



УКРАЇНА

(19) UA (11) 21934 (13) C1

(51) G 01 V 3/08

ДЕРЖАВНЕ
ПАТЕНТНЕ
ВІДОМСТВООПИС ДО ПАТЕНТУ
НА ВІНАХІД

(54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ РЕСУРСУ ДОВГОВІЧНОСТІ ОБМЕЖЕНО СТІЙКИХ ОБ'ЄКТІВ У ПОЛІ СИЛИ ТЯЖІННЯ

1

(21) 94032270

(22) 23.03.94

(24) 30.04.98

(46) 30.04.98. Бюл. № 2

(56) 1. Шурков Н.С., Куксенко В.С., Петров В.А. Можно ли прогнозировать разрушения? – Сб. "Будущее науки", вып.16. М., "Знание", 1983, с.100–111.

2. Соколов В.Г. Прогноз и контроль оползневых процессов на месторождениях. – "Горное дело", 1989, № 3, с.43–47.

(72) Оніка Сергій Георгійович, Мантула Юрій Макарович, Кривошеев Олександр Васильович, Карпукін Валерій Васильович, Бойчук Константин Константинович, Грицаєнко Василь Іванович

(73) Науково-дослідний гірничорудний Інститут НДГРІ

(57) Способ определения ресурса долговечности ограниченно устойчивых объектов в поле силы тяжести, включающий режимные наблюдения на поверхности этих объектов аномальной динамической напряженности магнитного поля формирующихся поверхностей отрыва или поверхностей скольжения подвижных масс разрушающихся объектов относительно неподвижных и определение минимальной глубины формирующихся поверхностей отрыва в случае фиксации на поверхности наблюдений одиночных экстремумов динамической напряженности магнитного поля или минимальной глубины и горизонтальной длины формирующихся поверхностей скольжения в случае фиксации на поверхности наблюдений двойных одноименных экстремумов динамической напряженности магнитного поля, отличающийся тем, что режимные наблюдения аномальной динамической напряженности магнитного поля производят с интервалом, обеспечивающим равенство разности напряженности магнитного поля предыдущих

2

и последующих наблюдений в фиксированной точке контрольных аномалий, причем, в случае формирующихся поверхностей отрыва режимные наблюдения производят в экстремальной точке контрольных аномалий, а в случае формирующихся поверхностей скольжения – в точке поверхности наблюдений, лежащей на прямой, проходящей через два одноименных экстремума контрольных аномалий и находящейся со стороны монотонного изменения динамической напряженности магнитного поля на расстоянии

$$L = \frac{l_1 - l_2}{2 \left(\frac{h_{\max}}{h_{\min}} - 1 \right)},$$

от эпицентральной минимальной глубины поверхности скольжения экстремума, где l_1 – расстояние между одноименными экстремумами, l_2 – половина горизонтальной длины формирующихся поверхностей скольжения, h_{\max}/h_{\min} – отношение максимальной и минимальной глубин формирующихся поверхностей скольжения и в процессе режимных наблюдений динамической напряженности магнитного поля на поверхности ограниченно устойчивых объектов в поле силы тяжести критическую напряженность динамического магнитного поля Z_c , при которой нарушается целостность объектов, определяют из выражения

$$Z_c = \frac{h_{\min} \cdot Z_{\text{экс}}}{h_{\text{наб}}},$$

где $Z_{\text{экс}}$ – экстремальное значение динамической напряженности магнитного поля над минимальной глубиной формирующихся поверхностей отрыва или скольжения, h_{\min} – минимальная глубина формирующихся по-

(19) UA (11) 21934 (13) C1

верхностей отрыва или скольжения на момент регистрации экстремальной динамической напряженности магнитного поля $Z_{\text{экс}}$, $h_{\text{наб}}$ – высота наблюдения аномальной динамической напряженности магнитного поля относительно поверхности ограниченно устойчивых объектов в поле силы тяжести, а радиус долговечности t ограниченно устойчивых объектов в поле силы тяжести определяют из выражения

$$t = \frac{\Delta t_{k+1}^2}{\Delta k_{k+1} - \Delta t_k} \times$$

$$\times \left[\left(\frac{\Delta t_{k+1}}{\Delta t} \right)^{\frac{2Z_{k+1} - (Z_k + Z_c)}{Z_k - Z_{k+1}}} - 1 \right],$$

где Δt_k – интервал времени между $k+1$ -м и k -тым наблюдениями;

Δk_{k+1} – интервал времени между $k+2$ -м и $k+1$ -м наблюдениями;

Z_k – напряженность динамического магнитного поля k -того наблюдения, нТ;

Z_{k+1} – напряженность динамического магнитного поля $k+1$ -го наблюдения, нТ.

Изобретение относится к магнитометрии и может быть использовано при определении срока эксплуатации крупногабаритных конструкций, при прогнозе сдвиговых и оползневых явлений, а также при контроле устойчивости бортов и уступов карьеров, отвалов, дамб и других насыпных сооружений.

Известен способ кинетического подхода к прогнозированию, основанный на термофлуктуационной концепции разрушения. В этом аспекте разрушение рассматривается как следствие накопления локальных микроразрушений в результате термофлуктуационной статистики в механически напряженном теле. Кинетический подход исходит из того, что время до разрушения объекта (ресурс долговечности) однозначно связано с накоплением поврежденности, задача состоит в том, чтобы найти наиболее удобную для регистрации меру поврежденности и ее связь с ресурсом долговечности [Журков Н.С., Куксенко В.С., Петров В.А. Можно ли прогнозировать разрушения. – Сб. "Будущее науки", вып.16. М., 1983, с.100–111].

Однако определение временного параметра прогнозирования разрушения в рамках термофлуктуационной концепции в настоящее время реализуется косвенным расчетом посредством регистрации звуковых сигналов на пребывающих под нагрузкой лабораторных образцах, при котором оценивается запас времени до окончательного разрушения ограниченно устойчивых объектов в поле силы тяжести.

Наиболее близким техническим решением выбранным в качестве прототипа является способ определения ресурса долговечности ограниченно устойчивых объектов в поле силы тяжести, включающий измерение на поверхности этих объектов

аномальной напряженности магнитного поля очагов необратимой деформации и определение деструктивного характера очагов необратимой деформации (скрыто развивающихся поверхностей отрыва или скольжения) – метод магнитодинамической интроскопии (МДИ).

При применении МДИ используется регистрация и исследование постоянной составляющей напряженности геомагнитного поля. При этом осуществление магнитодинамического контроля производится посредством профильной разновысотной магнитной съемки полного вектора напряженности магнитного поля T или его вертикальной составляющей. Информативным параметром является коэффициент оползнеопасности – отношение разности разновысотных регистраций напряженности магнитного поля к его среднему значению по результатам профильной съемки. Метод позволяют с точностью до суток прогнозировать оползневые явления – как утверждает автор, накопленные статистические данные показывают, что за 2–3 суток до начала движения оползня коэффициент оползнеопасности увеличивается на одну-две единицы [Соболев В.Г. Прогноз и контроль оползневых процессов на месторождениях. – Горный журнал. 1989, № 3, с.43–47].

Недостатком прототипа является отсутствие в методике расчета коэффициента оползнеопасности учета взаимодействия магнитного поля деструктивных новообразований (очагов необратимых деформаций) с магнитным полем окружающей среды, следствием чего является недостаточная надежность информации о сроках устойчивости контрольных объектов – осуществляется только краткосрочный прогноз, что существенно снижает возможность проведения

противооползневых мероприятий. Известным способом невозможно решить задачу, поставленную изобретением, так как основной информативный параметр – время до разрушения объекта (ресурс долговечности) не входит в информативный параметр метода МДИ (коэффициент оползнеопасности) в явном виде. Следовательно, при применении известного способа исключается возможность долго- и среднесрочного прогноза стабильности ограниченно устойчивых объектов в поле силы тяжести в связи с отсутствием учета причинно-следственной связи между характером накопления внутренних деформаций в ограниченно устойчивых объектах и временем развития этих деформаций.

