

АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ
ИНСТИТУТ ГЕОТЕХНИЧЕСКОЙ МЕХАНИКИ

На правах рукописи

СЕРГИЕНКО Виктор Николаевич

РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСНОЙ МЕТОДИКИ
И СРЕДСТВ КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ПОТОЛОЧИН
ДЛИТЕЛЬНО ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ
ВЫРАБОТОК БОЛЬШОЙ ВЫСОТЫ

05.15.11 — «Физические процессы горного
производства»

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Днепропетровск — 1993

176 27.575
Работа выполнена в Институте геотехнической механики
АН Украины

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор
УСАЧЕНКО Б.М.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
АЛЕКСЕЕВ А.Д.

кандидат технических наук, доцент
ПРИКАРЬ М.С.

Ведущее предприятие – Артемовский алебастровый комбинат

Защита состоится "18" июня 1993 г. в 15 часов
на заседании специализированного Совета Д 016.40.01 при Институте
геотехнической механики АН Украины по адресу:
320600, г. Днепропетровск, ул. Симферопольская, 2а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института
геотехнической механики АН Украины.

Автореферат разослан "14" мая 1993 г.

Ученый секретарь
специализированного совета
кандидат технических наук

И.А.

ШПАКУНОВ И.А.

ЛННБ України ім.В.Стефаніка



00815154 (0)

ЛННБ ім. В. Стефаніка
АН України

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Технология добычи полезных ископаемых камерно-столбовыми системами предполагает длительное поддержание в устойчивом состоянии незакрепленных выработок большой высоты и определяет необходимость осуществления контроля состояния потолочин камер на больших площадях. Важность контроля возрастает в связи с необходимостью охраны выработанных пространств шахт, повторно используемых для хозяйственных целей. Наиболее приемлемыми методами контроля являются виброакустический и деформационный. Однако, имеющиеся методики и средства виброакустического и деформационного контроля в условиях большой высоты не удовлетворяют требованиям оперативности, достоверности и надежности, не позволяют обеспечить эффективную и безопасную эксплуатацию выработок в широком диапазоне горно-геологических условий. Решение проблемы контроля связано с расширением области эффективного применения упомянутых методов и требует экспериментального и аналитического изучения колебательных явлений и деформационных процессов в потолочинах, характеризующихся различным литолого-геомеханическим состоянием, а также разработки новых конструктивных решений и методических приемов, учитывающих как характер физических процессов в потолочинах, так и эргономические аспекты деятельности оператора в условиях большой высоты выработок. Указанные вопросы определяют актуальность настоящей диссертационной работы в научном и практическом плане.

Работа выполнена в соответствии с плановыми исследованиями, предусмотренными постановлениями Совета министров УССР № 530 от 28.10.81 г. и Президиума АН УССР № 535-Б от 28.12.82 г..

Цель работы – разработать комплексную методику и средства контроля состояния потолочин длительно эксплуатируемых выработок большой высоты.

Идея работы заключается в использовании закономерностей свободных изгибных колебаний потолочин при различных условиях контакта с массивом для оценки их устойчивости.

Методы исследования. В процессе выполнения работы использованы: математическое моделирование колебательного процесса в потолочине, исследование спектрального состава и параметров затухания свободных колебаний потолочин на модели и в натуральных условиях, контрольное бурение, а также визуальные и инструментальные наблюдения за деформационными процессами в потолочинах камер.

Научные положения, разработанные лично диссертантом и новизна:

впервые установлено, что защемление потолочины, демпфированной покрывающей породой, на границе с целиками является упругим, приближаясь к жесткому с уменьшением отношения мощности потолочины к ширине выработки;

впервые установлено, что коэффициент затухания свободных изгибных колебаний демпфированной покрывающей породой потолочины нелинейно возрастает с увеличением ее мощности и степени демпфирования;

впервые установлено, что значения коэффициента затухания и частоты максимума спектральной плотности свободных изгибных колебаний потолочины, демпфированной покрывающей породой, практически не зависят от взаимного расположения точек возбуждения и приема на участке, прилегающем к продольной оси.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций. Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций определяется корректным применением известных закономерностей теории колебаний и механики горных пород, а также использованием стандартных методов анализа массивов экспериментальных данных.

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждена лабораторными и натурными экспериментами. Относительная погрешность определения коэффициента затухания и частоты максимума спектральной плотности колебаний в лабораторных условиях не превышала 7 % при доверительной вероятности 0,95, а в шахтных — 15 % при доверительной вероятности 0,8. Общность результатов подтверждена положительным эффектом от внедрения методики и средств контроля на трех типовых шахтах с различными горно-геологическими условиями.

Значение работы. Научное значение работы состоит в установлении упругого защемления демпфированной потолочины, в определении нелинейно растущей зависимости между коэффициентом затухания колебаний, мощностью потолочины и степенью ее демпфирования, в выявлении практической инвариантности коэффициента затухания и частоты максимума спектральной плотности от расположения точек возбуждения и приема на участке, прилегающем к оси. Установленные положения служат научной основой для создания новых методик и средств контроля.

