективного сопротивления бурого угля пласта "В" от давления в лабораторных и шахтных условиях;
- оценить напряженное состояние отдельных участков угольных пластов с помощью подземных электрических зондирований;
- осуществить прогноз степени удароопасности участков пласта "В" в подготовительных и очистных выработках;
- оценить область применимости метода эффективного сопротивления для регионального и локального прогноза горных ударов в различных горнотехнических и геологических условиях.

Решение поставленных задач проводилось путем:

- анализа литературных источников;
- экспериментально-аналитических исследований применимости метода эффективного сопротивления в горных выработках для цели прогноза горных ударов;

- лабораторных и шахтных исследований, направленных на выяснение зависимости изменения электрического сопротивления бурого угля от давления;

- шахтных экспериментов по относительной оценке напряженного состояния пласта около подготовительных и впереди очистных выработок подземными электрическими зондированиями (ПЭЗ) и сопоставления их результатов с данными других методов;

- изучения распределения эффективного сопротивления в краевой части бурого угольного пласта "В" для осуществления прогноза степени удароопасности отдельных участков;

П.

Применение электротометрии для оценки напряженного состояния горных пород основано на изменении электрического сопротивления их от давления и проводилось с помощью метода эффективного сопротивления.

Для определения изменений электрического сопротивления горных пород в горных выработках применяется четырехэлектродная установка АМ ВВ. Электрический ток \mathcal{I} вводится в породы через питающие электроды (заземлители) А и В. Между электродами М и N измеряется разность потенциалов ΔU . Эта разность потенциалов пропорциональна току \mathcal{I} и удельному электрическому сопротивлению ρ пород, в которых расположена установка, что дает возможность по данным измерения ΔU и \mathcal{I} определять ρ . Если массив в исследуемой зоне можно считать однородно-изотропным, то его истинное сопротивление ρ определяется по измеренному на приемной линии напряжению ΔU или полю E согласно формулам:

$$\rho = K \cdot \frac{\Delta U}{\mathcal{I}}; \quad \rho = K' \cdot \frac{E}{\mathcal{I}} \quad (1)$$

где K и K' - коэффициенты рабочей установки.

В однородно-изотропном массиве напряжение ΔU или поле E не зависят от его сопротивления. Приемное напряжение

равно

$$\Delta U = \frac{\mathcal{I} \cdot \rho}{K} \quad (2)$$

а величина питающего тока (при малом сопротивлении питающего кабеля, по сравнению с сопротивлением заземления)

$$\mathcal{I} = \frac{\mathcal{E}}{\rho} \cdot \pi \cdot \alpha^* \quad (3)$$

Отсюда приемное напряжение составит

$$\Delta U = \mathcal{E} \cdot \frac{\pi \cdot \alpha^*}{K} \quad (4)$$

и, в частности, для симметричной установки

$$n \alpha \Delta U = \alpha^* \cdot \mathcal{E} \quad (5)$$

где $n = \frac{\beta^2 - 1}{2}$ - число установки;

2α - расстояние между приемными электродами;

α^* - эквивалентный радиус заземления;

\mathcal{E} - напряжение питающей батареи.

В естественных условиях исследуемый массив почти всегда является неоднородным или анизотропным, но и для этих условий можно ввести в рассмотрение понятие-эффективное сопротивление $\bar{\rho}$ массива, определяемое формулами:

$$\bar{\rho}_{\Delta U} = K \frac{\Delta U}{\mathcal{I}} \quad (6);$$

$$\bar{\rho}_E = K' \frac{E}{\mathcal{I}} \quad (7).$$

Очевидно, что при исследовании однородно-изотропного массива в любой его области эти формулы при подстановке в них измеренных ΔU и \mathcal{I} должны давать постоянную величину, соответствующую истинному электрическому сопротивлению массива.

При исследовании неоднородного массива при постоянных значениях \mathcal{I} и K или K' приемное напряжение ΔU (или E), а следовательно, $\bar{\rho}$ будут изменяться от точки к точке даже в тех областях, где истинное сопротивление остается постоянным.

Физический смысл эффективного сопротивления заключается в том, что данная электрическая неоднородность массива порождает аномальную структуру потенциального поля; характер и поведение этой структуры и описывает пространственно - переменная величина - эффективное сопротивление, независимо от величины питающего тока.