Задачей изобретения является разработка способа определения ресурса долговечности ограниченно устойчивых объектов в поле силы тяжести, в котором путем учета взаимодействия магнитного поля деструктивных новообразований с магнитным полем окружающей среды достигается повышение надежности информации о сроках устойчивости контрольных объектов.

Поставленная задача решается тем, что в способе определения ресурса долговечности ограниченно устойчивых объектов в поле силы тяжести, включающем режимные наблюдения на поверхности этих объектов аномальной динамической напряженности магнитного поля формирующихся поверхностей отрыва или поверхностей скольжения подвижных масс разрушающихся объектов относительно неподвижных и определение минимальной глубины формирующихся поверхностей отрыва в случае фиксации на поверхности наблюдений одиночных экстремумов динамической напряженности магнитного поля или минимальной глубины и горизонтальной длины формирующихся поверхностей скольжения в случае фиксации на поверхности наблюдений двойных одноименных экстремумов динамической напряженности магнитного поля, согласно изобретению режимные наблюдения аномальной динамической напряженности магнитного поля производят с интервалом, обеспечивающим равенство разности напряженности магнитного поля предыдущих и последующих наблюдений в фиксированной точке контрольных аномалий – в случае формирующихся поверхностей отрыва режимные наблюдения производят в экстремальной точке контрольных аномалий, а в случае формирующихся поверхностей скольжения режимные наблюдения производят в точке поверхности наблюдений, лежащей на пря-

мой, проходящей через два одноименных экстремума контрольных аномалий и находящейся со стороны монотонного изменения динамической напряженности магнитного поля на расстоянии

$$L = \frac{l_1 - l_2}{2 \left(\frac{h_{\max}}{h_{\min}} - 1 \right)},$$

от эпицентральной минимальной глубине поверхности скольжения экстремума, где l_1 – расстояние между одноименными экстремумами, l_2 – половина горизонтальной длины формирующихся поверхностей скольжения, h_{\max}/h_{\min} – отношение максимальной и минимальной глубин формирующихся поверхностей скольжения и в процессе режимных наблюдений динамической напряженности магнитного поля на поверхности ограниченно устойчивых объектов в поле силы тяжести критическую напряженность динамического магнитного поля при которой нарушается целостность объекта, определяют из выражения

$$Z_c = \frac{h_{\min} \cdot Z_{\text{экс}}}{h_{\text{наб}}},$$

где $Z_{\text{экс}}$ – экстремальное значение динамической напряженности магнитного поля над минимальной глубиной формирующихся поверхностей отрыва или скольжения; h_{\min} – минимальная глубина формирующихся поверхностей отрыва или скольжения на момент регистрации экстремальной динамической напряженности магнитного поля $Z_{\text{экс}}$, $h_{\text{наб}}$ – высота наблюдения аномальной динамической напряженности магнитного поля относительно поверхности ограниченно устойчивых объектов в поле силы тяжести, в ресурс долговечности t ограниченно устойчивых объектов в поле силы тяжести определяют из выражений

$$t = \frac{\Delta t_{k+1}^2}{\Delta t_{k+1} - \Delta t_k} \times \left(\frac{\Delta t_{k+1}}{\Delta t_k} \right)^{\frac{2Z_{k+1} - (Z_k + Z_c)}{Z_k - Z_{k+1}} - 1},$$

где Δt_k – интервал времени между $k+1$ -м и k -тым наблюдениями;

Δt_{k+1} – интервал времени между $k+2$ -м и $k+1$ -м наблюдениями;

ΔZ_k – напряженность динамического магнитного поля k -того наблюдения, нТ;

ΔZ_{k+1} – напряженность динамического магнитного поля $k+1$ -го наблюдения, нТ.

Таким образом, однозначно связанное с накоплением поврежденности время до разрушения контрольного объекта определяется из функции состояния напряженности магнитного поля локальной части контрольного объекта в области деформации, характеризующей детерминированный процесс разрушения. Этот процесс рассматривается как следствие накопления микроразрушений, возникающих в результате намагничивания вещества окружающей среды, неизбежно заполняющего микротрещины различного характера в механически напряженном теле. При этом вновь возникающие в результате взаимодействия магнитных полей разрушаемого объекта и окружающей среды микротрещины тут же заполняются веществом среды, намагничиваемым в свою очередь, то есть, процесс накопления микротрещин, а в случае пластичных пород – изменение текстуры зон неустойчивости идет непрерывно, а непрерывно протекающие процессы можно описать некоторым уравнением или системой уравнений.

Все вещества по магнитным свойствам разделяются на три основные группы – диамагнетики, парамагнетики и ферромагнетики. Диамагнитное вещество выталкивается в неоднородном магнитном поле, а в однородном устанавливается перпендикулярно силовым линиям поля (диамагнетиком, в частности, является вода). Парамагнитное вещество втягивается в неоднородном магнитном поле, а в однородном устанавливается перпендикулярно силовым линиям поля (парамагнетиком, в частности, является воздух).

В природе, как правило, магнитные поля неоднородны, поэтому намагничиваемые диамагнетики выталкиваются из намагничивающего поля, а намагничиваемые парамагнетики втягиваются намагничивающим полем, следовательно, диамагнитные и парамагнитные вещества постоянно находятся в неравновесном состоянии. С позиций такого подхода разрушение имеет два аспекта – магнитензионное зарождение микротрещины и переход к макроразрушению материала.

Элементарным актом разрушения является магнитензионное зарождение неустойчивой микротрещины. Проникновение окружающей среды (воздух, влага) в область дефекта кристаллической решетки пребывающего в состоянии кажущейся устойчивости объекта приводит к развитию последней в силу создаваемого избыточного напряже-

ния при миграции в теле намагниченного диа- или парамагнетика. Начальные микротрещины неустойчивы, их объемная концентрация увеличивается с течением времени, поскольку увеличивается в объеме трещин и создающее перенапряжение количество намагничиваемого неравновесного вещества окружающей объект среды.

В некоторый момент происходит переход от зародышевых, начальных трещин на микроуровень, т.е. к деформации, соизмеримой с размерами тела, происходит формирование очага необратимой деформации (ОНД). В общем то, энергия магнитного поля объекта перераспределяется таким образом, чтобы препятствовать нарушению целостности объекта. Однако, в наиболее ослабленных в силу различных причин местах ОНД продолжает прогрессировать, увеличиваясь в размерах, поскольку в область необратимой деформации постоянно осуществляется приток намагничиваемого вещества окружающей среды, находящегося в неравновесном состоянии, т.е. увеличивающего напряжение в теле, при этом намагниченная среда ОНД регистрируется наружным наблюдением. По достижении некоторой (критической) величины напряженности магнитного поля ОНД, отвечающей таким линейным размерам деформации, при которых опорная реакция внутри объекта не компенсирует действие силы тяжести, происходит разрушение объекта. При этом, ввиду детерминированности процессов, время до разрушения (ресурс долговечности) однозначно связано с накоплением поврежденности, а наиболее удобной для регистрации мерой поврежденности объекта является напряженность H магнитного поля ОНД.

Таким образом, прогнозирование осуществляется прямым расчетом времени до начала разрушения контрольного объекта посредством регистрации динамической составляющей аномального магнитного поля очагов деформации, что позволяет при известной критической напряженности значительно повысить надежность прогнозирования, осуществляя наряду с краткосрочным средним и долгосрочный прогнозы длительности устойчивого состояния контрольных объектов.

