

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ
ИНСТИТУТ ГЕОТЕХНИЧЕСКОЙ МЕХАНИКИ

На правах рукописи

ЯЛАНСКИЙ Анатолий Александрович

**ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ
ГЕОФИЗИЧЕСКОГО ЭКСПРЕСС-КОНТРОЛЯ
МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И СОСТОЯНИЯ
ПОРОДНОГО МАССИВА В ШАХТАХ
И ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЯХ**

05.15.11 — «Физические процессы горного производства»

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук



AB 31.870

Диссертацией является рукопись.

Работа выполнена в Институте геотехнической механики НАН Украины.

Научный консультант доктор технических наук, профессор, академик Академии горных наук Украины УСАЧЕНКО Борис Миронович.

Официальные оппоненты:

1. Доктор технических наук, профессор КУЧЕР Валентин Михайлович.
2. Доктор технических наук, профессор МОСКАЛЕВ Александр Николаевич.
3. Доктор технических наук, профессор НАЗИМКО Виктор Викторович.

Ведущая организация Научно-исследовательский горно-рудный институт Минпрома Украины, г.Кривой Рог.

Защита состоится "24" марта 1995г. в "13" часов на заседании специализированного совета Д.016.40.01 при Институте геотехнической механики НАН Украины по адресу: 320095, Украина, г.Днепропетровск, ул.Симферопольская, 2-а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института геотехнической механики НАН Украины, г.Днепропетровск, ул.Симферопольская, 2-а.

Автореферат разослан "17" февраля 1995г.

Ученый секретарь

специализированного совета

ШПАКУНОВ И.А.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

АКТУАЛЬНОСТЬ И СТЕПЕНЬ ИЗУЧЕННОСТИ ТЕМАТИКИ. Добыча полезных ископаемых неразрывно связана с дальнейшим развитием и реконструкцией действующих, строительством новых горных предприятий, ведущих отработку месторождений на больших глубинах в сложных горно-геологических условиях, что предопределяет необходимость массового контроля изменчивости механических свойств пород, их структурной нарушенности и трещиноватости, напряженно-деформированного состояния массива и устойчивости выработок. Большой вклад в изучение массива пород и разработку методов контроля принадлежит К.А.Ардашеву, А.А.Борисову, А.Ф.Булату, В.В.Виноградову, В.Т.Глушко, Э.И.Ефремову, Ю.З.Заславскому, М.П.Зборщику, А.Н.Зорину, Ю.М.Карташову, О.В. Колоколову, М.В.Курлене, В.М.Кучеру, А.Н.Москалеву, В.В.Назимко, В.И.Николину, И.М.Петухову, В.Н.Потураеву, А.Н.Ставрогину, И.А.Турчанинову, Б.М.Усаченко, Н.Хасту и др. Решены важные задачи механического контроля, однако эти исследования охватывают весьма малую часть необходимых измерений. Поэтому возрос интерес к исследованиям в условиях шахт и рудников геофизическими методами, которые отражены в трудах Н.Я.Азарова, М.С.Анциферова, Е.С.Ватолина, Ю.А.Векслера, В.С.Иванова, Н.Р.Надирашвили, Г.Я.Новика, В.М.Проскуракова, Г.А.Соболева, Б.Г.Тарасова, В.С.Ямщикова и др. Развитие методов обусловлено значительным снижением трудоемкости экспериментальных работ и возможностью дистанционного и автоматизированного контроля. Следует подчеркнуть: 1) наибольшее развитие в горной геофизике получили те направления, для которых приборы большой (полевой) геофизики не требуют существенной переработки при их применении в шахтных условиях; 2) практически все разработки приборов закончены экспериментальными

- образцами; 3) недостаточная нормативно-методическая база;
4) низкая производительность контроля .

Многообразие горно-геологических условий и горнотехнических задач контроля, его многостадийность, специфика условий шахт и подземных сооружений, чрезвычайная сложность, а зачастую и недоступность пород как объекта измерений требуют создания принципиально новых методов, способов и средств экспресс-контроля. Их разработка невозможна без исследований распространения и взаимодействия физических полей, применения новейших методов в прикладной геофизике и современных достижений в электронной технике, кроме того, для угольных шахт необходимо взрывозащищенное или искробезопасное исполнение аппаратуры. В этой связи проблема создания физико-технических основ геофизического экспресс-контроля механических свойств и состояния породного массива в шахтах и подземных сооружениях весьма актуальна. Работа выполнена в соответствии с плановыми исследованиями, предусмотренными постановлениями ГКНТ СССР и Украины, Минуглепрома, Минцветмета, Минприбора СССР, Минуглепрома и Президиума НАН Украины.

ЦЕЛЬ И ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ. Цель работы - создать физико-технические основы геофизического экспресс-контроля механических свойств и состояния породного массива в шахтах и подземных сооружениях. Для ее реализации поставлены и решены следующие задачи:

1. Разработать теоретические предпосылки геофизического экспресс-контроля и оценки механических свойств и состояния сложноструктурного массива горных пород.

2. Разработать физические основы и создать способы и средства ультразвукового экспресс-контроля механических свойств пород на базе измерений акустических параметров

необработанных образцов и каротажа скважин.

3. Разработать физические основы и создать средства экспресс-контроля свойств и состояния приконтурной зоны массива горных пород, основанные на комплексе виброакустического, ультразвукового и электрометрического методов.

4. Создать способы и усовершенствовать средства локации структурных неоднородностей в массиве пород методами горной геофизики.

5. Разработать и внедрить методическое обеспечение, реализующее особенности системы оперативной диагностики механических свойств и состояния горных пород.

ОБОСНОВАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ И ПРАКТИЧЕСКОЙ ЦЕННОСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ И ЕГО НАУЧНОЙ НОВИЗНЫ. Научное значение работы состоит в создании физико-технических основ геофизического экспресс-контроля механических свойств и состояния массива пород, заключающихся в определении закономерностей и особенностей распространения физических полей (акустического, электростатического и электромагнитного) в массиве, находящемся в трехмерном напряженном состоянии, с учетом начальных напряжений, слоистости, геометрической и физической нелинейности свойств среды, вязкости и рассеяния на сферических включениях и трещинах, на основе которых обоснованы информативные параметры контроля, установлены физические и корреляционные зависимости между ними, разработаны новые методы и отработаны исходные требования на приборы и аппаратуру контроля.

Практическое значение работы состоит: в разработке новых способов и приборов высокопроизводительного экспресс-контроля механических свойств необработанных образцов горных пород произвольной формы, в том числе кернов геологоразведочных скважин, состояния приконтурной и дальней зоны массива, скрытых

отслоений и заколов, локальных и структурных нарушений в кровле и стенках горных выработок в шахтах и подземных сооружениях; изготовлении разовых партий, в освещении серийного производства приборов, проведении их шахтных, приемочных, межведомственных или государственных испытаний; разработке, утверждении и издании методических указаний и руководящих документов (РД) по экспресс-определению прочностных и упругих свойств пород, инженерно-геологическому изучению глубоких горизонтов месторождений полезных ископаемых.

Научная новизна.

1. Установлены закономерности изменений скоростей и коэффициентов затухания упругих волн от напряжений на основе решения задач о распространении плоских акустических волн больших и малых амплитуд в мелкослоистых вязкоупругих горных породах, отличающиеся учетом геометрической и физической нелинейности свойств среды, находящейся в трехмерном напряженном состоянии.

2. Впервые установлено, что поперечная сферическая волна сферического источника, радиус сферы которого пренебрежимо мал по сравнению с длиной волны, поляризуется и имеет диаграмму направленности, отличную от диаграммы направленности продольной волны, поэтому применение конусных излучателей с достаточной точностью позволяет идентифицировать продольные и поперечные волны.

3. Впервые получены уравнения, описывающие закономерности распространения акустических волн и их рассеяния на сферических включениях и трещинах с учетом потери энергии на вязкое трение, на основе которых для характеристики степени нарушенности пород предложена плотность комплексного спектра смещений продольных и поперечных волн, а для характеристики свойств включений — плотность комплексного спектра смещений поперечных волн.