В силу непрерывности потенциальной функции $\Delta \bar{U}$ (или даже прерывности её градиента при переходе через контакты горных пород) активного стационарного поля, несмотря даже на скачкообразное изменение истинного сопротивления массива, эффективное сопротивление является всегда плавно изменяющейся непрерывной функцией или изменяющейся скачкообразно при переходе через контакты пород. Иначе говоря, эффективное сопротивление не отражает только поведения (даже в среднем) истинного сопротивления ρ массива, оно отражает его геоэлектрическую структуру.

Применение метода сопротивлений в горных выработках сопряжено с учетом ряда специфических факторов, влияющих на измеряемую величину эффективного сопротивления $\bar{\rho}$. Опыт показал, что наибольшие искажения величины $\bar{\rho}$ могут быть вызваны влиянием самой выработки и границами раздела пород почвы и кровли, поэтому без оценки искажающего эффекта этих факторов невозможно правильное интерпретирование получаемых результатов исследований.

На результаты электрометрии в подземных выработках оказывает влияние такие факторы, как поверхность земли над горной выработкой, так и размеры самой горной выработки.

Первый фактор оказывает существенное влияние на величину $\bar{\rho}$ лишь тогда, когда размеры измерительной установки равны или больше глубины расположения горной выработки. Выработки, вскрывающие угольные удароопасные пласты, как правило, расположены на значительных глубинах, многократно превышающих размеры применяемых измерительных установок. И поэтому, влияние поверхности земли практически не будет сказываться на величине измеряемого эффективного сопротивления.

Второй фактор - влияние горной выработки - следует учитывать путем введения поправочного коэффициента C_H в расчетный коэффициент установки (табл. I).

Таблица I.

$\frac{z}{d}$	0,5	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8
C_H	1	1,1	1,15	1,20	1,25	1,35	1,45	1,5	1,55	1,58

$\frac{z}{d}$	1,9	2	2,5	3	3,5	4	5	6	10
C_H	1,62	1,65	1,75	1,85	1,9	1,95	1,98	2	2

где z - расстояние от центра приёмных электродов MN до питающего электрода,
 d - диаметр выработки.

Большие искажения при замерах кажущихся сопротивлений связаны с экранными эффектами у электродов, если вблизи последних находятся рельсы или металлические трубы. Искажения увеличиваются, когда электроды касаются металлической крепи и становятся недопустимо большими, если металлические предметы при этом имеют хороший контакт с породой, например, при наличии воды по почве выработки.

Однако, большое количество исследований в подготовительных выработках показало, что даже в условиях обводненной выработки, если электроды заземлять на расстоянии свыше 0,15 м от металлических труб, рельс, деталей крепи, то влияние последних становится постоянным и небольшим. При дальнейшем удалении электродов от металлических конструкций сопротивление мало меняется, а относительная ошибка в замерах $\bar{\rho}$ не превышает 10-15% при разносах питающих электродов, сравнимых с диаметром выработки, и не превышает 5% при разносах, в несколько раз больших диаметра выработки.

Физический смысл эффективного сопротивления заключается в том, что данная электрическая неоднородность массива порождает аномальную структуру потенциального поля; характер и поведение этой структуры и описывает пространственно - переменная величина - эффективное сопротивление, независимо от величины питающего тока.

В силу непрерывности потенциальной функции $\Delta \bar{U}$ (или даже прерывности её градиента при переходе через контакты горных пород) активного стационарного поля, несмотря даже на скачкообразное изменение истинного сопротивления массива, эффективное сопротивление является всегда плавно изменяющейся непрерывной функцией или изменяющейся скачкообразно при переходе через контакты пород. Иначе говоря, эффективное сопротивление не отражает только поведения (даже в среднем) истинного сопротивления ρ массива, оно отражает его геоэлектрическую структуру.

Применение метода сопротивлений в горных выработках сопряжено с учетом ряда специфических факторов, влияющих на измеряемую величину эффективного сопротивления $\bar{\rho}$. Опыт показал, что наибольшие искажения величины $\bar{\rho}$ могут быть вызваны влиянием самой выработки и границами раздела пород почвы и кровли, поэтому без оценки искажающего эффекта этих факторов невозможно правильное интерпретирование получаемых результатов исследований.