Существенными признаками в данном изобретении являются:

режимные наблюдения на поверхности этих объектов аномальной динамической напряженности магнитного поля формирующихся поверхностей отрыва или поверхностей скольжения подвижных масс отнрсительно неподвижных;

определение минимальной глубины формирующихся поверхностей отрыва в случае фиксации на поверхности наблюдений одиночных экстремумов динамической напряженности магнитного поля или минимальной глубины и горизонтальной длины формирующихся поверхностей скольжения в случае фиксации на поверхности наблюдения двойных одноименных экстремумов магнитного поля;

осуществление режимных наблюдений аномальной динамической напряженности магнитного поля с интервалом, обеспечивающим равенство разности напряженности магнитного поля предыдущих и последующих наблюдений в фиксированной точке контрольных аномалий – в случае формирующихся поверхностей отрыва режимные наблюдения производят в экстремальной точке контрольных аномалий, а в случае формирующихся поверхностей скольжения режимные наблюдения производят в точке поверхности наблюдений, лежащей на прямой, проходящей через два одноименных экстремума контрольных аномалий и находящейся со стороны монотонного изменения динамической напряженности магнитного поля на расстоянии

$$L = \frac{l_1 - l_2}{2 \left(\frac{h_{\max}}{h_{\min}} - 1 \right)},$$

от эпицентральной минимальной глубине поверхности скольжения экстремума, где l_1 – расстояние между одноименными экстремумами, l_2 – половина горизонтальной длины формирующихся поверхностей скольжения, h_{\max}/h_{\min} – отношение максимальной и минимальной глубин формирующихся поверхностей скольжения;

определение критической напряженности магнитного поля, при которой нарушается целостность объектов из выражения:

$$Z_c = \frac{h_{\min} \cdot Z_{\text{экс}}}{h_{\text{наб}}},$$

где $Z_{\text{экс}}$ – экстремальное значение динамической напряженности магнитного поля над минимальной глубиной формирующихся поверхностей отрыва или скольжения, h_{\min} – минимальная глубина формирующихся поверхностей отрыва или скольжения на момент регистрации напряженности магнитного поля $Z_{\text{экс}}$, $h_{\text{наб}}$ – высота наблюдения аномальной динамической напряженности магнитного поля относительно

поверхности ограниченно устойчивых объектов в поле силы тяжести;

определение ресурса долговечности т ограниченно устойчивых объектов в поле силы тяжести из выражения

$$\tau = \frac{\Delta t_{k+1}^2}{\Delta t_{k+1} - \Delta t_k} \times \left[\left(\frac{\Delta t_{k+1}}{\Delta t_k} \right)^{\frac{2Z_{k+1} - (Z_k + Z_c)}{Z_k - Z_{k+1}}} - 1 \right],$$

где Δt_k – интервал времени между $k+1$ -м и k -тым наблюдениями;

Δt_{k+1} – интервал времени между $k+2$ -м и $k+1$ -м наблюдениями;

Z_k – напряженность динамического магнитного поля k -го наблюдения, нТ;

Z_{k+1} – напряженность динамического магнитного поля $k+1$ -го наблюдения, нТ;

Z_c – критическая напряженность динамического магнитного поля, нТ.

Отличительными существенными признаками изобретения являются:

осуществление режимных наблюдений аномальной динамической напряженности магнитного поля с интервалом, обеспечивающим равенство разности напряженности

магнитного поля предыдущих и последующих наблюдений в фиксированной точке контрольных аномалий – в случае формирующихся поверхностей отрыва режимные наблюдения производят в экстремальной точке контрольных аномалий, а в случае формирующихся поверхностей скольжения режимные наблюдения производят в точке

поверхности наблюдения, лежащей на прямой, проходящей через два одноименных экстремума контрольных аномалий и находящейся со стороны монотонного изменения динамической напряженности

магнитного поля на расстоянии

$$L = \frac{l_1 - l_2}{2 \left(\frac{h_{\max}}{h_{\min}} - 1 \right)},$$

от эпицентральной минимальной глубине поверхности скольжения экстремума, где l_1 – расстояние между одноименными экстремумами, l_2 – половина горизонтальной длины формирующихся поверхностей скольжения, h_{\max}/h_{\min} – отношение максимальной и минимальной глубин формирующихся поверхностей скольжения;

определение критической напряженности магнитного поля Z_c , при которой нарушается целостность объектов из выражения

$$Z_c = \frac{h_{\min} \cdot Z_{\text{экс}}}{h_{\text{наб}}}$$

где $Z_{\text{экс}}$ – экстремальное значение динамической напряженности магнитного поля над минимальной глубиной формирующихся поверхностей отрыва или скольжения, h_{\min} – минимальная глубина формирующихся поверхностей отрыва или скольжения на момент регистрации напряженности магнитного поля $Z_{\text{экс}}$, $h_{\text{наб}}$ – высота наблюдения аномальной динамической напряженности магнитного поля относительно поверхности ограниченно устойчивых объектов в поле силы тяжести;

определение ресурса долговечности t ограниченно устойчивых объектов в поле силы тяжести из выражения

$$t = \frac{\Delta t_k^2 + 1}{\Delta t_{k+1} - \Delta t_k} \times x \left[\left(\frac{\Delta t_k + 1}{\Delta t_k} \right)^{\frac{2Z_{k+1} - (Z_k + Z_c)}{Z_k - Z_{k+1}}} - 1 \right],$$

где Δt_k – интервал времени между $k+1$ -м и k -тым наблюдениями;

Δt_{k+1} – интервал времени между $k+2$ -м и $k+1$ -м наблюдениями;

Z_k – напряженность динамического магнитного поля k -го наблюдения, нТ;

Z_{k+1} – напряженность динамического магнитного поля $k+1$ -го наблюдения, нТ;

Z_c – критическая напряженность динамического магнитного поля, нТ.

Указанные признаки являются необходимыми и достаточными во всех случаях осуществления способа определения ресурса долговечности ограниченно устойчивых объектов в поле силы тяжести.

Благодаря тому, что на поверхности ограниченно устойчивых объектов в поле силы тяжести производятся режимные наблюдения динамической аномальной напряженности магнитного поля формирующихся поверхностей отрыва или поверхностей скольжения подвижных масс относительно неподвижных, становится возможным количественно учесть с достаточной для практики точностью динамику роста внутренних деформаций – поверхностей отрыва или поверхностей скольжения.

Известно, что формирующаяся поверхность отрыва отображается в локальном магнитном поле динамической аномалией

$$Z = \frac{\lambda h_{\min}}{x^2 + h_{\min}^2} \text{ нТ (наноТесла)},$$

где λ – магнитная масса единицы длины поверхности отрыва, h_{\min} – глубина верхней

кромки поверхности отрыва, x – координата профиля вкrest простираения аномалии Z .

Полагая, что $\frac{1}{2} Z_{\text{экс}} = Z(x_{1/2})$, где $x_{1/2}$ –

координата половины экстремальной напряженности поля, из системы

$$\begin{cases} Z_{\text{экс}} = -\frac{\lambda}{h_{\min}}, \\ \frac{1}{2} Z_{\text{экс}} = \frac{\lambda h_{\min}}{x_{1/2}^2 + h_{\min}^2}, \end{cases}$$

получаем

$$h_{\min} = x_{1/2} \cdot Z_c = \frac{h_{\min} \cdot Z_{\text{экс}}}{h_{\text{наб}}},$$

где Z_c – критическая напряженность динамического магнитного поля, когда поверхность отрыва достигает поверхности наблюдений, режимные наблюдения производятся в экстремальной точке.