4. Для наиболее часто встречающегося в практике горного дела случая трехслойной среды установлена зависимость эффективного электрического сопротивления от расстояния до исследуемой области массива и величины действующего гидростатического напряжения, отличающаяся учетом расстояния между электродами двухэлектродного источника.

5. Разработаны методы исследований, которые базируются на принципиально новых способах и устройствах контроля, защищенных авторскими свидетельствами: методы экспресс-определения прочностных и упругих свойств горных пород, отличающиеся полуавтоматическим определением скоростей упругих волн на необработанных образцах произвольной формы с помощью конусных датчиков; методы оперативной диагностики состояния и нарушения целостности массива пород, отличающиеся производительностью, информативностью контроля и позволяющие установить взаимосвязь различных по природе физических полей, исключить влияние системы контроля на конечный результат на основе оценки взаимных спектров, механоэлектрических эффектов, резонансных и других явлений.

6. Установлены закономерности изменения и корреляционные зависимости свойств горных пород, которые вошли составной частью в разработанные методики и руководства.

УРОВЕНЬ РЕАЛИЗАЦИИ И ВНЕДРЕНИЯ НАУЧНЫХ РАЗРАБОТОК. Основные научные положения, разработанные способы и методы контроля реализованы в методиках, методических рекомендациях, РД и средствах измерений. Технические решения вошли в конкретные устройства контроля, а апробированные параметры в исходные требования на приборы и аппаратуру. Методические нормативные документы и технические задания на приборы утверждены Минуглепромом, Мингео, Минцветметом, Минприбором СССР или НАН Украины. Внедрены в производство шахтные взрывозащищенные приборы ШУП-1 и

ШИИС-3, аппаратура "Керноскоп-2" и "Агат", установочная партия приборов УК-10ПМС, комплекс акустических и электрометрических методов оценки напряженного состояния массива, прочностных и упругих свойств горных пород (ПО "Укруглегеология", "Карагандауглеразведка", "Карагандауголь", "Уралзолото"), рекомендации по улучшению работы шитовых агрегатов (ПО "Артемуголь" и "Орджоникидзеуголь"). Фактический экономический эффект (доля ИГТМ НАН Украины) составляет более 1 млн.руб. в ценах 1990 г. Методики разосланы для применения в геологоразведочные организации Минуглепрома и Мингео СССР согласно утвержденным спискам рассылки.

АПРОБАЦИЯ И ПУБЛИКАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ, СТРУКТУРА И ОБЪЕМ РАБОТЫ. Основные положения диссертации доложены на 6 Пленарном заседании Международного бюро по механике горных пород (Ленинград, 1979); 7 Международном конгрессе по маркшейдерскому делу (Ленинград, 1988); Международном семинаре "Сверхглубокое континентальное бурение и глубинные геофизические исследования" (Ярославль, 1988); 6 Всесоюзном съезде по теоретической и прикладной механике (Ташкент, 1986), пяти Всесоюзных конференциях по механике горных пород (Апатиты, 1970; Москва, 1975; Фрунзе, 1978; Днепропетровск, 1981; Тбилиси, 1985); шести Всесоюзных конференциях вузов СССР с участием научно-исследовательских институтов (Москва, 1969, 1971, 1974, 1981, 1984, 1988); Всесоюзной угольной конференции (Ростов-на-Дону, 1981); Всесоюзной научно-технической конференции "Исследование, прогноз и контроль проявления горного давления" (Ленинград, 1982); 2-м Всесоюзном симпозиуме по механике разрушения (Житомир, 1985); Всесоюзном симпозиуме "Тектонические основы и инженерно-геологические аспекты изучения напряженного состояния пород при разведке и эксплуатации месторождений"

(Апатиты, 1983); семи Всесоюзных семинарах "Измерение напряжений в массиве горных пород" (Новосибирск, 1969, 1971, 1973, 1977, 1979, 1983); пяти Всесоюзных семинарах "Горная геофизика" (Ткибули, 1981; Сухуми, 1983; Батуми, 1985; Боржоми, 1987; Телави, 1989); Всесоюзном научно-техническом семинаре "Прогноз выбросопасности угольных пластов и вмещающих пород на стадии геологоразведочных работ" (Днепропетровск, 1977); других Всесоюзных конференциях, семинарах и школах по обмену опытом. Приборы экспонировались на ВДНХ СССР и ВДНХ УССР, тематической выставке ВДНХ СССР "Достижения изобретателей и рационализаторов Днепропетровской области" (1978), международных коммерческих выставках (Ярославль, 1988; София, 1989), отмечены серебряными и бронзовыми медалями ВДНХ СССР, дипломами ВДНХ УССР, автор диссертации за личный вклад награжден двумя бронзовыми медалями ВДНХ СССР (1976, 1979) и дипломом второй степени ВДНХ УССР (1988).

По теме диссертации опубликовано 2 монографии, 65 печатных работ (брошюры, статьи, доклады) и получено 15 авторских свидетельств на изобретения.

Диссертация состоит из введения, шести разделов и заключения, содержит 356 страниц машинописного текста, включающих 20 таблиц и 56 рисунков, общий объем - 459 страниц со списком литературы из 330 наименований и семью приложениями.

ДЕКЛАРАЦИЯ О ЛИЧНОМ ВКЛАДЕ В РАЗРАБОТКУ НАУЧНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ. В качестве научного руководителя или ответственного исполнителя научно-исследовательских работ автор принимал непосредственное участие в проведении лабораторных и шахтных экспериментов, разработке, испытании и внедрении аппаратуры, отработке методологии контроля. Конкретный вклад соавторов публикаций отражен в тексте диссертации.

Основные методические положения контроля пород в шахтных условиях, анализ особенностей взаимодействия массива с крепью и подсистемы экспресс-контроля концептуально изложены в самостоятельных публикациях. Постановка аналитических исследований, выбор методов и аппаратуры, анализ лабораторных и шахтных измерений, обоснование принципов и физических основ геофизического экспресс-контроля механических свойств и состояния пород выполнены, а цель, задачи исследования, идея работы, основные научные положения, выводы и рекомендации сформулированы автором самостоятельно.

МЕТОДОЛОГИЯ, МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРЕДМЕТА И ОБЪЕКТА. Основная идея работы состоит в использовании особенностей распространения и взаимодействия акустических, электрических и электромагнитных полей в напряженных горных породах с учетом соотношения между размерами неоднородностей, областью воздействия эксперимента и длиной волны поля, действующего на исследуемый объект.

Методология и методы исследования: анализ и обобщение научно-технических достижений, математическое моделирование с использованием фундаментальных законов физики твердого тела (горных пород), механики сплошных сред и математической физики, экспериментальные исследования с разработкой принципиально новых способов и средств измерений в лабораторных, полевых и шахтных условиях.

Предмет и объект исследований: способы и средства геофизического экспресс-контроля, керн, образцы и массив горных пород глубоких шахт Донбасса, а также ПО "Карагандауголь", "Уралзолото", СУЕРа, Дегтярского медного рудника, концерна "Норильскникель", Днепропетровского метрополитена, Криворожской сверхглубокой скважины и др. шахт и подземных сооружений.