На результаты электрометрии в подземных выработках оказывает влияние такие факторы, как поверхность земли над горной выработкой, так и размеры самой горной выработки.

Первый фактор оказывает существенное влияние на величину $\bar{\rho}$ лишь тогда, когда размеры измерительной установки равны или больше глубины расположения горной выработки. Выработки, вскрывающие угольные удароопасные пласты, как правило, расположены на значительных глубинах, многократно превышающих размеры применяемых измерительных установок. И поэтому, влияние поверхности земли практически не будет сказываться на величине измеряемого эффективного сопротивления.

Второй фактор - влияние горной выработки - следует учитывать путем введения поправочного коэффициента C_H в расчетный коэффициент установки (табл. I).

Таблица I.

$\frac{z}{d}$	0,5	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8
C_H	1	1,1	1,15	1,20	1,25	1,35	1,45	1,5	1,55	1,58

$\frac{z}{d}$	1,9	2	2,5	3	3,5	4	5	6	10
C_H	1,62	1,65	1,75	1,85	1,9	1,95	1,98	2	2

где z - расстояние от центра приёмных электродов MN до питающего электрода,
 d - диаметр выработки.

Большие искажения при замерах кажущихся сопротивлений связаны с экранными эффектами у электродов, если вблизи последних находятся рельсы или металлические трубы. Искажения увеличиваются, когда электроды касаются металлической крепи и становятся недопустимо большими, если металлические предметы при этом имеют хороший контакт с породой, например, при наличии воды по почве выработки.

Однако, большое количество исследований в подготовительных выработках показало, что даже в условиях обводненной выработки, если электроды заземлять на расстоянии свыше 0,15 м от металлических труб, рельс, деталей крепи, то влияние последних становится постоянным и небольшим. При дальнейшем удалении электродов от металлических конструкций сопротивление мало меняется, а относительная ошибка в замерах $\bar{\rho}$ не превышает 10-15% при разносах питающих электродов, сравнимых с диаметром выработки, и не превышает 5% при разносах, в несколько раз больших диаметра выработки.

Вмещающие породы, являясь более электропроводными, чем уголь, будут оказывать искажающее влияние на измеряемую в выработках величину $\bar{\rho}$. Растекание тока в породы почвы и кровли пласта будет тем интенсивнее, чем резче будет отличие их по сопротивлению от пласта угля и чем больше глубина зондирования.

Решение задачи о искажающем влиянии вмещающих пород при различном положении выработки в угольном пласте относительно границ раздела показало, что для условий шахты № 8 Шурабского бурогоугольного месторождения максимально возможные искажения в величине $\bar{\rho}$ за счет границ раздела пород почвы и кровли, на расстоянии в 25 м от выработки, не превышают 1%.

При проведении электрометрических исследований в горных выработках использовалась низкочастотная аппаратура типа АНЧ-1 и ИКС-1, позволившая получать достаточно надежные сведения о напряженном состоянии массива в условиях помех, создаваемых промышленными энергоустановками.

Результаты электрических зондирования изображаются графически в виде кривых эффективного сопротивления. Кривые $\bar{\rho}$ строятся в билогарифмическом масштабе с модулем 6,25 мм.

Интерпретация результатов подземных электрических зондирования с целью определения параметров зон опорного давления проводится по характерным точкам на кривых эффективного сопротивления.

Оценка точности наблюдений результатов ПЭЗ с учетом возможных погрешностей как самой аппаратуры, так и методики измерений, показала, что максимальная относительная погрешность их не превышает 15%.

III.

Проходка горных выработок и особенно ведение очистных работ по одному или группе угольных пластов приводят к нарушению ранее существовавшего равновесия в напряженном состоянии массива горных пород. Перераспределение потенциальной энергии

вызывает изменение физико-механических характеристик массива, в том числе и электрического сопротивления.

Решение последнего вопроса — выяснение связи изменений электрического сопротивления с изменением напряженного состояния массива угля и пород аналитическими способами в настоящее время не представляется возможным. Поэтому в диссертационной работе оно проводится экспериментальными методами с помощью комплекса лабораторных и шахтных исследований.

Исследование влияния давления на изменение электрического сопротивления горных пород развивается как известно, в трех направлениях.