В случае формирующейся поверхности скольжения экстремальная точка напряженности магнитного поля над минимумом субвертикальной части поверхности скольжения мигрирует в сторону монотонного изменения напряженности поля и достигает критического значения с достаточной для практики точностью на расстоянии

$$L = \frac{l_1 - l_2}{2 \left(\frac{h_{\max}}{h_{\min}} - 1 \right)},$$

от эпицентральной минимальной глубине поверхности скольжения экстремума, где l_1 – расстояние между одноименными экстремумами, l_2 – половина горизонтальной длины формирующейся поверхности скольжения, $h_{\max/\min}$ – отношение максимальной и минимальной глубин формирующейся поверхности скольжения.

Известно, что горизонтальная часть поверхности скольжения отображается в локальном магнитном поле динамической аномалией

$$Z = 2l \left(\operatorname{arctg} \frac{x + l_2}{h_{\max}} - \operatorname{arctg} \frac{x - l_2}{h_{\max}} \right)$$

получаем зависимости при

$$\frac{1}{2} Z_{\text{экс}} = Z(x_{1/2}),$$

$$\frac{1}{4} Z_{\text{экс}} = Z(x_{1/4}),$$

$$h_{\max} = k \frac{x_{1/2}}{2}, \quad l_2 = \frac{x_{1/2}}{2} \sqrt{4 - k^2},$$

где $k = \left(\frac{x_{1/4}}{x_{1/2}} \right)^2 - 1$,

то есть, по характерным точкам аномалии величины h_{\max} и l_2 определяются однознач-

но, а определение критического значения Z_c остается без изменений.

Режимные наблюдения с интервалом, обеспечивающим равенство разности динамической напряженности магнитного поля предыдущих и последующих наблюдений позволяют радикально упростить экстраполяцию напряженности динамического магнитного поля во временном интервале, что существенно повышает точность прогнозирования и оперативность результата.

Благодаря тому, что режимные наблюдения производятся в фиксированной точке на поверхности контрольных объектов, становится возможным трансформировать дифференциальное уравнение в частных производных, описывающее динамику роста поверхности отрыва и скольжения, в обыкновенное дифференциальное уравнение, решением которого является прогнозистическая кривая, зависящая от времени, из которой определяется при определенном ранее критическом значении Z_c ресурс долговечности ограниченно устойчивых объектов в поле силы тяжести из выражения

$$\tau = \frac{\Delta t_{k+1}^2}{\Delta k_{k+1} - \Delta t_k} \times \\ \times \left[\left(\frac{\Delta t_{k+1}}{\Delta t_k} \right)^{\frac{2Z_{k+1} - (Z_k + Z_c)}{Z_k - Z_{k+1}}} - 1 \right],$$

где Δt_k – интервал времени между $k+1$ -м и k -тым наблюдениями;

Δt_{k+1} – интервал времени между $k+2$ -м и $k+1$ -м наблюдениями;

Z_k – напряженность динамического магнитного поля k -го наблюдения, нТ;

Z_{k+1} – напряженность магнитного поля $k+1$ -го наблюдения, нТ;

Z_c – критическая напряженность магнитного поля, нТ.

Таким образом, благодаря совокупности перечисленных выше известных и новых существенных признаков стало возможным осуществление учета причинно-следственных связей между характером накопления внутренних деформаций в ограниченно устойчивых объектах в поле силы тяжести и временем развития этих деформаций, что обеспечивает повышение надежности информации о сроках устойчивости контрольных объектов и, как следствие, получение долгосрочного, среднесрочного и краткосрочного прогнозов их устойчивого состояния с требуемой точностью.

Предлагаемый способ осуществляется следующим способом.

Проникающая в область внутренних дефектов пребывающих в состоянии кажущегося равновесия объектов окружающая среда (воздух, влага) намагничивается под действием магнитного поля объекта и создает локальные перенапряжения, поскольку, как было отмечено выше, постоянно находится в неравновесном состоянии. Вследствие этого объем очагов необратимой деформации непрерывно возрастает при непрерывном поступлении во внутрь образуемый объем непрерывно намагничиваемой среды, хотя этот процесс происходит очень медленно. Количественно этот процесс описывается дифференциальным уравнением в частных производных

$$\eta \cdot \Delta \vec{H} = \sum_{n=1}^2 t^{n-1} \frac{\partial^n \vec{H}}{\partial t^n}, \quad (1)$$

где \vec{H} – вектор напряженности магнитного поля очага необратимой деформации (или любая его составляющая), η – коэффициент намагничивания.

Вследствие очень слабой зависимости от времени уравнения (1), в точке поверхности контрольного объекта, соответствующей эпицентру источника микроаномалий, равенство с достаточной для практики точностью распадается на два уравнения

$$\begin{cases} \Delta \vec{H} = 0, \\ \frac{\partial \vec{H}}{\partial t} + t \frac{\partial^2 \vec{H}}{\partial t^2} = 0, \end{cases} \quad (2)$$

а в силу фиксации исследуемой точки на поверхности контрольного объекта, прогнозистическая кривая конкретного ОНД $\vec{H}(t)$

удовлетворяет обыкновенному дифференциальному уравнению. В частности, если при определении ресурса долговечности контрольного объекта используется вертикальная составляющая магнитного поля ОНД $Z(t)$, уравнение имеет вид

$$\ddot{z} + t \ddot{z} = 0 \quad (3)$$

Общее решение уравнения (3) содержит две произвольные постоянные. Одна постоянная имеет размерность напряженности магнитного поля и является собственным магнитным полем Z_0 очага необратимой деформации (при различных геометрических особенностях ОНД следуют различные Z_0). Вторая постоянная имеет размерность времени и является длительностью становления детерминированного процесса

деформации локальной части контрольной структуры t_0 , так как переориентация микро- и макроструктур вещества, определяющих его внешнее магнитное поле, требует конечного времени. Кроме этого, ОНД всегда формируется на каком-нибудь начальном уровне магнитного поля Z_N - локальном нормальном поле. С учетом вышесказанного, решение уравнения (3) имеет вид

$$Z(t) = Z_N - Z_s \ln \frac{t}{t_0}, \quad (4)$$

следовательно, эмпирическая кривая, построенная в результате наблюдений, является логарифмической функцией времени с постоянными Z_s и t_0 , отвечающим конкретным параметрам контролируемого ОНД, определенная на некотором уровне значения магнитного поля Z_N . Целевым параметром является время развития деформации контрольных объектов. Обращая функцию (4), получаем

$$t = t_0 \exp \frac{Z_N - Z}{Z_s}; \quad (5)$$

Если в некоторый момент времени развития деформации $t = t_k$ напряженность магнитного поля в эпицентре очага необратимой деформации равна Z_k , получаем

$$t_k = t_0 \exp \frac{Z_N - Z_k}{Z_s},$$

или

$$t_0 = \exp \frac{Z_k - Z_N}{Z_s}. \quad (6)$$

Подставляя (6) в (5) получаем целевую функцию времени развития деформации

$$t = t_k \exp \frac{Z_k - Z}{Z_s}, \quad (7)$$

не зависящую от локального нормального поля, в котором деформируется контрольный объект.

В целях обнаружения и контроля очагов необратимой деформации производится рекогносцировочная магнитная съемка исследуемых объектов. Эллиптические в плане локальные динамические микроаномалии свидетельствуют о наличии и росте внутренних деформаций, со временем приводящих к разрушению объектов. Существенным моментом методики режимных наблюдений является регистрация экстремального значения напряженности магнитного поля в фиксированной точке. Для этого в окрестности эпицентров динамических микроаномалий производится микромагнитная сетка со сгущающейся равномерной сетью наблюдений до получения экстремального значения

напряженности магнитного поля. Зафиксировав на поверхности наблюдений точки с экстремальными значениями динамических микроаномалий, через промежутки времени, обеспечивающие в фиксированных точках контроля равенства разности предыдущих и последующих наблюдений производят режимные измерения экстремальной напряженности магнитного поля очагов необратимой деформации, данные заносятся в журнал наблюдений, возможные вариации напряженности магнитного поля исключаются посредством синхронных наблюдений на опорных точках с известным статическим магнитным полем.