Практическое значение работы заключается в разработке и промышленном внедрении комплексной методики и средств оперативного выявления нарушений в потолочинах выработок большой высоты с дальнейшим длительным наблюдением за их состоянием.

Реализация выводов и рекомендаций работы. Выводы и рекомендации положены в основу утвержденных на уровне отрасли документов: технического задания на виброакустический прибор "ДВШ" и "Методических рекомендаций по комплексному контролю кровли в выработках большой высоты на шахтах по добыче гипса". На гипсовых шахтах Артемовского алебастрового комбината (Донецкая обл.), Новомосковского гипсового комбината (Тульская обл.) и Пешеланского гипсового завода (Нижегородская обл.) внедрена методика контроля за состоянием потолочин с использованием средств, выполненных на уровне изобретений (а. с. СССР № 1328519, 1573174, 1737115). Использование методики в условиях Артемовской гипсовой шахты позволило в 1991 г. получить фактический экономический эффект 218,5 тыс. руб. с долевым участием автора — 152,95 тыс. руб..

Апробация работ. Основные положения работы докладывались на УП-ой Всесоюзной конференции по механике горных пород (Днепропетровск, 1981 г.), Всесоюзном семинаре по горной геофизике (Сухуми, 1983 г.), Всесоюзном научно-техническом семинаре по проблемам горного давления на больших глубинах (Кривой Рог, 1990 г.), технических советах концерна "Донецкстройматериалы" (Донецк, 1991 г.), а также Артемовского алебастрового комбината (Артемовск, 1991 г.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 18 печатных работ, в том числе 8 авторских свидетельств на изобретения.

Объем работ. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы, включающего 122 наименования, изложена на 179 страницах машинописного текста, включает 14 таблиц, 48 рисунков и 15 приложений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Отечественный и мировой опыт свидетельствуют о целесообразности разделения контроля состояния потолочин камер на два этапа. На первом этапе осуществляют первичный контроль с целью определения возможности длительной безопасной эксплуатации выработок. Перспективным методом первичного контроля является виброакустический. Работами Д.Р.Хансона, Г.Монтилье, П.Вебера, В.С.Ямщикова, Ю.Н.Баукова, Е.Е.Сидорова, Б.И.Шварцмана, Ю.Т.Мясникова, А.И.Комарова, А.А.Яланского, А.В.Бойко показана возможность применения метода для оперативного обнаружения заколов и расслоений. Полученные критерии, характеризующие состояние потолочин по параметрам ее свободных изгибных колебаний, базируются на гипотезе ее жесткого заземления на

границе с целиками при отсутствии сплошного контакта с покрывающей породой и не отражают всего многообразия реальных горно-геологических условий. Работами А.Г.Глицмана, Б.П.Овчаренко, В.Д.Казаковой показана возможность применения анализа свободных колебаний по толщине для количественного определения мощности потолочин вне зависимости от условий контакта их с массивом. Однако, данный вариант метода малооперативен.

Задача второго этапа — регистрация изменений состояния потолочин выработок при их длительной эксплуатации. При большой площади (свыше 50 га) эксплуатируемых выработок целесообразен локальный дистанционный контроль, заключающийся в делении шахтного поля на участки, контролируемые из безопасных точек, в основном, путем регистрации деформаций. Реализация идеи локального дистанционного контроля деформаций изложена в работах Г.В.Мещерякова, А.В.Мосунова, А.А.Букшука, А.Д.Алексеева, Б.М.Усаченко, В.Г.Перепелицы, С.Н.Жаркова, К.А.Ардашева, К.Льва, И.Г.Кузьмева, И.Конопки, С.Барроу и других авторов. Однако, в этих работах не освещены вопросы регистрации малых деформаций потолочин, контактирующих со слабой покрывающей породой, при большой высоте выработок. Известные средства контроля не удовлетворяют комплексу требований по точности, надежности, долговечности и стоимости.

При разработке средств контроля недостаточное внимание уделялось эргономическим аспектам, учитывающим специфические условия работы оператора в выработках большой высоты.

Не разработана комплексная методика оценки состояния потолочин для широкого диапазона горно-геологических условий.

Для разработки указанной комплексной методики необходимо проведение экспериментальных и аналитических исследований по расширению области применения виброакустического и деформационного методов. Учитывая это, в работе решались следующие задачи:

- 1) установить основные закономерности свободных изгибных колебаний потолочины, демпфированной покрывающей породой;
- 2) разработать средства виброакустического контроля для оперативной оценки состояния потолочин в широком диапазоне горно-геологических условий с учетом особенностей работы на высоте;
- 3) разработать средства для осуществления локального дистанционного контроля деформаций потолочин в выработках большой высоты;
- 4) разработать и внедрить комплексную методику контроля состояния потолочин длительно эксплуатируемых выработок большой высоты.