Первое направление связано с решением задач промышленной геофизики и главной целью имеет установление зависимости между электрическим сопротивлением пород — коллекторов и их пористостью.

Второе направление — большая геофизика, которая изучает изменение сопротивления горных пород с глубиной при давлениях до нескольких десятков и сотен тысяч атмосфер.

Третье направление связано с изучением давления горных пород в шахтах и имеет своей целью по изменению электрического сопротивления угля или пород установить характер напряженного состояния горного массива вблизи горных выработок.

Анализ данных исследований по указанным направлениям показал, что результаты решения задачи первого направления отражают особенности пород коллекторов в определенных условиях эксперимента и перенесение их на шахтные условия затруднительно.

Большая заслуга в развитии второго направления принадлежит советским ученым М.П.Воларовичу, Э.И.Пархоменко, А.Т.Бондеренко, У.И.Моисеевко, Л.С.Соколовой, В.Е.Истомину. Авторами выполнены исследования изменения электрического сопротивления горных пород в условиях одностороннего давления до 600 кг/см², всестороннего давления до 1000 кг/см² и квазивсестороннего до 40 000 кг/см². Эти исследования представляют значительную ценность, однако, к поставленным в диссертации задачам имеют

косвенное отношение лишь в части раскрытия общих физических закономерностей изменения электрического сопротивления в процессе нагружения горных пород.

Исследования по третьему направлению ещё не получили должного развития. Результаты изучения изменения электрического сопротивления углей (пород) под действием напряжений применительно к задачам горного давления в литературе освещены мало. Это, по видимому, в какой-то мере связано как с трудностью изготовления самих образцов из обычно слабо трещиноватого каменного угля, так и с процессами быстрого окисления бурого угля на воздухе.

Исследования по изучению изменения электрического сопротивления бурого угля под нагрузкой выполненные в диссертации включали:

- разработку однотипной методики наблюдений, позволяющей сопоставлять результаты шахтных и лабораторных исследований;
- лабораторные испытания образцов бурого угля пласта "В" при одноосном и объёмном нагружении;
- установление основных факторов, определяющих изменение электрического сопротивления бурого угля под воздействием давления.

Измерения сопротивления в условиях одноосного сжатия проводились в лабораториях шахты № 8 и ВНИМИ. При выполнении экспериментов была использована четырехэлектродная установка.

Условия опыта были следующие.

Между плит, изготовленных из органического стекла и обеспечивающих надёжную электроизоляцию от траверс пресса, помещается образец в средней части которого располагается измерительная установка АМН В.

Величина электрического сопротивления во всех экспериментах измерялась низкочастотной аппаратурой ИКС-1. Для создания соответствующих напряжений применялись гидравлические прессы. Отсчеты измеряемой величины велись при каждом значении давления дважды: первый отсчет - сразу после повышения давления, второй - спустя десять минут.

Измерение осевых деформаций проводилось индикаторами часового типа с измерительной базой 20 мм и с точностью отсчета 0,001 мм.

Для изучения зависимости электрического сопротивления бурого угля от давления в условиях объёмного нагружения проводились лабораторные испытания образцов в стальной камере. Цилиндрические образцы бурого угля с размерами $h = 190$ мм, $d = 100$ мм помещались в стальную камеру, имеющую внутри винипластовую обойму. В средней части винипластовой обоймы на расстоянии 30 мм друг от друга размещались четыре разрезных электрода. На торцы образца накладывались пористые диски. Прилегающие к пористым дискам стальные штампы оборудовались концентрическим водосборными прорезями. Камера помещалась между траверсами пресса и нагружалась. Вертикальные деформации измерялись индикаторами часового типа.

Конструкция камеры позволяла испытывать образцы по схеме "сдренированного" или "несдренированного" нагружения. В последнем случае пористые диски снимались.

Для изучения влияния давления на электросопротивление бурого угля при одноосном сжатии было испытано 80 образцов. Каждой серии образцов задавалась различная исходная весовая влажность.