Целевая функция времени развития деформаций (7) однозначно определяется по трем точкам наблюдений в некоторые моменты времени

$$t_k, t_{k+1}, t_{k+2},$$

для которых наблюдаемое магнитное поле связано соотношением

$$Z_k - Z_{k+1} = Z_{k+1} - Z_{k+2} \quad (8)$$

при известных интервалах наблюдений

$$\begin{cases} \Delta t_k = t_{k+1} - t_k, \\ \Delta t_{k+1} = t_{k+2} - t_{k+1}. \end{cases} \quad (9)$$

Действительно, из (7) следует

$$\begin{cases} t_{k+1} = t_k \exp \frac{Z_k - Z_{k+1}}{Z_s}, \\ t_{k+2} = t_{k+1} \exp \frac{Z_{k+1} - Z_{k+2}}{Z_s}. \end{cases}$$

Отсюда согласно (8) и (9) получаем замкнутую систему уравнений

$$\begin{cases} t_{k+1}^2 = t_k \cdot t_{k+2}, \\ t_{k+1} - t_k = \Delta t_k, \\ t_{k+2} - t_{k+1} = \Delta t_{k+1}, \end{cases} \quad (10)$$

а также собственное магнитное поле очага необратимой деформации

$$Z_s = \frac{Z_k - Z_{k+1}}{\ln \frac{t_{k+1}}{t_k}}. \quad (11)$$

Подставляя (11) в (7), в частности, получаем

$$t = t_k \left(\frac{t_{k+1}}{t_k} \right)^{\frac{Z_k - Z}{Z_k - Z_{k+1}}} \quad (12)$$

Считая время последнего наблюдения t_{k+2} началом отсчета искомого времени деформации контрольного объекта, из (12) получаем

$$t = t_k \left(\frac{t_{k+1}}{t_k} \right)^{\frac{Z_k - Z}{Z_k - Z_{k+1}}} - t_{k+2}.$$

Система уравнений (10) легко решается

$$t_k = \frac{\Delta t_k^2}{\Delta t_{k+1} - \Delta t_k}, t_{k+1} = \frac{\Delta t_k \cdot \Delta t_{k+1}}{\Delta t_{k+1} - \Delta t_k},$$

$$t_{k+2} = \Delta t_{k+1} / \Delta t_{k+1} - \Delta t_k^2.$$

Подставляя результат решения системы (10) в предыдущее равенство, получаем

$$t = \frac{\Delta t_{k+1}^2}{\Delta t_{k+1} - \Delta t_k} \times$$

$$\times \left[\left(\frac{\Delta t_{k+1}}{\Delta t} \right)^{\frac{2Z_{k+1} - (Z_k + Z_c)}{Z_k - Z_{k+1}}} - 1 \right].$$

Из (4) вытекает, что любой очаг необратимой деформации с течением времени неограниченно увеличивается в размерах. Однако очевидно, что в таком случае с течением времени нарушается устойчивость объекта и по достижению некоторого критического значения Z_c следует лавинообразный рост макротрещин, поскольку любые естественные или антропогенные образования находятся в постоянном действии поля силы тяжести, наступает разрушение материала (объекта). Определение критического значения Z_c является весьма тонкой расчетной операцией, которая требует конкретного подхода в каждом конкретном случае со всесторонним анализом как особенностей контрольного объекта, так и динамических параметров ОНД в зависимости от его характера. По определению Z_c получаем зависимость

$$t = \frac{\Delta t_{k+1}^2}{\Delta t_{k+1} - \Delta t_k} \times$$

$$\times \left[\left(\frac{\Delta t_{k+1}}{\Delta t} \right)^{\frac{2Z_{k+1} - (Z_k + Z_c)}{Z_k - Z_{k+1}}} - 1 \right]. \quad (13)$$

Равенство (13) позволяет определить ресурс долговечности ограниченно устойчивых объектов в поле силы тяжести при помощи системы режимных наблюдений динамической напряженности магнитного поля очагов необратимой деформации.

Преимуществом способа является относительность измерений напряженности без использования нормального (или любого базисного) магнитного поля, что обеспечивает большую точность и производительность, так как при режимной съемке достаточно использовать цифровые данные показаний ΔZ магнитометра (без пересчета

в нанотесла) и требуемый масштаб времени (часы, дни, недели, месяцы, годы).

Под влиянием изменения внешних условий режим накопления деформаций может изменяться в процессе их генезиса, однако в этом случае закон формирования ОНД в механически напряженном теле (1) остается неизменным, изменяются лишь начальные и граничные условия для уравнения (1), что может привести к некоторым вариациям целевой функции (4) в силу изменения постоянных t_0 и Z_s . Следовательно, в любом случае система режимных наблюдений обеспечивает достоверность определения ресурса долговечности деформируемых объектов.

Примеры осуществления изобретения

1. Определяется целесообразность строительства насосной станции у основания первого яруса северо-восточной части борта карьера ЮГОКа, г.Кривой Рог.

Данная техногенная структура (первый ярус борта карьера) имеет ограниченную устойчивость, поскольку испытывает суммарное воздействие вышележащих технологических структур, силы тяжести и периодически динамические нагрузки при взрывных работах. Контроль устойчивости нижнего яруса является необходимым условием при строительстве у его основания промышленных или бытовых зданий и сооружений – строительство насосной станции целесообразно только в случае ресурса долговечности (длительности устойчивого состояния яруса) соизмеримого со сроком эксплуатации насосной станции.

В целях определения ресурса долговечности нижнего яруса борта карьера на верхней площадке яруса 13.12.91 г. была произведена микромагнитная съемка ΔZ магнитометром М-27М, выявившая протяженную (по борту карьера) микроаномалию с максимумом в -30 относительных единиц напряженности магнитного поля (как было указано выше, переход к единицам напряженности магнитного поля нТ (нанотесла) не является необходимостью).

Через пять месяцев, 13.05.92 г. экстремальное значение в фиксированной точке наблюдения достигло -54 относительных единиц напряженности магнитного поля, то есть, разность наблюдений

$$\Delta = Z_1 - Z_2 = -30 - (-54) = 24$$

составила 24 относительных единиц напряженности магнитного поля. Одиночный динамический экстремум отображает формирующуюся поверхность отрыва.

Следующее значение по технологии наблюдений

$$Z_3 = -54 - 24 = -78$$

было зафиксировано в стационарной точке наблюдения 15.11.92 г., то есть, практически через полгода. Высота наблюдений составляла $h_{\text{наб}} = 1$ м, половина максимума 13.12.91 г.

$$\frac{1}{2} Z_{\text{экс}} = -15$$

наблюдалась на расстоянии 5,2 метра от фиксированной точки наблюдений, следовательно, согласно вышеизложенному на 13.12.91 г. минимальная глубина поверхности отрыва составляла

$$h_{\text{min}} = \frac{1}{2} = 5,2 \text{ м}$$

и, следовательно, критическая напряженность магнитного поля поверхности отрыва достигает

$$Z_c = \frac{h_{\text{min}} \cdot Z_{\text{экс}}}{h_{\text{наб}}} = \frac{5,2 \text{ м} \cdot -30}{1 \text{ м}} = -156$$

относительных единиц напряженности магнитного поля.