Для обеспечения решения первой задачи проведены шахтные исследования, позволившие установить, что среднее расстояние α между трещинами в несколько раз превышает ширину β выработки, а отношение мощности H потолочины к ширине β находится в пределах от 0,04 до 0,15. Поскольку раскрытие трещин составляет от 1 мм до 5 мм, то короткие края потолочин можно считать свободными. Для определения характера защемления по длинным сторонам был поставлен эксперимент, суть которого сводилась к нормируемому ударному возбуждению центра гипсовой потолочины, демпфированной покрывающей глиной, и регистрации амплитуды виброускорения по мере перемещения приемника от оси выработки к целику, осуществляемой с задержкой, в несколько раз превышающей время распространения волны Релея от точки удара. Для случая $H/\beta < 0,05$ уровень сигнала на границе потолочины с целиком близок к нулю. Это практически соответствует условиям жесткого защемления. С увеличением отношения H/β уровень сигнала возрастает. Путем записи сигнала на магнитофон и последовательного пропускания в лабораторных условиях через каналы октавного фильтра OF-101 с выходом на запоминающий осциллограф С8-17 была выполнена оценка спектрального состава колебаний. Установлено, что при пролете выработки 8,5 м и мощности потолочины от 0,5 м до 1,2 м максимум спектральной плотности находится в пределах от 63 Гц до 250 Гц, что значительно ниже, чем характерные частоты для колебаний по толщине и волновых процессов. При повторении указанного эксперимента варьировались: порода потолочины (гипс и доломит), покрывающая порода (глина, аргиллит, алевролит, доломит), ширина выработки (от 6 м до 12 м), мощность потолочины (от 0,4 м до 1,8 м). Во всех случаях при $H/\beta > 0,05$ значение уровня сигнала на контуре не менее, чем на порядок превысило уровень шумов, а частота максимума спектральной плотности была ниже 500 Гц. Устойчиво повторяющееся наличие на защемленной границе низкочастотных колебаний позволило сделать вывод, что защемление демпфированной покрывающей породой потолочины является упругим, приближаясь к жесткому с уменьшением отношения мощности потолочины к ширине выработки.

В отличие от известных ранее математических моделей свободно колеблющейся потолочины с жестким защемлением на границе с целиками предложенная автором модель с упругим защемлением носит более общий характер. Уравнение свободных изгибных колебаний потолочины с учетом внутреннего трения и внешнего вязко-упругого со-

противления со стороны покрывающей породы имеет вид

$$\frac{\partial^4(\omega + K_1 \eta_1 \frac{\partial \omega}{\partial t})}{\partial y^4} + \frac{\partial^4(\omega + K_1 \eta_1 \frac{\partial \omega}{\partial t})}{\partial x^4} + (K_2 \rho_2 c_2 + K_3 \eta_2) \frac{\partial \omega}{\partial t} + \rho_1 h \frac{\partial^2 \omega}{\partial t^2} = 0, (1)$$

где ω — текущее смещение точки;

h — мощность потолочины;

c_2 — скорость продольной волны в покрывающей породе;

η_1 и η_2 — вязкость пород потолочины и покрывающего слоя;

ρ_1 и ρ_2 — плотность пород потолочины и покрывающего слоя;

K_1, K_2, K_3 — коэффициенты пропорциональности.

Вид решения уравнения (1) определяется начальными и граничными условиями. Автором рассмотрен практически важный случай начального симметричного прогиба потолочины вследствие удара. Защемление коротких сторон принято свободным, длинных упругим. Для указанных условий получены выражения, характеризующие спектр колебаний и затухание спектральных составляющих. В качестве информативного параметра выбран коэффициент затухания на частоте максимума спектральной плотности сигнала. Выбор обоснован следующими соображениями:

коэффициент затухания не зависит от начальной амплитуды анализируемого сигнала, изменяющейся вследствие вариации силы удара и условий контакта приемника колебаний с потолочиной;

вследствие быстрого увеличения затухания с ростом частоты коэффициент затухания на частоте максимума спектральной плотности сигнала практически можно определять без фильтрации высших гармоник;

определение коэффициента затухания с приемлемой точностью осуществимо с использованием стандартного лабораторного оборудования.

Выражение для коэффициента затухания на частоте максимума спектральной плотности сигнала имеет вид

$$\delta = \frac{1}{2\rho_1} \left(\frac{K_1 \eta_1 \pi^4 \left(\frac{1}{12 \nu^4} + \frac{1}{\alpha^4} \right) E h^2}{12(1-\nu^2)} + \frac{K_2 \rho_2 c_2 + K_3 \eta_2}{h} \right), (2)$$

где ν — параметр, характеризующий упругость защемления;

E — динамический модуль упругости породы потолочины;

ν — динамический коэффициент Пуассона породы потолочины.