Автор выражает глубокую благодарность научному консультанту доктору технических наук, профессору Б.М.Усаченко за внимание и ценные советы при выполнении диссертации, считает приятным долгом выразить глубокую признательность докторам технических наук, профессорам В.Т.Глушко, А.Н.Зорину, В.С.Ямшикову, сотрудникам отдела механики горных пород ИГГМ НАН Украины за помощь в реализации разработок, работникам СКТЬ ИГГМ НАН Украины за освоение партий приборов разового изготовления, ПО "Волна" за освоение серийного производства приборов и всех организаций, принявших участие в совместном освоении и внедрении разработок.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Значительное повышение эффективности и достоверности контроля достигнуто разработкой геофизических экспресс-методов, которые базируются на фундаментальных физических закономерностях, связанных с деформированием и разрушением горных пород, новейших достижениях и открытиях последних лет, в частности методах спектрального анализа, оценки взаимных спектров, многопараметрового контроля и комплексирования, взаимной трансформации упругих волн, механоэлектрических эффектах, резонансных и других явлениях. Основные научные положения, защищаемые в диссертации:

1. В горных породах доминирующим фактором, определяющим изменение скоростей упругих волн, коэффициентов затухания, частотных спектров, а также кажущегося электросопротивления при их нагружении, является трещиноватость, поэтому геофизический экспресс-контроль свойств массива должен базироваться на измерении кинематических и электрических параметров, а его состояния - на контроле процесса трещинообразования.

2. В точках излучения и приема конусных излучателей и

приемников происходит трансформация продольных колебаний в сдвиговые и наоборот. Одновременный учет амплитудных диаграмм направленности конусных датчиков, векторной направленности колебаний волн различной поляризации, временного и фазового сдвига позволяет путем изменения угла наклона датчиков осуществить экспресс-определения скоростей продольных, поперечных и поверхностных волн на необработанных образцах произвольной формы, в том числе и кернах геологоразведочных скважин.

3. Учет амплитудных параметров автоспектров и взаимных спектров колебательного процесса отслоившихся участков породного массива позволяет исключить влияние изменений силы удара, базы контроля и условий акустического контакта при оперативном обнаружении скрытых отслоений и заколов, локальных и структурных нарушений в кровле и стенках горных выработок.

4. Трещиноватость горных пород при акустическом каротаже практически не влияет на скорости упругих волн в стенках скважин, заполненных жидкостью. Информативным является многопараметровый контроль акустического сигнала, прежде всего амплитуд продольных и поперечных волн, частотного спектра. Амплитуды колебаний снижаются с появлением отдельных трещин, причем поперечных волн больше, чем продольных; дальнейшее увеличение интенсивности трещиноватости не снижает амплитуду сигнала, но изменяет частоту максимума спектральной плотности.

5. Превышение горизонтальных деформаций над вертикальными при их абсолютной величине большей допустимых упруго-пластических деформаций приводит к образованию систем трещин, близких к вертикальному направлению, поэтому отличие свойств трещиноватого массива определяет информативность экспресс-контроля локальных концентраций напряжений.

Разработаны теоретические предпосылки геофизического

экспресс-контроля механических свойств и состояния горных пород и выполнен анализ процесса распространения акустических, электростатических и электромагнитных полей в слоистом, анизотропном массиве пород. При этом взрыв, удар, вибрация, динамические возмущения, являющиеся источником акустических и электромагнитных волн, могут быть одновременно и средством технологии. Исходя из принципа соответствия, воспользовавшись моделью Максвелла, изучены в общем виде особенности распространения акустических волн в напряженных осадочных горных породах, которые по своим упругим свойствам соответствуют мелкослоистой среде, если толщина слоев значительно меньше длины волны. С учетом геометрической нелинейности определены аналитические соотношения между упругими, вязкими и акустическими свойствами, раскрывающие зависимости скоростей и коэффициентов затухания упругих волн от напряжений. Для акустических волн малых амплитуд (сейсмоакустических, ультразвуковых) на основе физической нелинейности получены выражения для определения сдвига фаз между двумя компонентами поляризованной поперечной волны в направлении как вдоль, так и перпендикулярно слоистости после прохождения волной слоя определенной толщины. Наличие неоднородностей в массиве пород в виде пористости, анизотропии, упорядоченной трещиноватости при ударном или взрывном возбуждении упругих волн требует одновременного учета физической и геометрической нелинейности свойств среды. При распространении акустических волн вдоль слоев для скоростей (v^*) и затуханий (α) упругих волн получены выражения:

$$v_{P_{xx}}^* = v_{P_{xx}}^0 \left[1 \pm \frac{\sigma_{xx}}{3K} \right]^{\frac{1}{2}} \left[1 + \frac{\omega^2}{2(2G_2 + G_3)} \left(\frac{2\eta_2\tau_2}{1 + \omega^2\tau_2^2} + \frac{\eta_3\tau_3}{1 + \omega^2\tau_3^2} \right) \right];$$

$$v_{S_{xy}}^* = v_{S_{xy}}^0 \left[1 \pm \frac{\sigma_{yy}}{3K} \right]^{\frac{1}{2}} \left[1 + \frac{\omega^2\eta_3\tau_3}{2G_3(1 + \omega^2\tau_3^2)} + \frac{\sigma_{xx}^0 - \sigma_{yy}^0}{16G_3(1 \pm \sigma_{yy}/3K)} \right];$$

$$\begin{aligned}
 v_{s_{xz}} &= v_{s_{xz}}^{\circ} \left[1 \pm \frac{\sigma_{zz}}{3K} \right]^{\frac{1}{2}} \left[1 + \frac{\omega^2 \eta_5 \tau_5}{2G_5(1+\omega^2 \tau_5^2)} + \frac{\sigma_{xx}^{\circ} - \sigma_{zz}^{\circ}}{16G_5(1 \pm \sigma_{zz}/3K)} \right]; \\
 \alpha_{p_{xx}} &= \frac{1}{v_{p_{xx}}^{\circ}} \left[1 \pm \frac{\sigma_{xx}}{3K} \right]^{-\frac{1}{2}} \frac{\omega^2}{2(G_2 + G_3)} \left(\frac{2\eta_2}{1+\omega^2 \tau_2^2} + \frac{\eta_3}{1+\omega^2 \tau_3^2} \right); \\
 \alpha_{s_{xy}} &= \frac{1}{v_{s_{xy}}^{\circ}} \left[1 \pm \frac{\sigma_{yy}}{3K} \right]^{-\frac{1}{2}} \frac{\omega^2 \eta_3}{2G_3(1+\omega^2 \tau_3^2)}; \quad \alpha_{s_{xz}} = \frac{1}{v_{s_{xz}}^{\circ}} \left[1 \pm \frac{\sigma_{zz}}{3K} \right]^{\frac{1}{2}} \frac{\omega^2 \eta_5}{2G_5(1+\omega^2 \tau_5^2)}; \\
 v_{p_{xx}}^{\circ} &= \sqrt{\frac{2(2G_2 + G_3)}{\rho}}; \quad v_{s_{xy}}^{\circ} = \sqrt{\frac{4G_3}{\rho}}; \quad v_{s_{xz}}^{\circ} = \sqrt{\frac{4G_5}{\rho}}, \quad (1)
 \end{aligned}$$

где: $v_{p_{xx}}^{\circ}$, $v_{s_{xy}}^{\circ}$, $v_{s_{xz}}^{\circ}$

- скорости волн в образцах осадочных горных пород; σ_{xx} , σ_{yy} , σ_{zz} , σ_{xx}° и σ_{yy}° - система трех главных и начальные напряжения; K - модуль всестороннего сжатия; ω - циклическая частота; η , τ и G - вязкости, времена релаксации и адиабатические значения модулей упругости; ρ - плотность.