Скорость нагружения образцов бурого угля во всех случаях была одинаковой и значительно превышала скорость фильтрации жидкости в угле. Результаты изменения электрического сопротивления бурого угля пласта "В" с различным содержанием влаги при одностороннем давлении приведены в табл. 2

В результате испытаний было установлено:

- в процессе увеличения давления у всех исследованных образцов бурого угля пласта "В" наблюдалось уменьшение электрического сопротивления;
- при одной и той же скорости нагружения на интенсивность изменения электрического сопротивления бурого угля существенно влияет степень водонасыщенности;

Таблица 2

№ № п/п	Влаж- ность (весовая к су- хому ос- татку) W, %	Водона- сыщен- ность K _B	Кол-во испытан- ных об- разцов	Среднее , Ом.м		σ _{сж} max. кг/см ²	Δ ρ %
				σ _{сж} = 0	σ _{сж} max		
1	20	0.58	12	8000	3920	52	51
2	22	0.6	10	4000	1000	45	75
3	26	0.66	13	84	50	35	40.4
4	30	0.73	11	45	30	29	33.3
5	36	0.8	16	30	24.2	27	29
6	38	0.82	18	28	20	27	28.5

- на кривых изменения электрического сопротивления под влиянием давления имеется линейный участок интенсивного уменьшения $\bar{\rho}$, который отмечается у слабонасыщенных образцов в интервале нагрузок 0-47 кг/см², у насыщенных 0-6 кг/см² и характеризуется закрытием трещин и макропор;

- интервал минимальных значений на кривых электрического сопротивления у буроугольных образцов с низкой водонасыщенностью выражен в виде пика $\bar{\rho}$. По мере увеличения процентного содержания жидкости растет область постоянных значений сопротивления. Горизонтальный участок интервала минимальных значений на кривых $\bar{\rho}$ у образцов бурого угля с высокой водонасыщенностью определяется поровым давлением;

- гистерезис относительной проводимости более развит у образцов бурого угля с высокой водонасыщенностью, что характеризует их большую пластичность.

Исследования сопротивления бурого угля в условиях объемного нагружения до 360 кг/см² показывают, что зависимость $\bar{\rho} = f(\sigma)$ наблюдаемая при одноосном давлении в основном сохраняется.

Величины удельного электрического сопротивления бурого угля при двух значениях давления помещены в табл.3.

Таблица 3

№ № п/п	Влажность весовая к сухому остатку W, %	Кoeffи- циент во- донасыще- ния K _B	Кол-во испытан- ных об- разцов	Удельное сопро- тивление ρ, Ом.м		Δ ρ % на 360кг/см ²
				при ат- мосфер- ном дав- лении	при 360кг/см ²	
"несдренированное" нагружение						
1	22	0,6	4	4000	350	91
2	25	0,65	7	108	71	34
3	30	0,73	6	46	35	24
4	38	0,82	4	28	22	21
"сдренированное" нагружение						
1	22	0,6	4	4000	500	87
2	25	0,65	7	108	72	33
3	30	0,73	6	46	27	41
4	38	0,82	4	28	8	71

Результаты испытаний показали:

- характер изменения электрического сопротивления бурого угля в условиях объемного нагружения в основном повторяет характер изменения ρ при одноосном нагружении, но процентное изменение ρ при объемном нагружении больше;

- в условиях объемного нагружения уменьшения электрического сопротивления насыщенных образцов бурого угля пласта "В" с ростом нагрузок определяется уменьшением контактного сопротивления между частицами;

- точка перегиба на кривых электрического сопротивления является косвенной характеристикой предела упругости бурого угля и может быть использована при оценке степени удароопасности угля пласта "В";

- увеличение усилия вдавливания пуансона и одновременное уменьшение электрического сопротивления угля с ростом нагрузок характеризуют увеличение плотности исследуемого материала.

В результате шахтных исследований влияния давления на электрическое сопротивление бурого угля пласта "В" установлено:

- характер изменения сопротивления бурого угля под давлением в шахтных и лабораторных условиях одинаков;

- электрическое сопротивление бурого угля в краевой части пласта при искусственном нагружении с помощью давяльной установки ВНИИ уменьшается при нагрузках $\sigma \leq \sigma_{разруш.}$;

- при нагружении, вызываемом приближением зоны опорного давления очистного забоя к области расположения измерительной установки, электрическое сопротивление уменьшается, достигает минимума, а затем резко возрастает. Характер изменения сопротивления в этом случае аналогичен характеру изменения сопротивления образцов бурого угля при одноосном нагружении, где минимуму сопротивления соответствует максимум давления.