Согласно (2) коэффициент затухания представлен в виде суммы двух слагаемых, характеризующих, соответственно, потери на преодоление вязкого трения в породе потолочины и вязко-упругого сопротивления со стороны покрывающей породы. Отношение второго слагаемого к первому характеризует степень демпфирования потолочины покрывающей породой. Рост вязкости и акустической жесткости покрывающей

породы приводит к увеличению степени демпфирования, а следовательно, и к увеличению затухания. Увеличение мощности потолочины приводит к снижению влияния демпфирования, что объяснимо проявлением инерционных свойств потолочины при ее возросшей массе. Однако, при этом значительно возрастают потери на внутреннее трение. В результате сумма двух составляющих коэффициента затухания возрастает с увеличением мощности.

Таким образом, коэффициент затухания свободных изгибных колебаний демпфированной покрывающей породой потолочины нелинейно возрастает с увеличением ее мощности и степени демпфирования.

Вариацией показателей заземления и степени демпфирования могут быть получены важные частные случаи. При $\zeta = 1$ длинные стороны свободны. При $\zeta < 1$ заземление упруго, причем, с уменьшением данного параметра жесткость заземления возрастает. Минимальная степень демпфирования соответствует воздушному прослойку между потолочиной и вышележащей породой и определяет наименьшее затухание.

С точки зрения технической реализации в портативном приборе более приемлемым является измерение времени затухания t_s , начальной амплитуды в фиксированное число n раз

$$t_s = \frac{1}{\delta} \ln n. \quad (3)$$

Из выражений (2) и (3) вытекает гиперболическая зависимость между временем затухания и мощностью потолочины

$$t_s = \frac{\ln n}{\mu_1 k^2 + \frac{\mu_2}{k}} \quad (4)$$

где μ_1 — параметр, зависящий от геометрических размеров потолочины и физико-механических свойств ее породы;

μ_2 — параметр, зависящий от физико-механических свойств покрывающей породы.

Как показывает анализ решения уравнения (I), упругое заземление на контуре приводит к появлению в спектре колебаний с частотами ниже основной, являющихся помехой при анализе сигнала. Их уровень увеличивается с понижением жесткости заземления, а также по мере приближения приемника колебаний к заземленной границе. С целью уменьшения их влияния необходимо использовать как технические решения, заключающиеся в частотной селекции сигнала, так и методические приемы, ограничивающие контролируемую площадь потолочины.

Для исследования свободных изгибных колебаний потолочины при различных условиях возбуждения и приема были проведены лаборатор-

ные и натурные эксперименты. Моделью потолочины служила асбестоцементная плита с вариацией отношения H/b от 0,03 до 0,11 и вариацией отношения b/a от 0,15 до 0,47. Покрывающую породу имитировали равномерно нагруженным листом резины или поролона. Диапазон изменения времени затухания (уменьшения начальной амплитуды на порядок) на основной частоте составлял от 7 до 18 периодов, что примерно соответствует условиям демпфирования в натуре. Минимальный относительный уровень сигнала на защемленной границе составил 0,08 от значения на оси, максимальный — 0,31. Таким образом, реальные потолочины и их физическая модель характеризуются соизмеримыми значениями соотношения геометрических размеров, степени демпфирования и условий защемления, что обуславливает качественное подобие физического процесса свободных изгибных колебаний.

Для возбуждения колебаний служил электромагнитный ударник, а для приема — миниатюрный широкополосный пьезопреобразователь. При вариации положения возбудителя и приемника определяли спектральный состав колебаний и коэффициент затухания. Полосу частот, содержащую максимум спектральной плотности, определяли по наибольшему уровню сигнала на выходе каналов октавного фильтра $OF-101$. Изменяя с помощью запоминающего осциллографа $CS-17$ средний период колебаний в указанной полосе, определяли частоту f максимума спектральной плотности с относительной погрешностью не более 7%. Время t_z затухания определяли по осциллограмме процесса, рассчитывая затем коэффициент затухания δ с относительной погрешностью, не превышающей 5%.

В процессе экспериментов был подтвержден теоретический вывод о наличии в спектре сигнала свободных изгибных колебаний упруго защемленной плиты составляющих с частотами ниже максимума спектральной плотности. С доверительной вероятностью не ниже 0,95 установлена инвариантность в пределах погрешности измерений значений частоты максимума спектральной плотности и коэффициента затухания колебаний при изменении взаимного расположения возбудителя и приемника в пределах участка, равного половине ширины модели и расположенного симметрично относительно продольной оси.

С целью достижения общности результатов для широкого круга горно-геологических условий, характерных для длительно эксплуатируемых выработок большой высоты, натурные эксперименты проводились для всех основных, реально наблюдаемых на шахтах по добыче гипса и пыльного известняка, типов потолочин, представленных в табл. I.