Для акустических волн, распространяющихся перпендикулярно слоистости (в направлении оси Z), аналогично получены следующие уравнения:

$$\begin{aligned}
 v_{p_{zz}} &= v_{p_{zz}}^{\circ} \left[1 \pm \frac{\sigma_{zz}}{3K} \right]^{\frac{1}{2}} \left[1 + \frac{\omega^2 \eta_1 \tau_1}{2G_1(1+\omega^2 \tau_1^2)} \right]; \\
 v_{s_{zn}} &= v_{s_{zn}}^{\circ} \left[1 \pm \frac{\sigma_{nn}}{3K} \right]^{\frac{1}{2}} \left[1 + \frac{\omega^2 \tau_5 \eta_5}{2G_5(1+\omega^2 \tau_5^2)} + \frac{\sigma_{zz}^{\circ} - \sigma_{nn}^{\circ}}{16G_5(1 \pm \sigma_{nn}/3K)} \right]; \\
 \alpha_{p_{zz}} &= \frac{1}{v_{p_{zz}}^{\circ}} \left[1 \pm \frac{\sigma_{zz}}{3K} \right]^{-\frac{1}{2}} \frac{\omega^2 \eta_1}{2G_1(1+\omega^2 \tau_1^2)}; \\
 \alpha_{s_{zn}} &= \frac{1}{v_{s_{zn}}^{\circ}} \left[1 \pm \frac{\sigma_{nn}}{3K} \right]^{-\frac{1}{2}} \frac{\omega^2 \eta_5}{2G_5(1+\omega^2 \tau_5^2)}, \quad (2)
 \end{aligned}$$

где $n = x, y$.

Для пород, состоящих из чередующихся слоев (осадочные породы и породы с системой плоскопараллельных трещин), с учетом геометрической и физической нелинейности получены уравнения, из которых видно, что на изменение параметров продольных волн

оказывают влияние напряжения только в направлении распространения колебаний, а на изменение параметров поперечных волн влияют как напряжения в направлении распространения волн, так и в направлении их поляризации. Анализ уравнений показывает на большую зависимость коэффициента затухания от частоты, чем от напряжений, что служит предпосылкой для определения трещиноватости с помощью спектрального анализа.

В результате решения уравнения Ламэ для поперечной волны установлено, что поперечная сферическая волна (на практике это – сейсмоакустические волны, сейсмические волны, возбуждаемые взрывным источником или ударом, ультразвуковые волны в случае применения точечных излучателей) поляризуется и имеет диаграмму направленности, отличную от диаграммы направленности продольной волны:

$$u_{\theta} = \frac{Q}{4\pi} \frac{e^{-i(K_0 r - \omega t)}}{K_0 r} \sin\theta; \quad u_r = \frac{Q}{4\pi} \frac{e^{-i(K_0 r - \omega t)}}{K_0^2 r^2} \cos\theta, \quad (3)$$

где $Q = 4\pi u_0 R_0^2 K_0^2$ – амплитуда колебаний сферического источника радиуса $R_0 \ll \lambda$; u_0 – первичное смещение сферы; K_0 – волновое число; λ – длина волны.

С целью обоснования возможностей экспресс-контроля состояния массива электрометрическим методом определено кажущееся электрическое сопротивление трехслойного массива пород для двухэлектродного источника. Такой упрощенный подход правомерен и в случае большего количества источников, так как задача рассмотрена для электростатического поля без учета переходных процессов (низкочастотный электрометрический контроль). Рассмотрены исходные методические положения спектрального анализа с применением ЭЕМ. Впервые предложен метод определения взаимных спектров геофизической информации для взаимосвязанных физических процессов, позволяющий учесть влияние

измерительной системы излучатель - контакт - массив - контакт-приемник и разнообразие горно-геологических условий при контроле. На практике спектр можно получить аналитически, а также путем обработки исходной информации с помощью ЭВМ или специализированных приборов. Каждый способ имеет свои достоинства и недостатки в зависимости от конкретно решаемой задачи, в данной работе используются способы: аналитический - для анализа вклада исходных измерений в информативные параметры; обработка с помощью ЭВМ - при невозможности проведения приборной или необходимости получения статистических параметров с целью оценки достоверности результатов измерений; приборная - при проведении текущих исследований и разработке аппаратуры геофизического шахтного контроля.

Получены уравнения, описывающие закономерности распространения акустических волн и их рассеяния на сферических включениях и трещинах с учетом потерь на вязкое трение. В качестве информативного параметра для характеристики степени нарушения предложена плотность комплексного спектра смещения продольных и поперечных волн:

$$|S_{u_p}| = \frac{R^3 P_0 (1-\nu_1)}{2rg v_{p_1}^2 (1-2\nu_1)} \sqrt{\left[\alpha_{p_1} + \frac{2}{9} n_0 q_p \left(\frac{\omega}{v_{p_1}} r_0 \right)^4 \right]^2 + \frac{\omega^2}{v_{p_1}^2}};$$

$$|S_{u_s}| = \frac{R P_0 v_{s_2}^2 (1-\nu_1)}{rg v_{p_1}^4 \left(\alpha_{s_1} + \frac{2}{3} n_0 q_s \left(\frac{\omega}{v_{s_1}} r_0 \right)^4 \right)^2} \sqrt{\left[\alpha_{s_1} + \frac{4}{3} n_0 q_s \left(\frac{\omega}{v_{s_1}} r_0 \right)^4 \right]^2 + \frac{\omega^2}{v_{s_1}^2}}, \quad (4)$$

где R - радиус полости; P_0 - внешняя сила; ν - коэффициент Пуассона; r_0 - размер (радиус) трещин с концентрацией n_0 ;

$$q_p = \left[\frac{4}{3} + 20 \frac{1 + \sqrt{2} \left(\frac{1-\nu_1}{1-2\nu_1} \right)^{\frac{5}{2}}}{\left[1 - 9 \frac{1-\nu_1}{1-2\nu_1} \right]^2} + \frac{4\sqrt{2} \left(\frac{1-\nu_1}{1-2\nu_1} \right)^{\frac{3}{2}} - 9 \left(\frac{1-\nu_1}{1-2\nu_1} \right)^2}{3} \right] \pi r_0^2;$$

$$q_s = \frac{8}{3} \left[1 + \frac{4(1-\nu_1)}{1-2\nu_1} \frac{1 + \frac{2(1-\nu_2)}{1-2\nu_2}}{\frac{2\nu_p^2}{\nu_{p2}\nu_{s2}} - 3\sqrt{\frac{2(1-\nu_2)}{1-2\nu_2}}} \right] \pi r_0^2$$

Анализ решения показывает, что плотность комплексного спектра смещения для продольной волны зависит от упругих и вязких свойств горных пород, размеров трещин и концентрации рассеивающих центров, а для поперечных сферических волн - и от свойств заполнителя трещин или неоднородностей, что является дополнительным информативным признаком для контроля включений. Спектр смещения упругих волн с ростом трещиноватости изменяется на порядок сильнее, чем электромагнитных.

Физические основы, способы и средства ультразвукового экспресс-контроля механических свойств пород базируются на обобщении теоретических и экспериментальных данных по определению скоростей продольных и поперечных волн. В Донбассе с ростом степени метаморфизма увеличивается разница между скоростями волн в углях и вмещающих породах, скорости в углях уменьшаются при переходе от длиннопламенных к тощим, а затем возрастают. Градиент скорости уменьшается с глубиной и имеет аномальные значения на отдельных интервалах. Отношение v_p/v_s колеблется в незначительных пределах (у песчаников - от 1,5 до 2,1; у глинистых сланцев - от 1,6 до 2,4). Минимальным затуханием волн характеризуются песчаники, однако они имеют максимальный коэффициент вариации по затуханию. Затухание поперечных волн выше, чем продольных, в целом различие коэффициентов затухания пород незначительно. Амплитуды волн изменяются в 5-10 раз, для песчаников амплитуды прохождения упругих волн максимальны. Минимальные значения амплитуд поперечной волны соответствуют породам из трещиноватых зон.

Придерживаясь генетической концепции В.С. Стефанюка в основу

которой для исследования прочностных характеристик принято разделение пород на три генетические группы (морские, переходные и континентальные), разработаны методики экспресс-определения прочностных и упругих параметров, базирующиеся на экспресс-методах определения скоростей упругих волн. В частности, разработан Метод экспресс-определения скоростей поперечных волн, основанный в том числе и на существенно новых способах выделения первого вступления поперечной волны специальной установкой и поворотами конусных излучателя и приемника при необходимой жесткости акустических контактов (а.с. 1221581, 1394120). Существенное преимущество метода в возможности полного исключения механической обработки образцов и керна (а.с. 734552).