Бурый уголь характеризуется ионной проводимостью. Величина его сопротивления определяется проводимостью электролита и глинистых примесей. При этом, как показали результаты исследований, удельное сопротивление насыщающей жидкости (18 ом.м) больше удельного сопротивления глинистой компоненты (0,8-1,0 ом.м).

На основе экспериментальных и теоретических исследований доказано, что начиная с некоторой глубины разработки, в краевой части удароопасного пласта устанавливается предельно напряженное состояние с упруго-пластическим деформированием.

Предельная скорость пластического деформирования пласта угля возрастает с удалением в глубь массива, где на некотором удалении от выработки образуется внутреннее ядро с высоким давлением, находящееся в пластическом (или псевдопластическом) состоянии. Уменьшение удельного объема материала под

воздействием трехосного неравномерного сжатия происходящее за счёт сокращения пор и трещин, в этой области достигает экстремума. На краю пласта, непосредственно за зоной нарушенного угля, предельная скорость имеет максимальное значение и поэтому пластическое деформирование здесь возможно лишь в условиях действия постоянных или медленно меняющихся нагрузок.

Результаты лабораторных и шахтных исследований изменения электрического сопротивления бурого угля пласта "В" от давления показали, что рассмотренный процесс пластического деформирования краевой части пласта сопровождается уменьшением электрического сопротивления по этому же закону. Следовательно, ядро высокого давления (максимум напряженности) характеризуется минимальной величиной электрического сопротивления, т.к. увеличение плотности, при неизменном коэффициенте водонасыщенности (K_v бурого угля в пласте равен 1), сопровождается уменьшением контактного сопротивления между частицами материала.

Одним из главных факторов, определяющих условия развязывания горного удара, является величина концентрации напряжений в зоне опорного давления.

Другим главным фактором, определяющим вероятность возникновения горного удара, является расстояние от обнажения пласта (стенки выработки) до максимума напряженности.

Концентрация напряжений в зоне опорного давления выработки порождает электрическую неоднородность, с которой она функционально связана. В связи с этим в работе предлагается способ, позволяющий по величине электрической аномалии оценивать напряженное состояние. Саму величину аномалии можно определить путем сравнения электрического сопротивления в зоне опорного давления с какой-то известной величиной, например, с сопротивлением нетронутого массива на данной глубине разработки, оцениваемой по электрокаротажным диаграммам.

Оценка второго фактора связана с определением положения этой электрической неоднородности (ядра) в зоне опорного дав-

ления относительно контура выработки. Для этой цели предлагается использовать подземные электрические зондирования, позволяющие по изменению положения измерительной установки (с увеличением глубины зондирования) определять пространственные координаты электрических неоднородностей (область максимальных напряжений) в исследуемой среде.

Следовательно, изменение электрического сопротивления бурого угля пласта "В" в зоне опорного давления выработок будет определяться законом, согласно которому минимум электрического сопротивления будет соответствовать максимуму напряжений и наоборот. Таким образом, изменение электрического сопротивления в массиве угля под действием меняющихся напряжений является параметром, позволяющим качественно оценивать напряженное состояние его, а дифференциация участков угольных пластов по величине электрического сопротивления дает возможность выделять наиболее напряженные из них, т.е. оценивать их степень удароопасности или, другими словами, производить локальный прогноз горных ударов.

Кроме того, результаты наблюдений за изменением электрического сопротивления в зоне опорного давления очистной выработки позволяют контролировать изменение напряженного состояния массива угля во времени, что необходимо для разработки методов прогноза горных ударов.

IV.

Результаты определения наиболее напряженных участков угольных удароопасных пластов с помощью ПЭЗ и токового каротажа методом скользящих контактов сопоставлялись многократно с данными других методов прогноза горных ударов. Сопоставление ПЭЗ и ИСК с данными определения изменения естественной влажности и усилия вдавливания пуансона в торец скважины (ПСТ) по пласту "В" Шурабского месторождения и с данными сейсмоакустического метода на угольных пластах Кизеловского и Ткибульского бассейнов показало, что расстояние до максимума опорного давления этими методами оценивается однозначно.