Таблица I

Основные типы потолочины выработок большой высоты

Тип	Литолого-геомеханическая характеристика состояния потолочины
1	с проектными параметрами (весьма устойчивая)
2	расслоившаяся, нетрещиноватая
3	расслоившаяся, с блочной структурой
4	с уменьшенной на большой площади мощностью и слабой покрывающей породой, нетрещиноватая
5	с локальным уменьшением мощности и слабой покрывающей породой, нетрещиноватая
6	с блочной структурой и слабой покрывающей породой
7	с уменьшенной мощностью и вышележащим водонапорным слоем
8	с визуально регистрируемыми деформациями
9	с частичным или полным обрушением

Натурные виброакустические исследования включали запись на портативный магнитофон колебаний потолочин, возбужденных ударом, при вариации взаимного положения точек возбуждения и приема на участках, прилегающих к оси выработок, и примерно равных по ширине половине их пролета. Лабораторный анализ сигнала осуществляли так же, как и в экспериментах с моделью, с той же точностью измерений.

Согласно данным, полученным в условиях Артемовской гипсовой шахты для каждой из потолочин с мощностью от 0,4 м до 2,2 м, как отслоившихся, так и контактирующих с покрывающей глиной, максимальные значения коэффициента вариации составляют: для частоты максимума спектральной плотности — 7,4 %, для коэффициента затухания — 4,2 %. Разброс значений параметров близок к погрешности данных.

Таким образом, на основе результатов лабораторных и шахтных экспериментов установлено, что значения коэффициента затухания и частоты максимума спектральной плотности свободных изгибных колебаний потолочины практически не зависят от взаимного расположения точек возбуждения и приема на участке, прилегающем к продольной оси потолочины.

Совместное проведение контрольного бурения (около 80-и шпуров диаметром 42 мм и глубиной 1,5 м — 2,2 м) и виброакустических измерений позволило подтвердить теоретические выводы о нелинейно

растущей зависимости между мощностью потолочины и коэффициентом затухания при стабильности контакта с покрывающей породой. С увеличением степени демпфирования возрастает коэффициент затухания: примерно в 1,4 раза при замене контакта с воздушным прослойком на контакт с глиной и в 2 - 3 раза при замене на контакт с доломитом.

С целью определения деформационных критериев состояния потолочин при длительных наблюдениях проанализированы массивы данных по визуальным наблюдениям, инструментальным измерениям и контрольному бурению в условиях гипсовых шахт. Потолочины с проектными параметрами характеризуются годовыми деформациями, не превышающими сотых долей миллиметра. Для нетрещиноватых потолочин с уменьшенной мощностью (типы 2, 4 и 7 по табл. I) характерны деформации порядка десятых долей миллиметра в год. Деформации, составляющие единицы миллиметров в год, характерны для потолочин с блочной структурой. На участках потолочин с локальным уменьшением мощности наблюдались деформации на площади в несколько квадратных метров, составляющие десятки миллиметров в год, приводящие к вывалам.

На основе шахтных наблюдений и экспериментов были окончательно определены технические требования к средствам и методике контроля.

Вторая из поставленных в работе задач решена путем разработки шахтного виброакустического прибора "ДВШ" (пол. решение по заявке № 4880311/03 от 27.08.91 г.), предназначенного для оперативной диагностики состояния основных типов потолочин в условиях выработок большой высоты. Измеряемым параметром является время затухания. Технические характеристики прибора приведены ниже:

время анализа сигнала, мс	- 200;
приведенная погрешность измерений, %	- 1,0;
напряжение питания, В	- 6 - 9;
максимальный потребляемый ток, мА	- 100;
масса, кг	- 1,0;
габариты, мм	- 550x80x65.

По сравнению с известными приборами разработка автора отличается меньшими значениями массы, габаритов и энергопотребления. Применение амплитудной, частотной и временной селекции сигнала обеспечивает высокую помехоустойчивость прибора. Отсутствие проводной связи между прибором и возбудителем колебаний, а также наличие автоматики цикла измерений в значительной степени повышают эргономические характеристики прибора по сравнению с известными аналогами. Время проведения пяти измерений в одной точке не превышает 30 с.

С целью решения третьей задачи разработан комплекс средств регистрации деформаций для различных типов потолочин. Для дистанционного наблюдения за динамикой деформирования потолочин всех основных типов предназначен комплект "ДПК" (а. с. 1328519 СССР). В его состав входят герметичные потенциометрические преобразователи, детали для их монтажа, проводные линии и регистрирующий блок. Технические характеристики комплекта приведены ниже:

количество контролируемых точек	- 10;
диапазон измерения деформации, мм	- 0 - 50;
приведенная погрешность измерения, %	- 5,0;
рабочее напряжение датчика, В	- 27;
масса датчика, кг	- 1,2;
масса регистрирующего блока, кг	- 1,5.

Для отдельных типов потолочин разработаны специализированные механические сигнализаторы с грузовыми сигнальными элементами. Локальный дистанционный контроль устойчивости потолочин в выработках с устойчивой основной кровлей осуществляют с помощью многоступенчатых сигнализаторов "СК" (а. с. 1573174 СССР) и "СПК" (а. с. 1737115 СССР). Для условий, где невозможна установка глубинного репера, разработан сигнализатор "ЛСД" (пол. решение от 25.03. 92 г. по заявке № 4950070/03). Технические характеристики сигнализаторов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Технические характеристики сигнализаторов
деформации потолочин

Техническая характеристика	Тип сигнализатора		
	"СК"	"СПК"	"ЛСД"
количество сигнальных элементов	6	6	3
диапазон регистрации смещений, мм	0 - 50	0 - 20	0 - 30
погрешность срабатывания, мм	0,7	0,5	1,0
дальность наблюдения за состоянием сигнализатора, м	20	40	20
масса, включая монтажные элементы, кг	13	13	6

Сущность комплексной методики контроля, составляющей предмет решения четвертой задачи, сводится к следующему.