Для определения механических свойств горных пород по керну геологоразведочных скважин разработана ультразвуковая аппаратура "Керноскоп-2" и "Керноскоп-3" с цифровой индикацией (а.с. 572704, 1075146). Работа приборов базируется на линейных корреляционных зависимостях, установленных между скоростью ультразвука, прочностью и упругими параметрами пород. Возможны варианты кусочно-линейной аппроксимации. Зависимости для различных литотипов (9 зависимостей) можно ввести непосредственно в прибор, измерение базы автоматическое. Прибор "Керноскоп-3" позволяет дополнительно определить скорости сдвиговых или поверхностных волн на образцах неправильной формы, ввести в память значения скоростей и плотности пород и вычислить автоматически модуль Юнга, сдвига и коэффициент Пуассона. На базе приборов "Керноскоп-2" и "Керноскоп-3" организовано серийное производство приборов УЖ-ГОПМС, которые предназначены для контроля горных пород, строительных материалов, изделий из пластмасс, полимерных и композитных материалов (а.с.1259184).

Прибор может быть использован для контроля процесса разрушения образцов при их нагружении или контроля качества бетона в процессе его твердения. Прибор микропроцессорный и позволяет измерять время прохождения упругих волн на заданной базе прозвучивания, скорости волн и амплитуду первой полуволны. Отличительной особенностью аппаратуры является применение конечных излучателей и приемников с точечными контактами, исключающими необходимость механической обработки керна. Все приборы имеют унифицированные разъемы для подключения цифровых устройств. Применение на практике разработанных методов и аппаратуры показало возможность проведения массового экспресс-контроля прочностных и упругих свойств пород непосредственно в полевых условиях геологоразведочных скважин, в результате чего увеличивается объем информации при снижении затрат в 10-20 и более раз на испытания за счет исключения консервации, отправки образцов в лаборатории и последующей их специальной механической обработки для проведения измерений.

Проведены межведомственные испытания по оценке работоспособности методов экспресс-контроля механических свойств керна геологоразведочных скважин Восточного Донбасса на основе корреляционных зависимостей (ПО "Ростовуглеразведка") и скоростей поперечных волн различных литотипов горных пород (ИГТМ НАН Украины), межведомственные испытания аппаратуры "Керноскоп-2" и государственные испытания серийной аппаратуры Ж-10ПМС. Ошибка определения предела прочности на одноосное сжатие для песчаников и известняков составила 5-8 %, алевролитов и аргиллитов - 13-24 %; модулей Юнга и сдвига для песчаников - 4-7%, аргиллитов и алевролитов - 9-16 %. Погрешность экспресс-определения скоростей поперечных волн составила 3-8 %, для весьма неоднородных пород с различной степенью анизотропии она не

превышала 16 %. Приборная погрешность определения скоростей упругих волн для аналоговых приборов составила $\pm 3\%$, для цифровых - $\pm 0,5\%$. Оценка прочности методом акустического каротажа показала, что среднеквадратичные ошибки составляют 19 и 13 % соответственно для данных каротажа и сопоставительных испытаний, что вполне достаточно для экспресс-метода как упрощенного метода контроля.

Для шахтных условий разработаны физические основы и созданы технические средства системы геофизического экспресс-контроля приконтурной зоны породного массива, в частности скрытых отслоений и заколов кровли и стенок горных выработок, механических свойств, напряженного состояния и нарушенности пород, в основу которой положены наиболее отработанные методы шахтного контроля: виброакустический, ультразвуковой и электрометрический. Исходя из основной идеи работы и конкретных экспериментальных данных, изучены особенности акустических и электрометрических измерений, схем расположения измерительных скважин, интерпретации результатов, средств контроля, в том числе в шахтах, опасных по газу или пыли.

На основе теоретических зависимостей предложены упругие постоянные трансверсально-изотропных пород, которые описывают их свойства в различных направлениях. Модуль C_4 описывает свойства пород под углом к слоистости, он наиболее наглядно отражает изменение свойств слоистых пород, происходящее под воздействием напряжений:

$$C_4 = 2G \left(\nu_{\rho_{\theta\theta}}^2 - \frac{\nu_{\rho_{xx}}^2 + \nu_{\rho_{zz}}^2 + 4\nu_{S_{zx}}^2}{4} \right) = \frac{2E_{\theta} (1 - \nu_{\theta})}{(1 + \nu_{\theta})(1 - 2\nu_{\theta})} - \frac{E_{\parallel} (1 - \nu_{\parallel})}{2(1 + \nu_{\parallel})(1 - 2\nu_{\parallel})} - \frac{E_{\perp} (1 - \nu_{\perp})}{2(1 + \nu_{\perp})(1 - 2\nu_{\perp})} - 2G_1, \quad (5)$$

где $\nu_{\rho_{\theta\theta}}$ - скорость продольных волн под углом $\theta = 45^\circ$ к

слоистости; E_{θ} , E_{\parallel} , E_{\perp} и ν_{θ} , ν_{\parallel} , ν_{\perp} - модули Юнга и коэффициенты Пуассона, полученные путем прозвучивания под углами 45, 0 и 90° к слоистости. Коэффициенты акустической вязкости, учитывающие слоистость горных пород, четко отражают изменение зон трещиноватости в массиве.

Для контроля в угольных шахтах изготовлена разовая партия взрывозащищенных ультразвуковых приборов ШУП-1, предназначенных для определения концентраций напряжений в породном массиве, физико-механических свойств пород, зон расслоения и повышенной трещиноватости в кровле горных выработок, дефектов и структурных нарушений в бетонных балках, креплениях и шахтных стволах (а.с. 375542). Разработан макет шахтного ультразвукового прибора ШУП-2, в котором применена современная схемотехника, аналогичная прибору УЖ-10ПМ. Разработаны искробезопасные электрометрические приборы ШИС-2, ШИС-3, ШИС-3М и изготовлена разовая партия приборов ШИС-3, которые предназначены для измерения четырехэлектродным методом кажущегося электрического сопротивления горных пород в массиве. Разработан макет устройства для исследования состояния массива с учетом влияния частоты электрического поля на основе использования принципа синхронного детектора. Ультразвуковые приборы позволяют измерить время вступления продольных и поперечных волн в диапазоне 10-999 мкс на частотах 25-250 кГц, электрометрические приборы - сопротивление до 50 кОм при величине переходных сопротивлений до 75 кОм, приведенная приборная погрешность составляет $\pm 2\%$.

Впервые опробован контроль пород методом оценки взаимных спектров: колебаний разрушенных и цельных участков при ударном воздействии, различных типов ультразвуковых волн и различных по природе возникновения упругих и электромагнитных

импульсов. На основе принципа параллельного спектрального анализа разработан прибор-индикатор состояния кровли ИСК-I, позволяющий с помощью одного удара по массиву получить спектр отклика на ударное воздействие практически за несколько секунд (возможно получение двух спектров одновременно). Прибор предназначен для контроля видимых и скрытых расслоений, отслоений и заколов в кровле и стенках горных выработок, оценки их относительной устойчивости, что связано, в первую очередь, с предупреждением травматизма. Проведен контроль металлических, деревянных, бетонных, набрызг-бетонных и комбинированных крепей, свойств и состояния закрепного пространства, в том числе отслоившейся и разрушающейся крепи горных выработок, заобделочных пустот, тампонажных работ и анкерования при ремонте крепи. Прибор показал также удовлетворительную работоспособность при контроле разрушающейся бетонной закладки и породных целиков. Экспериментальные образцы прошли испытания в условиях рудников Норильского горно-металлургического комбината, ПО "Полиминерал", ПО "Селидовуголь" и Днепропетровского метрополитена. Разработан искробезопасный вариант прибора ИСК-III. Такой комплекс взрывозащищенных искробезопасных приборов контроля механических свойств и состояния массива разработан впервые. Шахтные приборы отличаются портативностью, наличием автономных источников питания, экономичностью по питанию (за исключением прибора ШУП-I, имеющего ЭЛТ), оперативностью работы и повышенной помехозащищенностью.