Для относительной оценки напряженного состояния вводится параметр напряженности K_p

где
$$K_p = \frac{\bar{\rho}_{rH}}{\bar{\rho}_{min}}$$

 $\bar{\rho}_{rH}$ - эффективное сопротивление нетронутого массива на данной глубине разработок, определяемое по электрокаротажным диаграммам,
 $\bar{\rho}_{min}$ - минимальная величина эффективного сопротивления на кривой ПЭЗ.

Результаты ПЭЗ, выполненные в выработках, пройденных в толще мощного бурого угольного пласта "В", показали, что максимальная напряженность пласта отмечается в угловой "подвешенной" части выработок со стороны восстания пласта. Этот участок характеризуется минимальным сопротивлением угля, имеет наименьшую влажность, а следовательно, и максимальную напряженность. Кроме того, максимум напряженности (минимум $\bar{\rho}$) здесь всегда находится наиболее близко к контуру выработки.

В общем случае результатами ПЭЗ установлено, что величина эффективного сопротивления со стороны восстания пласта значительно ниже (величина K_p больше), а расстояние от контура выработки до максимума напряженности значительно меньше, чем со стороны падения пласта; это значит, что напряженность краевой части пласта со стороны восстания пласта больше и расстояние от обнажения до максимума напряженности меньше, чем со стороны падения пласта. Иначе говоря, здесь наиболее благоприятные условия для формирования очага горного удара.

Этим, очевидно, и объясняется тот факт, что в условиях пласта "В" (если выработка пройдена в средней части пласта или по первому слою) горные удары проявляются главным образом в виде выброса угля со стороны восстания пласта. После горного удара в почве выработки наблюдается разгрузка краевой части пласта, а максимум напряженности отодвигается в глубину массива.

Эти результаты подтверждаются опытом эксплуатации горных выработок гор. +934 м и гор. +878 м, где в период с 1965-71 гг. отмечался ряд случаев горных ударов.

При ведении очистных работ по I слою, особенно при большой ширине поддерживаемого рабочего пространства (до 8 м) в лавах шахты № 8 иногда происходят горные удары.

В таблице 4. приведены характерные результаты оценки степени удароопасности участков пласта "В" впереди очистного забоя в зависимости от ширины поддерживаемого рабочего пространства.

Таблица 4

Ширина рабочего пространства, м	Расстояние до максимума опорного давления $X_I, \text{м}$	Величина \bar{p}_{min} ом.м	K_p
Западное крыло, лава № I бис			
3,2	9,0	33	2,1
4,8	7,0	30,5	2,3
5,4	5,0	28	2,5
8,0	3,0	20	3,5
Восточное крыло, лава № 8 бис			
3,2	7,0	31	2,5
4,8	7,0	28	2,5
6,4	7,0	26,5	2,6
8,0	5,0	26	2,6

Из таблицы видно, что при максимальной ширине поддерживаемого рабочего пространства K_p впереди забоя лавы № I бис составляет 3,5 м, что значительно больше, чем в таких же условиях лавы № 8 бис. Приближение максимума зоны опорного давления к груди забоя лавы и одновременное увеличение нагрузки на краевую часть пласта могут создать условия, благоприятные для проявления горного удара. В лаве № I бис в период проведения экспериментов наблюдалось несколько горных ударов. В лаве № 8 бис горных ударов не было.

Анализ случаев горных ударов в условиях шахты № 8 показал, что большинство их произошло в выработках, где максимум напряженности находился не далее 1 м от обнажения (16 ударов). При $1 \text{ м} < X_I < 2 \text{ м}$ горных ударов было значительно меньше (6), а при $2 \text{ м} < X_I < 3 \text{ м}$ был зафиксирован всего один горный удар.

На основании проведенных электрометрических исследований и анализа условий возникновения горных ударов разработаны критерии степени удароопасности участков пласта "В" для очистных и подготовительных выработок. Итоговые результаты исследований представлены в виде номограммы (рис. I). По степени удароопасности участки пласта "В" могут быть отнесены к одной из четырех категорий.

Использование введенных категорий удароопасности участков пласта "В" позволяет оценивать эффективность локальных и региональных мер борьбы с горными ударами. При наличии I и II категории удароопасности должны применяться меры борьбы с горными ударами (камуфлетное взрывание, выемка защитного слоя и т.п.). В случае III и IV категории удароопасности необходимость применения мер исключается.