Первичный контроль предусматривает последовательное применение визуального осмотра, виброакустических измерений и контрольного бурения. Эффективность виброакустического контроля оценивают критерием

$$\bar{t}_3 \geq \bar{t}_0 + U(n, \alpha) \bar{R}_0, \quad (5)$$

где \bar{t}_0 — показания прибора для весьма устойчивой потолочины;
 \bar{R}_0 — средний размах распределения показаний для весьма устойчивой потолочины;
 $U(n, \alpha)$ — статистический параметр, табулированный Е.Лордом;
 \bar{t}_3 — показания прибора для потолочины с устойчивостью ниже проектной.

В случае выполнения критерия (5) путем виброакустических измерений и контрольного бурения набирают данные для построения тарировочных зависимостей вида (4) применительно к конкретной шахте.

Виброакустический контроль осуществляют тремя параллельными профилями, равномерно распределенными по ширине выработки. Однородное поле показаний прибора характерно для потолочин с выдержанной мощностью и позволяет оценить ее значение. Наличие максимума при плавном изменении показаний соответствует участку с желобообразным строением потолочины. Резкое увеличение показаний в нескольких соседних точках свидетельствует о локальном уменьшении мощности. При контроле потолочин с блочной структурой по максимальным показаниям прибора определяют наименее устойчивые блоки для последующей установки на них средств регистрации деформаций.

По результатам первичного контроля определяют возможность дальнейшего использования выработок в технологических процессах. Ввиду ухудшения состояния выработок со временем такую оценку осуществляют периодически, не реже одного раза в год. Текущий контроль состояния осуществляют путем регистрации деформаций и визуальных наблюдений. Типичными признаками уменьшения устойчивости потолочин являются:

- появление дополнительных трещин;
- искаженный вид годового деформационного цикла, обычно согласованного с сезонными изменениями температуры;
- увеличенная в два и более раза по сравнению со средней для данного типа потолочины скорость деформирования.

С учетом интенсивности эксплуатации выработок и устойчивости их потолочин выделено 5 категорий выработок. Рекомендации по контролю деформаций потолочин средствами локального дистанционного контроля для каждой из категорий представлены в табл. 3.

Таблица 3.

Рекомендуемые средства локального дистанционного контроля и периодичность регистрации деформаций

Тип потолочин	Категория выработок	Присутствие людей в выработке	Средства контроля	Период контроля, дней
I	I	постоянное, без ограничений	-	-
2, 3	2	постоянное, при отсутствии мощных динамических воздействий на массив	"СК", "СБК"	7 - 30
4, 5	3	эпизодическое	"ДПК", "ЛСД"	30
6, 7	4	допустимо в случае особой необходимости	"ДПК", "ЛСД"	60
8, 9	5	недопустимо	установленные до перехода в категорию 5	60

Перечисленный в табл. 3 комплекс средств локального дистанционного контроля для выработок второй категории, ввиду малости регистрируемых деформаций, целесообразно дополнить индикаторными станциями и планочными маяками. Период между измерениями составляет от 30 до 60 дней.

В случае регистрации аномальных для данной категории деформационных явлений проводят инженерные мероприятия по повышению устойчивости потолочины или ограничивают доступ людей в выработку.

Описанные средства и методика контроля внедрены на гипсовых шахтах Артемовского алебастрового комбината, Новомосковского гипсового комбината и Пешеланского гипсового завода. Фактический экономический эффект от внедрения на гипсовой шахте Артемовского алебастрового комбината в 1991 г. составил 218,5 тыс. руб. с долевым участием автора - 152,95 тыс. руб..

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе решена актуальная в научном и практическом плане задача по разработке комплексной методики и средств контроля состояния потолочин длительно эксплуатируемых выработок большой высоты путем выявления и использования закономерностей свободных изгибных колебаний потолочин при различных условиях их контакта с массивом.

Основные результаты работы заключаются в следующем.

1. Установлены основные закономерности затухающего колебательного процесса в потолочине, демпфированной покрывающей породой. Показано, что защемление потолочины на границе с целиками носит упругий характер, приближаясь к жесткому с уменьшением отношения мощности потолочины к ее ширине. Установлена нелинейно растущая зависимость коэффициента затухания от мощности потолочины и степени ее демпфирования. Выявлена практическая инвариантность временных параметров колебаний от взаимного расположения точек возбуждения и приема на участке, прилегающем к продольной оси.