На основе выбора упрощенных параметров контроля разработаны технические задания и изготовлены разовые партии приборов-индикаторов виброакустического контроля ПЕК-I и "Эридан", которые предназначены для экспресс-контроля отслоений и заколов кровли горных выработок. Испытания приборов на подземных

предприятиях СУБРА, Дегтярского медного рудника, Березовского рудника по добыче золота, Артемовского алебастрового комбината и Днепропетровского метрополитена показали эффективность их применения в широком диапазоне изменения горно-геологических условий. В настоящее время ведутся работы по освоению серийного выпуска приборов данного назначения на более высоком техническом уровне на основе микроЭВМ.

Созданы способы и усовершенствованы средства локализации дальней зоны массива. Физическая основа выделения интервалов трещиноватых пород методом акустического каротажа заключается в различии акустических свойств пород и заполнителя трещин. Наиболее существенное влияние трещины оказывают на амплитуды волн, амплитуда поперечной волны уменьшается сильнее, чем продольной. Обменные волны, образуясь на отдельных трещинах, могут служить критерием для непосредственного определения местоположения трещины. Волны интерферируют между собой, в результате чего происходит изменение видимых периодов колебаний. Поскольку скорости упругих волн в образцах с разной литологией изменяются в 2-3 раза, а от влияния напряжений - только на 20-30 %, то для контроля напряжений перспективно комплексное использование акустического каротажа и аппаратуры типа "Керноскоп".

На основе этих исследований установлена эффективность выявления тектонических нарушений по материалам акустического каротажа. На участке Холодная Балка Нижняя по 33 исследованным скважинам зарегистрировано 46 крупных нарушений. 20 нарушений с амплитудой сместителя около 10 м не установлено по геологической документации, а 5 - по данным акустического каротажа, без комплексного анализа они были бы не выявлены.

Выполнены в соавторстве работы по апробации и совершенст-

вованию методов локации (сейсмической, сейсмоакустической, сейсмoeлектрической и радиолокации) массива горных пород в дальней зоне без проведения буровых работ, в частности, созданы на базе вторичных механоэлектрических явлений способы локации структурных неоднородностей и зон концентрации напряжений (а.с. 894635, 960699, 1146448, 1322832), которые существенно повышают эффективность и точность контроля. Разработаны технические задания и изготовлены разовая партия аппаратуры записи сигналов в аналоговой форме "Агат" (а.с. 918914 на входное устройство регистратора) и экспериментальная радиолокационная установка РЛУ-III (а.с. 784672 на антенну установки), которые предназначены для определения неоднородностей в рудных массивах и их положения в пространстве.

В наиболее полном объеме комплекс экспресс-методов контроля и его методическое обеспечение, реализующие особенности системы оперативной диагностики свойств и состояния массива, а также горнотехнических процессов, апробирован при отработке пологих и крутых угольных пластов Донбасса. Кроме геофизических исследований, проведены контрольные измерения механических нагрузок на крепь, давления в крепи, деформаций и смещений горного массива. Система разработанных геофизических приборов лабораторного и шахтного экспресс-контроля дополнена приборами общего назначения, которые позволяют производить измерения и регистрацию одиночных ударных, ультразвуковых и электрических импульсов, последовательность этих импульсов в широком диапазоне частот. Из специализированных серийных приборов она включает: ультразвуковые приборы (ДУК-20, УК-101М и УД-10), анализаторы спектров (С4-25, С4-59, "Спектр"), вибростенд и октавные фильтры OF -101 производства ГДР, запоминающие осциллографы (ОЗ-13, ОЗ-17, ОЗ-8), геофизическую

аппаратуру (ИКС-1, ИКС-50). Нагрузка определялась динамометрами 45Д-135 и динамометрическими площадками ДП-3, давление в крепи - самопишущими манометрами М66Л, деформация - деформометрами с применением искробезопасных приборов ИИД-3 и смещение массива - глубинными репёрами с применением самописцев податливости. Для определения основных закономерностей формирования горного давления в зависимости от влияния горно-геологических и горнотехнических факторов исследования проводились в течение отработки всей панели. Влияние глубины разработки определялось путем установки измерительных станций на различных горизонтах при условии равенства или незначительного отклонения других факторов.

Благодаря применению разработанной аппаратуры, простых методических и технологических приемов экспресс-контроля достигнута весьма высокая его производительность, позволяющая оценить за одну смену по различным технологическим факторам состояние закрепленных и незакрепленных горных выработок протяженностью от I до 3 км в зависимости от детальности контроля.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается сочетанием теоретических и экспериментальных исследований, принятыми теоретическими предпосылками, базирующимися на фундаментальных законах физики твердого тела (горных пород); совокупностью результатов лабораторных, полевых и шахтных экспериментальных исследований механических свойств и состояния пород, отслоений и заколов кровли горных выработок, неоднородностей в массиве; статистической обработкой и достаточностью объема экспериментальных данных, обеспечивающих даже в случае применения индикаторных приборов надежность результатов не ниже 80 % при относительной погрешности не более 30 %, удовлетворительной

погрешностью экспресс-методов определения прочностных и упругих свойств образца и массива, не превышающей 20 %, высокой точностью разработанных приборов с приведенной погрешностью 0,5–3 % в зависимости от назначения; положительными результатами проведения приемочных, межведомственных или государственных испытаний разработанных приборов с соответствующей их метрологической аттестацией; опытно-промышленной проверкой разработок и их внедрением.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации обобщены результаты теоретических и экспериментальных исследований, решена крупная научная проблема, имеющая важное народнохозяйственное значение, заключающаяся в создании физико-технических основ геофизического экспресс-контроля механических свойств и состояния породного массива в шахтах и подземных сооружениях. Итоговые выводы сводятся к следующему:

1. Установлены закономерности, особенности распространения и взаимодействия физических полей (акустического, электростатического, электромагнитного) в сложноструктурном (изотропном, мелкослоистом, слоистом, трещиноватом) массиве горных пород, находящемся в трехмерном напряженном состоянии, на базе которых обоснован рациональный комплекс взаимодополняющих информативных параметров геофизического экспресс-контроля механических свойств и состояния массива, доказана применимость методов спектрального анализа при контроле процессов в массиве и степени его нарушенности.

2. Установлено, что влияние напряжений на изменение скоростей и коэффициентов затухания упругих волн во вязкоупругой области нагружения происходит преимущественно в направлении смещения колеблющихся частиц среды. Выполнен сопоставительный

анализ влияющих факторов (слоистости, начальных напряжений, внешних напряжений, геометрической нелинейности свойств среды, физической нелинейности, чередующихся слоев) на распространение различных волн по типу и природе возникновения.

3. Разработаны и апробированы новые методы исследований: метод экспресс-определения скорости поперечных волн и оценки упругих параметров, основанный на выделении первого вступления поперечной волны поворотом конусных излучателя и приемника при обеспечении необходимой жесткости акустических контактов и позволяющий исключить механическую обработку образцов и керна; метод диагностики свойств и состояния массива горных пород при керновом бурении, основанный на сравнении данных акустического каротажа скважин и ультразвуковых измерений керна непосредственно в полевых условиях аппаратурой типа "Керноскоп" и позволяющий прогнозировать состояние пород при изменении их литологии и трещиноватости; метод оценки взаимных спектров геофизической информации о состоянии контролируемого массива пород или процесса, основанный на определении с помощью ЭВМ взаимного амплитудного спектра сопоставляемых состояний и позволяющий учесть влияние системы измерительных датчиков, контактных условий и прибора на конечный результат в целом, установить взаимозависимость различных по природе физических полей.