Таким образом, в результате наблюдений и целевых расчетов получены все данные для определения ресурса долговечности нижнего яруса борта карьера

$$\begin{cases} Z_1 = -30, & Z_2 = -54, \\ \Delta t_1 = \frac{5}{12} \text{ года}, & \Delta t_2 = \frac{6}{12} \text{ года}, \\ Z_c = -156. \end{cases} \quad (14)$$

Из (14), показатель степени при отношении

$$\frac{\Delta t_2}{\Delta t_1} = \frac{6}{5} 1,2$$

в равенстве (13) равен:

$$\frac{2 Z_2 - (Z_1 + Z_c)}{Z_1 - Z_2} =$$

$$= \frac{-108 + 30 + 156}{-30 + 54} = \frac{78}{24} = 3,25$$

То есть, подставляя (14) в (13), получаем

$$t = \frac{36}{144} \cdot \frac{12}{1} [(1,2)^{3,25} - 1] \text{ года} =$$

$$= 3[(1,2)^3 \sqrt[4]{1,2} - 1] \text{ года} =$$

$= 3(1,81 - 1) \text{ года} = 3 \cdot 0,81 \text{ года} \approx 2,43 \text{ года}.$

Следовательно, ресурс долговечности (время устойчивого состояния) нижнего яруса борта карьера составляет около двух с половиной лет, строительство каких-либо сооружений у основания борта карьера без проведения специальных противооползневых мероприятий нецелесообразно.

2. Определяется ресурс долговечности оползнеопасной структуры в ножной части Шархинского гранитного карьера, выше озера Ай-Ефим (Южный Берег Крыма, пос. Пушкино).

Участок горного склона выше озера Ай-Ефим имеет тенденцию медленного сползания в Южном направлении, что, учитывая периодические динамические нагрузки в результате взрывных работ в карьере, может привести оползнеопасную структуру в активное состояние и выброс селя на расположенный ниже по склону пос.Пушкино.

В результате микромагнитный съемки 13.08.91 года магнитометром М-27м, на участке горного склона выше озера Ай-Ефим выявлена протяженная микроаномалия напряженности магнитного поля с двумя экстремальными значениями

$$Z_{\text{экс}_1} = -113, Z_{\text{экс}_2} = -93$$

относительных единиц магнитного поля.

Очевидно, больший по модулю экстремум отображает субвертикальную часть формирующейся поверхности скольжения, а меньший – горизонтальную.

На расстоянии $x_{1/2} = 2,7$ м вкострости аномалии в сторону монотонного изменения магнитного поля зафиксирована половина экстремума $\frac{1}{2} Z_{\text{экс}_1} = -56,5$, следовательно, согласно вышеизложенному минимальная глубина поверхности скольжения

$$h_{\text{min}} = 2,7 \text{ м},$$

а критическая напряженность магнитного поля, при которой оползень достоверно придет в активное движение

$$Z_c = \frac{h_{\text{min}} \cdot Z_{\text{экс}_1}}{h_{\text{над}}} = \frac{2,7 \text{ м} \cdot -113}{1 \text{ м}} = -305,$$

поскольку зеркало скольжения достигнет поверхности склона (наблюдение производится на высоте 1 метр).

Расстояние между экстремумами при съемке 13.08.91 года составило

$$l_1 = 63 \text{ м},$$

а половина и четверть второго экстремума наблюдалась соответственно на расстоянии

ях $x_{1/2} = 35,5$ м и $x_{1/4} = 53,5$ м, вниз по склону, то есть

$$k = \left(\frac{x_{1/4}}{x_{1/2}} \right)^2 - 1 \approx (1,52)^2 - 1 \approx 1,3.$$

Следовательно, максимальная глубина поверхности скольжения

$$h_{\max} = \frac{k \cdot x_{1/2}}{2} \approx \frac{1,3 \cdot 35,3 \text{ м}}{2} = 23 \text{ м},$$

а половина горизонтальной длины

$$l_2 = \frac{x_{1/2}}{2} \sqrt{4 - k^2} = \frac{35,3 \text{ м}}{2} \sqrt{1,52} \approx 27 \text{ м}.$$

Из вышеприведенных данных фиксированная точка наблюдений динамической аномалии закреплялась на расстоянии

$$L = \frac{l_1 - l_2}{2 \left(\frac{h_{\max}}{h_{\min}} - 1 \right)} = \frac{63 - 27}{2 \left(\frac{23}{2,7} - 1 \right)} \text{ м} \approx 2,4 \text{ м},$$

в данной точке динамическая напряженность магнитного поля 13.08.91 года составила

$$Z_1 = -61,5$$

относительных единиц.

Через $\Delta t_1 = \frac{4,5}{12}$ года, 27.12.91 года, напряженность магнитного поля в фиксированной контрольной точке составила

$$Z_2 = -92,5$$

относительных единиц при

$$\Delta = Z_1 - Z_2 = -61,5 + 92,5 = 31.$$

Следующее значение напряженности магнитного поля $Z_3 = -123,5$, обеспечивающее модуль разности 31, наблюдалось 29.06.92 года, то есть, практически

$$\Delta t_2 = \frac{6}{12} \text{ года}.$$

Таким образом, в результате наблюдений и целевых расчетов получены все данные для определения ресурса долговечности оползнеопасного горного склона выше озера Ай-Ефим:

$$\begin{cases} Z_1 = -61,5, & Z_2 = -92,5, \\ \Delta t_k = \frac{4,5}{12} \text{ года}, & \Delta t_2 = \frac{6}{12} \text{ года}, \\ Z_c = -305. \end{cases}$$

Из (15), показатель степени при отношении

$$\frac{\Delta t_2}{\Delta t_k} = \frac{4}{3}$$

в равенстве (13) равен

$$\frac{2 Z_2 - (Z_1 + Z_c)}{Z_1 - Z_2} = \frac{-185 + 61,5 + 305}{31} \approx 5,85.$$

Так как

$$\frac{\Delta t_2^2}{\Delta t_2 - \Delta t_1} = 2,$$

согласно (13) получаем

$$t = 2 \left[\left(\frac{4}{3} \right)^{5,85} - 1 \right] \text{ года} = 2 \left[(5,37 - 1) \right] \text{ года} \approx 8,74 \text{ года}.$$

Следовательно, при тенденции медленного сползания (в настоящее время) участка горного склона, находящегося выше озера Ай-Ефим, его ресурс долговечности (длительность устойчивого состояния) около девяти лет, о чем было сообщено администрации находящегося выше по склону Шархинского гранитного карьера.

Таким образом, предлагаемый способ позволяет осуществлять контроль внутреннего состояния как техногенных сооружений различного назначения и масштаба, так и естественных образований (горных склонов, речных террас и т.д.) и прогнозировать длительность их устойчивого состояния. В условиях промышленной разработки минерального сырья применение предлагаемого способа повышает безопасность работ и способствует сохранности окружающей среды, так как позволяет определить сроки необходимого проведения мероприятий в конкретном месте в конкретное время, исключающих разрушение контрольных объектов. При этом непрерывные режимные наблюдения позволяют производить учет изменения действия внешних условий (как природных так и техногенных) на направленность развития внутренних деформаций. Глубинность предлагаемого способа можно увеличить посредством не прямых измерений магнитного поля сплошной среды.

Применение предлагаемого способа позволяет предотвратить аварийные ситуации, обеспечить сохранность промышленных и бытовых зданий и сооружений в местах вероятных движений поверхности грунта и массивов горных пород, оградить лесные и

сельскохозяйственные угодья от загрязнения.

Способ определения ресурса долговечности ограниченно устойчивых объектов может быть реализован при открытой и подземной разработке месторождений, эксплуатации шламохранилищ и других насыпных сооружений, а также в случае прогноза

сдвига больших масс земной поверхности (обвалов, оползней, землетрясений).