2. Разработан виброакустический дефектоскоп "ДВШ", предназначенный для оперативной диагностики состояния потолочин выработок большой высоты в широком диапазоне горно-геологических условий.

3. Разработан комплекс средств регистрации деформаций, реализующий идею локального дистанционного контроля состояния потолочин выработок большой высоты.

4. Разработана комплексная методика контроля состояния потолочин длительно эксплуатируемых выработок большой высоты, включающая оперативное выявление участков с пониженной устойчивостью и дальнейшее длительное наблюдение за деформациями данных участков.

5. На уровне отрасли утверждены: техническое задание на прибор "ДВШ" и "Методические рекомендации по комплексному контролю кровли в выработках большой высоты на шахтах по добыче гипса".

6. Методика и средства контроля внедрены на трех предприятиях. Фактический экономический эффект от внедрения средств и методики контроля состояния потолочин на Артемовской гипсовой шахте составил 218,5 тыс. руб.. Долевое участие автора - 152,95 тыс. руб..

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах.

1. Усаченко Б.М., Киричанский Г.Т., Сергиенко В.Н. К вопросу об оценке неоднородности породного массива по результатам геофизических измерений//Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. - 1981. - № 5. - С. 19 - 25.
2. Усаченко Б.М., Киричанский Г.Т., Перепелица В.Г., Сергиенко В.Н. К вопросу об оценке свойств породного массива в зонах геологических нарушений мощных пологих пластов//Тезисы докладов VII-ой Всесоюзной конференции по механике горных пород в 1981 г. в г. Днепропетровске. - М., 1981. - С. 67.
3. Сергиенко В.Н. К совершенствованию конструкции ультразвукового шпурового датчика и методики его применения; Ин-т геотехн. мех. АН УССР. - Днепропетровск, 1981. - 7 с. - Деп. в ВИНИТИ 22.04.81, № 1732.
4. Усаченко Б.М., Киричанский Г.Т., Сергиенко В.Н. Устройство для высокочастотного контроля кровли горных выработок// Тезисы докладов научного семинара по горной геофизике в 1983 г. в г. Сухуми, - Тбилиси, 1983. - С. 145.
5. Усаченко Б.М., Киричанский Г.Т., Максимов А.А., Сергиенко В.Н., Косарыгин Ю.А. Система автоматизированного контроля смещений потолочины камер// Безопасность труда в промышленности. - 1984. - № 9. - С. 46 - 47.
6. Сергиенко В.Н. К совершенствованию коммуникационной сети систем контроля за состоянием горных выработок; Ин-т геотехн. мех. АН УССР. - Днепропетровск, 1986. - 11 с. - Деп. в ВИНИТИ 15.10.86, № 7259.
7. Сергиенко В.Н., Усаченко Б.М., Яланский А.А. Прибор виброакустического контроля породного массива// Безопасность труда в промышленности. - 1989. - № 1. - С. 35 - 36.
8. Сергиенко В.Н., Васильев Б.В. Локальный дистанционный контроль кровли выработок большой высоты// Тезисы докладов Всесоюзного семинара " Проблемы горного давления на больших глубинах при ведении подземных и открытых горных работ" в 1990 г. в г. Кривом Роге. - Кривой Рог, 1990. - С. 67.
9. Сергиенко В.Н., Васильев Б.В. Ударное устройство для виброакустического контроля; Ин-т геотехн. мех. АН УССР. - Днепропетровск, 1991. - 5 с. - Деп. в ВИНИТИ 06.06.91, № 2365.
10. Сергиенко В.Н., Васильев Б.В. Шахтная индикаторная станция