4. Разработаны физические основы и принципиально новые способы геофизического экспресс-контроля механических свойств и состояния массива пород, позволяющие определить скорость распространения поперечных волн без механической обработки образцов (а.с. 1221581, 1394120), местоположение объекта (а.с. 894635, 960699, 1322832) и напряженное состояние массива пород (а.с. 1146443) без бурения шпуров и скважин.

5. Разработаны подсистемы контроля свойств необработанных образцов и керна, приконтурной и дальней зоны массива пород в сложных горно-геологических условиях шахт и подземных сооружений; структурные схемы и элементы технических устройств приборов геофизического экспресс-контроля (а.с. 375542, 572704, 734552, 784672, 918914, 1075146, 1259184, 1627696); технические задания на приборы разового и серийного производства ("Керноскоп-2", УК-ЮГМС, ПК-1, РЛУ-2Ш, "Агат"), которые утверждены Минуглепромом, Минприбором и Минцветметом СССР.

6. Реализован комплекс аппаратуры, включающий ультразвуковые ("Керноскоп-2", "Керноскоп-3", ШУП-1, УК-ЮГМС), виброакустические (ИКС-1, ИСК-1Ш, ПК-1, "Эридан"), сейсмoeлектрический ("Агат"), электрометрические (ИКС-1Ш, ШИС-2, ШИС-3) приборы, радиолокационную станцию РЛУ-1Ш. Проведены шахтные, приемочные, межведомственные или государственные испытания, изготовлены разовые партии приборов и освоено серийное производство приборов УК-ЮГМС в рамках стран - членов СЭВ.

7. Доказана работоспособность геофизических экспресс-методов и установлены аномальные участки повышенной выбросоопасности, влияние дизъюнктивных тектонических нарушений на концентрацию напряжений в угольном массиве, изучен в особо сложных горно-геологических условиях крутого падения Центрального района Донбасса механизм взаимодействия крепи щитовых агрегатов с боковыми породами.

8. Разработаны методики экспресс-определения прочностных и упругих свойств пород, локации структурных неоднородностей в массиве, оформленные в виде руководств, нормативных документов и рекомендаций: "Методические указания по разработке руководств для экспресс-определения прочностных свойств углевещающих пород по керну", "Временные методические указания

по экспресс-определению упругих свойств горных пород ультразвуковым методом на необработанных образцах керна геологоразведочных скважин", "Руководство по экспресс-определению прочностных свойств углевещающих пород Донбасса по их геологическим характеристикам и акустическим измерениям кернов геологоразведочных скважин", "Методические указания по геофизическому контролю структурной нарушенности массива горных пород", "Методика оценки основных технологических и технических параметров отработки крутых пластов цитовыми агрегатами", "Методические рекомендации по инженерно-геологическому изучению глубоких горизонтов месторождений твердых полезных ископаемых при разведке".

9. Результаты работы внедрены в технические задания, нормативно-техническую документацию и методические руководства, приборы разового и серийного производства. Фактический экономический эффект в ценах 1990 г. составил 3672 тыс. руб., с учетом долевого участия ИГТМ НАН Украины - 1482 тыс. руб.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ НАУЧНЫХ РАБОТ, ОТРАЖАЮЩИХ ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ. Монографии.

1. Глушко В.Т., Ямщиков В.С., Яланский А.А. Геофизический контроль в угольных шахтах.- К.: Наук. думка, 1978.- 224 с.

2. Глушко В.Т., Ямщиков В.С., Яланский А.А. Геофизический контроль в шахтах и тоннелях.- М.: Недра, 1987.- 278 с.

Брошюры, методики и руководства.

3. Ультразвук в разведочном бурении/В.Т.Глушко, П.К.Кучеба, А.М.Куц, В.И.Хлыстов, А.А.Яланский.- Донецк: Донбасс. 1974.- 72 с.

4. Методика оценки основных технологических и технических параметров отработки крутых пластов цитовыми агрегатами/ В.Т.Глушко, А.А.Яланский, А.Т.Дурносков, Т.А.Пелемарчук.- К.:

Наук. думка, 1981.- 54 с.

5. Методические указания по разработке руководств для экспресс-определения прочностных свойств углевмещающих пород по керну геологоразведочных скважин. РД/Ю.Г.Мясников, А.А.Майборода, О.С.Алферов, И.Я.Панков, В.Н.Тумко, А.А.Яланский, В.А.Глухих.- Л.: ВНИМИ, 1983.- 66 с.

6. Методические рекомендации по инженерно-геологическому изучению глубоких горизонтов месторождений твердых полезных ископаемых при разведке/В.В.Фромм, К.-А.К.Вайтекунас, А.А.Дончук, А.А.Яланский.- М.: ВСЕГИНГЕО, 1985.- 38 с.

7. Временные методические указания по экспресс-определению упругих свойств горных пород ультразвуковым методом на необработанных образцах керна геологоразведочных скважин. РД/А.А.Яланский, Т.А.Паламарчук, С.И.Скипочка, Г.Т.Рубец, Б.М.Усаченко, В.А.Глухих, А.А.Майборода, А.И.Комаров, Р.Х.Миняфаев, Р.А.Такранов, В.В.Фромм, В.М.Бобренко, В.В.Рябов.- Л.: ВНИМИ, 1987.- 39 с.

8. Руководство по экспресс-определению прочностных свойств углевмещающих пород Донбасса по их геологическим характеристикам и акустическим измерениям кернов геологоразведочных скважин. РД/А.А.Майборода, Р.Х.Миняфаев, О.С.Алферов, А.А.Яланский.- Днепропетровск: Зоря, 1988.-Ч.1.-47с. Ч.2.-84с.

Статьи и доклады.

9. Глушко В.Т., Виноградов В.В., Яланский А.А. Исследование массива горных пород в зоне неупругих деформаций на базе ультразвукового метода (укр)//Доповіді АН УРСР.-К.-Сер.Б.- 1973.- № 7.- С. 613-616.

10. Ультразвуковые волны в мелкослоистой среде с начальными напряжениями (укр) /В.Т.Глушко, Т.А.Паламарчук, А.А.Яланский, В.Т.Билокинъ//Доповіді АН УРСР.- К.: Наук. думка.- Сер.

Б.-1973.- № 10.- С.907-911.

11. Глушко В.Т., Курносов А.Т., Яланский А.А. Особенности отработки крутых пластов Центрального района Донбасса щитовыми агрегатами//Технология добычи угля подземным способом. ЦНИИУголь, 1976.- № 8.-С.23-25.

12. Яланский А.А., Курносов А.Т., Иванов И.Ф. Исследование геофизическими методами напряженно-деформированного состояния боковых пород крутых пластов при работе механизированных крепей и щитовых агрегатов//Механика и разрушение горных пород.- К.: Наук.думка, 1977.-С.15-21.

13. Крепление углеспускных и вентиляционных печей крутых пластов/А.А.Яланский, А.Т.Курносов, А.Ф.Булат, М.Д.Свинский//Добыча угля подземным способом. ЦНИИУголь, 1977.- № 4.- С.32-34.

14. Яланский А.А. О возможности управления горным давлением и его контроле при щитовой выемке//Механика и технология подземных горных работ.-К.: Наук.думка, 1978.- С.187-191.

15. Яланский А.А. К вопросу изучения напряженного состояния массива пород по материалам разведки//Научные основы и методы изучения и прогноза инженерно-геологических условий в процессе разведки месторождений полезных ископаемых.-М.: ВСЕГИНГЕО, 1979.- С.113.

16. Яланский А.А. Оценка эффективности отработки крутых пластов щитовыми агрегатами//Разработка месторождений полезных ископаемых на больших глубинах.-К.: Наук.думка, 1979.- С.92-97.

17. Глушко В.Т., Виноградов В.В., Яланский А.А.Механизм взаимодействия крепь-нарушенный массив - основа управления горным давлением//Материалы пленарного заседания Международного бюро по механике горных пород.-Л.: 1979.- С.73-79.

18. К вопросу шитовой отработки крутых пластов Донбасса/ В.Н.Потураев, В.Т.Глушко, А.А.Яланский, А.Т.Курносков//Безлюдная выемка угля.-К.: Наук.думка, 1980.- С.124-127.