Стоимость проведения специальных мероприятий, повышающих устойчивость контрольных объектов оправдывается конечной целью – сохранением окружающей среды и повышением безопасности производства работ различного назначения.

Упорядник

Техред М.Келемеш

Коректор Л.Лукач

Замовлення 4461

Тираж

Підписне

Державне патентне відомство України,
254655, ГСП, Київ-53, Львівська пл., 8



УКРАЇНА

(19) UA (11) 21934 (13) C1

(51) G 01 V 3/08

ДЕРЖАВНЕ
ПАТЕНТНЕ
ВІДОМСТВООПИС ДО ПАТЕНТУ
НА ВІНАХІД

(54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ РЕСУРСУ ДОВГОВІЧНОСТІ ОБМЕЖЕНО СТІЙКИХ ОБ'ЄКТІВ У ПОЛІ СИЛИ ТЯЖІННЯ

1

(21) 94032270

(22) 23.03.94

(24) 30.04.98

(46) 30.04.98. Бюл. № 2

(56) 1. Шурков Н.С., Куксенко В.С., Петров В.А. Можно ли прогнозировать разрушения? – Сб. "Будущее науки", вып.16. М., "Знание", 1983, с.100–111.

2. Соболев В.Г. Прогноз и контроль оползневых процессов на месторождениях. – "Горное дело", 1989, № 3, с.43–47.

(72) Оніка Сергій Георгійович, Мантула Юрій Макарович, Кривошеєв Олександр Васильович, Карпукін Валерій Васильович, Бойчук Константин Константинович, Грицаєнко Василь Іванович

(73) Науково-дослідний гірничорудний інститут НДГРІ

(57) Способ определения ресурса долговечности ограниченно устойчивых объектов в поле силы тяжести, включающий режимные наблюдения на поверхности этих объектов аномальной динамической напряженности магнитного поля формирующихся поверхностей отрыва или поверхностей скольжения подвижных масс разрушающихся объектов относительно неподвижных и определение минимальной глубины формирующихся поверхностей отрыва в случае фиксации на поверхности наблюдений одиночных экстремумов динамической напряженности магнитного поля или минимальной глубины и горизонтальной длины формирующихся поверхностей скольжения в случае фиксации на поверхности наблюдений двойных одноименных экстремумов динамической напряженности магнитного поля, отличающийся тем, что режимные наблюдения аномальной динамической напряженности магнитного поля производят с интервалом, обеспечивающим равенство разности напряженности магнитного поля предыдущих

2

и последующих наблюдений в фиксированной точке контрольных аномалий, причем, в случае формирующихся поверхностей отрыва режимные наблюдения производят в экстремальной точке контрольных аномалий, а в случае формирующихся поверхностей скольжения – в точке поверхности наблюдений, лежащей на прямой, проходящей через два одноименных экстремума контрольных аномалий и находящейся со стороны монотонного изменения динамической напряженности магнитного поля на расстоянии

$$L = \frac{l_1 - l_2}{2 \left(\frac{h_{\max}}{h_{\min}} - 1 \right)},$$

от эпицентральной минимальной глубине поверхности скольжения экстремума, где l_1 – расстояние между одноименными экстремумами, l_2 – половина горизонтальной длины формирующихся поверхностей скольжения, h_{\max}/h_{\min} – отношение максимальной и минимальной глубин формирующихся поверхностей скольжения и в процессе режимных наблюдений динамической напряженности магнитного поля на поверхности ограниченно устойчивых объектов в поле силы тяжести критическую напряженность динамического магнитного поля Z_c , при которой нарушается целостность объектов, определяют из выражения

$$Z_c = \frac{h_{\min} \cdot Z_{\text{экс}}}{h_{\text{наб}}},$$

где $Z_{\text{экс}}$ – экстремальное значение динамической напряженности магнитного поля над минимальной глубиной формирующихся поверхностей отрыва или скольжения, h_{\min} – минимальная глубина формирующихся по-

(19) UA (11) 21934 (13) C1

верхностей отрыва или скольжения на момент регистрации экстремальной динамической напряженности магнитного поля $Z_{\text{экс}}$, $h_{\text{наб}}$ – высота наблюдения аномальной динамической напряженности магнитного поля относительно поверхности ограниченно устойчивых объектов в поле силы тяжести, а радиус долговечности t ограниченно устойчивых объектов в поле силы тяжести определяют из выражения

$$t = \frac{\Delta t_{k+1}^2}{\Delta k_{k+1} - \Delta t_k} \times$$

$$\times \left[\left(\frac{\Delta t_{k+1}}{\Delta t} \right)^{\frac{2Z_{k+1} - (Z_k + Z_c)}{Z_k - Z_{k+1}}} - 1 \right],$$

где Δt_k – интервал времени между $k+1$ -м и k -тым наблюдениями;

Δk_{k+1} – интервал времени между $k+2$ -м и $k+1$ -м наблюдениями;

Z_k – напряженность динамического магнитного поля k -того наблюдения, нТ;

Z_{k+1} – напряженность динамического магнитного поля $k+1$ -го наблюдения, нТ.

Изобретение относится к магнитометрии и может быть использовано при определении срока эксплуатации крупногабаритных конструкций, при прогнозе сдвиговых и оползневых явлений, а также при контроле устойчивости бортов и уступов карьеров, отвалов, дамб и других насыпных сооружений.

Известен способ кинетического подхода к прогнозированию, основанный на термофлуктуационной концепции разрушения. В этом аспекте разрушение рассматривается как следствие накопления локальных микроразрушений в результате термофлуктуационной статистики в механически напряженном теле. Кинетический подход исходит из того, что время до разрушения объекта (ресурс долговечности) однозначно связано с накоплением поврежденности, задача состоит в том, чтобы найти наиболее удобную для регистрации меру поврежденности и ее связь с ресурсом долговечности [Журков Н.С., Куксенко В.С., Петров В.А. Можно ли прогнозировать разрушения. – Сб. "Будущее науки", вып.16. М., 1983, с.100–111].

Однако определение временного параметра прогнозирования разрушения в рамках термофлуктуационной концепции в настоящее время реализуется косвенным расчетом посредством регистрации звуковых сигналов на пребывающих под нагрузкой лабораторных образцах, при котором оценивается запас времени до окончательного разрушения ограниченно устойчивых объектов в поле силы тяжести.

Наиболее близким техническим решением выбранным в качестве прототипа является способ определения ресурса долговечности ограниченно устойчивых объектов в поле силы тяжести, включающий измерение на поверхности этих объектов

аномальной напряженности магнитного поля очагов необратимой деформации и определение деструктивного характера очагов необратимой деформации (скрыто развивающихся поверхностей отрыва или скольжения) – метод магнитодинамической интроскопии (МДИ).

При применении МДИ используется регистрация и исследование постоянной составляющей напряженности геомагнитного поля. При этом осуществление магнитодинамического контроля производится посредством профильной разновысотной магнитной съемки полного вектора напряженности магнитного поля T или его вертикальной составляющей. Информативным параметром является коэффициент оползнеопасности – отношение разности разновысотных регистраций напряженности магнитного поля к его среднему значению по результатам профильной съемки. Метод позволяют с точностью до суток прогнозировать оползневые явления – как утверждает автор, накопленные статистические данные показывают, что за 2–3 суток до начала движения оползня коэффициент оползнеопасности увеличивается на одну-две единицы [Соболев В.Г. Прогноз и контроль оползневых процессов на месторождениях. – Горный журнал. 1989, № 3, с.43–47].