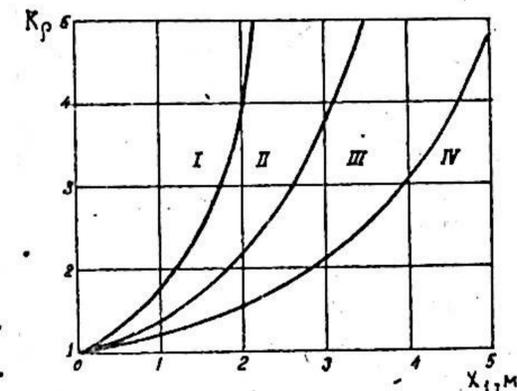


Рис. I

K_p — параметр напряженности $(\bar{p}_{\text{гн}} / \bar{p}_{\text{min}})$;
 X_I — расстояние от стенки выработки до участка пласта с \bar{p}_{min}

В случае, если после принятия мер степень удароопасности снижается до III и IV категории, меры считаются эффективными, а если вновь обнаружены I-II категории опасности, то требуется повторное проведение мероприятий. Это позволяет выявить наиболее эффективные параметры способов приведения выработок в неудароопасное состояние.

Разработанный способ включен в "Руководство по прогнозу удароопасности угольных пластов и применению мер борьбы с горными ударами на шахтах СССР".

Таким образом, применение подземных электрических зондирований позволяет достаточно надежно определить степень удароопасности отдельных участков пласта "В" и, следовательно, позволяет прогнозировать возможные очаги проявления горных ударов. Все это в конечном счете позволяет более рационально применять соответствующие мероприятия, направленные на ликвидацию опасности проявления горных ударов.

Исследования, выполненные автором диссертации позволили получить следующие выводы:

Электрическое сопротивление бурого угля пласта "В" определяется пористостью, трещиноватостью, насыщающей жидкостью и глинистой компонентой. Под влиянием горного давления уменьшение электрического сопротивления бурого угля происходит вследствие уменьшения контактного сопротивления между частицами.

Выявленная зависимость изменения электрического сопротивления бурого угля от давления использована для разработки методики относительной оценки напряженного состояния отдельных участков угольного пласта "В" по наблюдениям с помощью ПЭС.

Теоретическими и экспериментальными исследованиями установлено, что относительная ошибка измерений за счет влияния условий заземлений, геометрии выработок, границ раздела вмещающих пород, помех, создаваемых металлоконструкциями, полями от энергетических установок и т.п., не превышает 15%.

Разработаны критерии, позволяющие осуществлять локальный прогноз горных ударов, т.е. дифференцировать отдельные участки угольных пластов по степени их удароопасности на 4 категории.

Показано, что применение ПЭС позволяет оценивать эффективность мероприятий по борьбе с горными ударами.

Определена возможность применения указанного метода для оценки изменения удароопасной ситуации во времени.

Разработанный метод оценки напряженного состояния участков пластов не требует бурения скважин и позволяет

в условиях шахты № 8 снизить ежегодные затраты на прогноз горных ударов в размере 34000 руб.

Использование данного метода в условиях других месторождений, например в Кизеловском бассейне, позволит снизить ежегодные затраты на прогноз горных ударов (по сравнению с методами, основанными на бурении скважин) примерно на 0,5 млн. руб.

х х

х

Основные результаты диссертационной работы докладывались на секции горного давления ВНИИМ (г. Ленинград, в 1965-1972 гг.), на семинаре ВНИИМ по проблемам механики горных пород (г. Ленинград 1969-1970 гг.), на Третьем Всесоюзном семинаре по "Изучению напряжений в массиве горных пород" (г. Новосибирск 1971 г.).

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Влияние горного давления на величину электрического сопротивления угля и пород вблизи горных выработок. Труды ВНИИМ, сб. 72, 1969 г. (соавтор Филинков А.А.).

2. Некоторые результаты оценки проявления горного давления в очистных забоях методом подземных электрических зондирований. Труды ВНИИМ, сб. 74, 1970 г.

3. Изменение электропроводности бурого угля в условиях нагружения. Сб. Технология добычи угля подземным способом. Изд. ЦНИЭИ "уголь", № 4(52) 1971 (соавтор Котов И.Г.).

4. Руководство по прогнозу удароопасности угольных пластов и применению мер борьбы с горными ударами на шахтах СССР ВНИИМ. Л., 1971.