19. Яланский А.А. К вопросу влияния тектоники на формирование напряженного состояния горного массива// Динамические проявления горного давления.-К.: Наук.думка, 1980.-С.93-97.

20. Яланский А.А. К вопросу контроля динамики состояния горного массива геофизическими методами//Ресурсы твердых горючих полезных ископаемых, их увеличение и комплексное рациональное использование в народном хозяйстве: Материалы Всесоюзной угольной конференции.- Ростов-на-Дону, 1981.-Ч.2.- С.216-217.

21. Яланский А.А., Курносков А.Т., Паламарчук Т.А. Управление разрушением горного массива при очистной выемке//Управление процессами разрушения горных пород.- К.: Наук.думка, 1984.- С.109-113.

22. Яланский А.А. Система геофизического контроля свойств и напряженно-деформированного состояния горного массива//Горная геофизика.-Батуми: НТГО Груз.ССР, 1985.- С.89.

23. Яланский А.А., Паламарчук Т.А. Оценка тектонического состояния шахт Донбасса по результатам натуральных исследований// Измерение напряженно-деформированного состояния и свойств пород в массиве при отработке месторождений полезных ископаемых: Материалы Всесоюзного симпозиума.-Апатиты, 1985.- С.32-36.

24. Контроль разрушения массива горных пород геофизическими методами/А.А.Яланский, Т.А.Паламарчук, В.В.Хотинец, А.В.Бойко//Интенсификация процессов разрушения горных пород.- К.: Наук.думка, 1986.- С.113-117.

25. К выбору критерия контроля заколообразования в кровле горных выработок виброакустическим методом/А.А.Яланский, Т.А.Паламарчук, С.И.Скипочка, А.В.Бойко//Физика и процессы

разрушения горных пород.- К.: Наук.думка, 1987.- С.124-127.

26. Применение сейсмоакустического и виброакустического метода при изучении состояния горных массивов/Б.М.Усаченко, С.И.Скипочка, А.А.Яланский, А.В.Бойко, Г.Ф.Галкин//М.: Цветная металлургия, 1987.- № 3.- С.1-4.

27. Яланский А.А. К вопросу геофизического контроля в механике горных пород//Горная геофизика.-Тбилиси: Мецниереба, 1987.- С.14-15.

28. Яланский А.А., Паламарчук Т.А., Скипочка С.И. Оперативный контроль свойств и состояния массива горных пород // Сборник докладов УП Международного конгресса по маркшейдерскому делу.- Л.: ВНИИ, 1988.-Т.13.- С.30-41.

29. Яланский А.А., Паламарчук Т.А., Бойко А.В. Механо-электрический контроль процесса разрушения горных пород// Разрушение горных пород.-К.: Наук.думка, 1988.- С.68-72.

30. Сергиенко В.Н., Усаченко Б.М., Яланский А.А. Прибор виброакустического контроля породного массива//Безопасность труда в промышленности.- М.: Недра, 1989.- № 1.- С.35-36.

31. Яланский А.А., Паламарчук Т.А., Глухих В.А. Особенности непрерывного ультразвукового контроля разрушения твердых тел на основе микропроцессорной техники//Повышение эффективности разрушения горных пород.- К.: Наук.думка, 1991.-С.126-128.

32. Методы и средства оперативного геофизического контроля механических свойств и состояния горных пород/Б.М.Усаченко, А.А.Яланский, Т.А.Паламарчук, А.В.Бойко//Металлургическая и горнорудная промышленность.-Днепропетровск: ГПО "Джметаллург-пром", 1991.- № 2.- С.51-53.

Авторские свидетельства.

33. А.с. 572704. Устройство для ультразвукового контроля /В.Т.Глушко, Е.В.Терентьев, А.М.Куц, А.А.Яланский, В.А.Глухих

//Б.И.-1977.- № 34.- С.105.

34. А.с. 734552. Устройство для определения физических характеристик образцов/В.Т.Глушко, Г.И.Луговой, В.Ф.Череповский, А.А.Яланский, В.Н.Лупыр, В.А.Чумак, В.А.Глухих//Б.И.-1980.- № 18.- С.229.

35. А.с. 894635. Способ геофизической разведки/В.Т.Глушко, А.А.Яланский, С.И.Скипочка//Б.И.-1981.- № 43.- С.234. *

36. А.с.918914.Устройство для сейсмической разведки/В.Т.Глушко, А.А.Яланский, С.И.Скипочка//Б.И.-1982.-№13.- С.202.

37. А.с. 960699. Способ геофизической разведки/В.Т.Глушко, Е.С.Ватолин, А.А.Яланский, С.И.Скипочка//Б.И.-1982.- № 35.- С.177.

38. А.с. 1075146. Устройство для ультразвукового контроля/А.А.Яланский, Н.А.Глухов, А.А.Лукашев, В.А.Глухих, А.В.Бойко//Б.И.-1984.- № 7.- С.140.

39. А.с. 1146448. Способ оценки напряженного состояния горного массива/В.М.Усаченко, А.А.Яланский, С.И.Скипочка, Т.А.Паламарчук, В.В.Фромм//Б.И.-1985.- № 11.- С.102.

40. А.с. 1221581. Способ измерения времени распространения поперечных волн/В.Т.Глушко, Н.А.Глухов, А.А.Яланский, Г.В.Балицкий, В.А.Глухих, С.А.Гришечкин//Б.И.-1986.-№12.-С.207.

41. А.с. 1394120. Способ определения скорости распространения поперечных волн в твердой среде/В.Т.Глушко, А.А.Яланский, А.В.Бойко, В.С.Хандецкий, Л.В.Фортуна//Б.И.-1988.- № 17.- С.174.

42. А.с. 1627696. Устройство для контроля состояния заколов на контуре выработки/В.М.Усаченко, В.Н.Сергиенко, А.А.Яланский, В.В.Баранов, А.В.Бойко//Б.И.-1991.- № 6.- С.127.

А.В.Бойко

ANNOTATION

Jalansky A.A. Physico-technical basis of the geophysical express-control of the mechanical properties and rock mass state in underground openings.

Ph.D. Doctor's thesis (manuscript) on the speciality 05.15.II - physical processes in mining, Institute of geotechnical mechanics of Ukrainian Academy of Sciences, Dnepropetrovsk, 1995.

The thesis has been devoted to the definition of laws and peculiarities of the propagation of the physical fields in rock masses, and to the determination of the informative parameters and specifications for the devices of the express-control; the results were published in 2 books, 65 papers and 15 patents. There were developed some methods, devices and processes prepared for the production after the necessary tests.

АННОТАЦІЯ

Яланський А.А. Фізико-технічні основи геофізического експрес-контролю механічних властивостей і стану породного масива в шахтах і підземних спорудах.

Дисертація (рукопис) на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.15.II - физические процессы горного производства, Институт геотехнической механики НАН Украины, Днепропетровск, 1995.

Определены закономерности и особенности распространения физических полей в массиве пород, обоснованы информативные параметры и исходные требования на приборы геофизического экспрес-контроля, отраженные в 2 монографиях, 65 печатных работах и 15 изобретениях. Разработаны и внедрены способы, приборы и методики, освоено производство, проведены испытания.

Ключові слова:

шахта, гірські породи, геофізичний експрес-контроль.

456906

АВ 31.870
АВ 31.870

АВТОРЕФЕРАТ

Відповідальний за випуск Шпакунов І. А.

Підписано до друку 1.02.95. Формат 60x84/16. Папір друкарський. Офсетний друк. Умови друк. арк. 2. Умови фарб.-відб. 2. Облік. вид. арк. 2. Тираж 130. Замовлення N 674.
Видавничо-поліграфічне орендне підприємство "Дніпро".
ВПООП "Дніпро", 320070, м. Дніпропетровськ, вул. Сєрова, 7.