- "СНМ". Ин-т геотехн. мех. АН УССР. - Днепрпетровск, 1991. - 4 с. - Деп. в ВИНИТИ 06.06.91, № 2366.
11. А. с. 924372 СССР, МКП³ ВЗТС 39/00. Устройство для контроля состояния кровли горных выработок/ Усаченко Б.М., Косенко В.И., Сергиенко В.Н. (СССР). - № 2990346/22-03; Заявлено 08.10.80; Опубли. 30.01.82; Бюл. № 16.
12. А. с. 1133568 СССР, МКП⁴ Г-01V 1/00, Устройство для виброакустического контроля состояния породного массива/ Усаченко Б.М., Киричанский Г.Т., Сергиенко В.Н. (СССР). - № 3645301/18-25; Заявлено 23.09.83; Опубли. 07.01.85; Бюл. № 1.
13. А. с. 1328519 СССР, МКП⁴ ВЗТС 39/00. Устройство для измерения смещений элементов горных выработок/ Усаченко Б.М., Сергиенко В.Н., Перепелица В.Г. (СССР). - № 4038430/22-03; Заявлено 17.03.86; Опубли. 07.08.87; Бюл. № 29.
14. А. с. 1441173 СССР, МКП⁴ Г-01B 5/30. Устройство для сигнализации о деформации горного массива при проходке подземных выработок/ Усаченко Б.М., Перепелица В.Г., Комендантов Е.А., Сергиенко В.Н. (СССР). - № 4231263/25-28; Заявлено 16.04.87; Опубли. 30.11.88; Бюл. № 44.
15. А. с. 1460256 СССР, МКП⁵ ВЗТС 39/00. Устройство для измерения деформации контура выработки/ Сергиенко В.Н., Перепелица В.Г., Васильев Б.В. (СССР). - № 4256754/22-03; Заявлено 03.06.87; Опубли. 23.02.89; Бюл. № 7.
16. А. с. 1573174 СССР, МКП⁵ ВЗТС 39/00. Устройство для сигнализации о деформации кровли горных выработок/ Усаченко Б.М., Сергиенко В.Н., Васильев Б.В., Косаргин Ю.А., Селезнев А.И. (СССР). - № 4414015/31-03; Заявлено 21.04.88; Опубли. 23.06.90; Бюл. № 23.
17. А. с. 1618878 СССР, МКП⁵ ВЗТС 39/00. Устройство для контроля состояния горных выработок/ Усаченко Б.М., Сергиенко В.Н., Перепелица В.Г., Калиток С.Н. (СССР). - № 4473842/22-03; Заявлено 11.08.88; Опубли. 07.01.91; Бюл. № 1.
18. А. с. 1626696 СССР, МКП⁵ ВЗТС 39/00. Устройство для контроля состояния заколов на контуре выработки/ Усаченко Б.М., Сергиенко В.Н., Яланский А.А., Баранов В.И., Бойко А.В. (СССР). - № 4642951/24-03; Заявлено 30.01.89; Опубли. 15.02.91; Бюл. № 6.

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСНОЙ МЕТОДИКИ...

Ответственный за выпуск: Шпакунов И.А.

Подписано к печати 28.04.93 г. Формат 60x84/16. Бумага офсетная.

Офсетная печать. Усл.печ.л. 0,93. Усл.кр.стт. 0,93. Тираж 110.

Заказ 2939.

Издательско-полиграфическое арендное предприятие "Днипро".
ИПАП "Днипро", 320070, г.Днепропетровск, ул.Сорова, 7.

465624

Ab 27.575

AB 27.575

1944-1945
1946-1947

1948-1949

1950-1951
1952-1953
1954-1955
1956-1957
1958-1959
1960-1961
1962-1963
1964-1965
1966-1967
1968-1969
1970-1971
1972-1973
1974-1975
1976-1977
1978-1979
1980-1981
1982-1983
1984-1985
1986-1987
1988-1989
1990-1991
1992-1993
1994-1995
1996-1997
1998-1999
2000-2001
2002-2003
2004-2005
2006-2007
2008-2009
2010-2011
2012-2013
2014-2015
2016-2017
2018-2019
2020-2021
2022-2023
2024-2025

1926-1927
1928-1929
1930-1931
1932-1933
1934-1935
1936-1937
1938-1939
1940-1941
1942-1943
1944-1945
1946-1947
1948-1949
1950-1951
1952-1953
1954-1955
1956-1957
1958-1959
1960-1961
1962-1963
1964-1965
1966-1967
1968-1969
1970-1971
1972-1973
1974-1975
1976-1977
1978-1979
1980-1981
1982-1983
1984-1985
1986-1987
1988-1989
1990-1991
1992-1993
1994-1995
1996-1997
1998-1999
2000-2001
2002-2003
2004-2005
2006-2007
2008-2009
2010-2011
2012-2013
2014-2015
2016-2017
2018-2019
2020-2021
2022-2023
2024-2025

1926-1927
1928-1929
1930-1931
1932-1933
1934-1935
1936-1937
1938-1939
1940-1941
1942-1943
1944-1945
1946-1947
1948-1949
1950-1951
1952-1953
1954-1955
1956-1957
1958-1959
1960-1961
1962-1963
1964-1965
1966-1967
1968-1969
1970-1971
1972-1973
1974-1975
1976-1977
1978-1979
1980-1981
1982-1983
1984-1985
1986-1987
1988-1989
1990-1991
1992-1993
1994-1995
1996-1997
1998-1999
2000-2001
2002-2003
2004-2005
2006-2007
2008-2009
2010-2011
2012-2013
2014-2015
2016-2017
2018-2019
2020-2021
2022-2023
2024-2025

1926-1927
1928-1929
1930-1931
1932-1933
1934-1935
1936-1937
1938-1939
1940-1941
1942-1943
1944-1945
1946-1947
1948-1949
1950-1951
1952-1953
1954-1955
1956-1957
1958-1959
1960-1961
1962-1963
1964-1965
1966-1967
1968-1969
1970-1971
1972-1973
1974-1975
1976-1977
1978-1979
1980-1981
1982-1983
1984-1985
1986-1987
1988-1989
1990-1991
1992-1993
1994-1995
1996-1997
1998-1999
2000-2001
2002-2003
2004-2005
2006-2007
2008-2009
2010-2011
2012-2013
2014-2015
2016-2017
2018-2019
2020-2021
2022-2023
2024-2025