Недостатком прототипа является отсутствие в методике расчета коэффициента оползнеопасности учета взаимодействия магнитного поля деструктивных новообразований (очагов необратимых деформаций) с магнитным полем окружающей среды, следствием чего является недостаточная надежность информации о сроках устойчивости контрольных объектов – осуществляется только краткосрочный прогноз, что существенно снижает возможность проведения

противосползневых мероприятий. Известным способом невозможно решить задачу, поставленную изобретением, так как основным информативный параметр – время до разрушения объекта (ресурс долговечности) не входит в информативный параметр метода МДИ (коэффициент оползнеопасности) в явном виде. Следовательно, при применении известного способа исключается возможность долго- и среднесрочного прогноза стабильности ограниченно устойчивых объектов в поле силы тяжести в связи с отсутствием учета причинно-следственной связи между характером накопления внутренних деформаций в ограниченно устойчивых объектах и временем развития этих деформаций.

Задачей изобретения является разработка способа определения ресурса долговечности ограниченно устойчивых объектов в поле силы тяжести, в котором путем учета взаимодействия магнитного поля деструктивных новообразований с магнитным полем окружающей среды достигается повышение надежности информации о сроках устойчивости контрольных объектов.

Поставленная задача решается тем, что в способе определения ресурса долговечности ограниченно устойчивых объектов в поле силы тяжести, включающем режимные наблюдения на поверхности этих объектов аномальной динамической напряженности магнитного поля формирующихся поверхностей отрыва или поверхностей скольжения подвижных масс разрушающихся объектов относительно неподвижных и определение минимальной глубины формирующихся поверхностей отрыва в случае фиксации на поверхности наблюдений одиночных экстремумов динамической напряженности магнитного поля или минимальной глубины и горизонтальной длины формирующихся поверхностей скольжения в случае фиксации на поверхности наблюдений двойных одноименных экстремумов динамической напряженности магнитного поля, согласно изобретению режимные наблюдения аномальной динамической напряженности магнитного поля производят с интервалом, обеспечивающим равенство разности напряженности магнитного поля предыдущих и последующих наблюдений в фиксированной точке контрольных аномалий – в случае формирующихся поверхностей отрыва режимные наблюдения производят в экстремальной точке контрольных аномалий, а в случае формирующихся поверхностей скольжения режимные наблюдения производят в точке поверхности наблюдений, лежащей на пря-

мой, проходящей через два одноименных экстремума контрольных аномалий и находящейся со стороны монотонного изменения динамической напряженности магнитного поля на расстоянии

$$L = \frac{l_1 - l_2}{2 \left(\frac{h_{\max}}{h_{\min}} - 1 \right)},$$

от эпицентрального минимальной глубине поверхности скольжения экстремума, где l_1 – расстояние между одноименными экстремумами, l_2 – половина горизонтальной длины формирующихся поверхностей скольжения, h_{\max}/h_{\min} – отношение максимальной и минимальной глубин формирующихся поверхностей скольжения и в процессе режимных наблюдений динамической напряженности магнитного поля на поверхности ограниченно устойчивых объектов в поле силы тяжести критическую напряженность динамического магнитного поля при которой нарушается целостность объекта, определяют из выражения

$$Z_c = \frac{h_{\min} \cdot Z_{\text{экс}}}{h_{\text{наб}}},$$

где $Z_{\text{экс}}$ – экстремальное значение динамической напряженности магнитного поля над минимальной глубиной формирующихся поверхностей отрыва или скольжения; h_{\min} – минимальная глубина формирующихся поверхностей отрыва или скольжения на момент регистрации экстремальной динамической напряженности магнитного поля $Z_{\text{экс}}$, $h_{\text{наб}}$ – высота наблюдения аномальной динамической напряженности магнитного поля относительно поверхности ограниченно устойчивых объектов в поле силы тяжести, в ресурс долговечности t ограниченно устойчивых объектов в поле силы тяжести определяют из выражений

$$t = \frac{\Delta t_{k+1}^2}{\Delta t_{k+1} - \Delta t_k} \times x \left[\left(\frac{\Delta t_{k+1}}{\Delta t_k} \right)^{\frac{2Z_{k+1} - (Z_k + Z_c)}{Z_k - Z_{k+1} + 1}} - 1 \right],$$

где Δt_k – интервал времени между $k+1$ -м и k -тым наблюдениями;

Δt_{k+1} – интервал времени между $k+2$ -м и $k+1$ -м наблюдениями;

ΔZ_k – напряженность динамического магнитного поля k -того наблюдения, нТ;

ΔZ_{k+1} – напряженность динамического магнитного поля $k+1$ -го наблюдения, нТ.

Таким образом, однозначно связанное с накоплением поврежденности время до разрушения контрольного объекта определяется из функции состояния напряженности магнитного поля локальной части контрольного объекта в области деформации, характеризующей детерминированный процесс разрушения. Этот процесс рассматривается как следствие накопления микроразрушений, возникающих в результате намагничивания вещества окружающей среды, неизбежно заполняющего микротрещины различного характера в механически напряженном теле. При этом вновь возникающие в результате взаимодействия магнитных полей разрушаемого объекта и окружающей среды микротрещины тут же заполняются веществом среды, намагничиваемым в свою очередь, то есть, процесс накопления микротрещин, а в случае пластичных пород – изменение текстуры зон неустойчивости идет непрерывно, а непрерывно протекающие процессы можно описать некоторым уравнением или системой уравнений.

Все вещества по магнитным свойствам разделяются на три основные группы – диамагнетики, парамагнетики и ферромагнетики. Диамагнитное вещество выталкивается в неоднородном магнитном поле, а в однородном устанавливается перпендикулярно силовым линиям поля (диамагнетиком, в частности, является вода). Парамагнитное вещество втягивается в неоднородном магнитном полем, а в однородном устанавливается перпендикулярно силовым линиям поля (парамагнетиком, в частности, является воздух).

В природе, как правило, магнитные поля неоднородны, поэтому намагничиваемые диамагнетики выталкиваются из намагничивающего поля, а намагничиваемые парамагнетики втягиваются намагничивающим полем, следовательно, диамагнитные и парамагнитные вещества постоянно находятся в неравновесном состоянии. С позиций такого подхода разрушение имеет два аспекта – магнитензионное зарождение микротрещины и переход к макроразрушению материала.

Элементарным актом разрушения является магнитензионное зарождение неустойчивой микротрещины. Проникновение окружающей среды (воздух, влага) в область дефекта кристаллической решетки пребывающего в состоянии кажущейся устойчивости объекта приводит к развитию последней в силу создаваемого избыточного напряже-

ния при миграции в теле намагниченного диа- или парамагнетика. Начальные микротрещины неустойчивы, их объемная концентрация увеличивается с течением времени, поскольку увеличивается в объеме трещин и создающее перенапряжение количество намагничиваемого неравновесного вещества окружающей объект среды.

В некоторый момент происходит переход от зародышевых, начальных трещин на микроуровень, т.е. к деформации, соизмеримой с размерами тела, происходит формирование очага необратимой деформации (ОНД). В общем то, энергия магнитного поля объекта перераспределяется таким образом, чтобы препятствовать нарушению целостности объекта. Однако, в наиболее ослабленных в силу различных причин местах ОНД продолжает прогрессировать, увеличиваясь в размерах, поскольку в область необратимой деформации постоянно осуществляется приток намагничиваемого вещества окружающей среды, находящегося в неравновесном состоянии, т.е. увеличивающего напряжение в теле, при этом намагниченная среда ОНД регистрируется наружным наблюдением. По достижении некоторой (критической) величины напряженности магнитного поля ОНД, отвечающей таким линейным размерам деформации, при которых опорная реакция внутри объекта не компенсирует действие силы тяжести, происходит разрушение объекта. При этом, ввиду детерминированности процессов, время до разрушения (ресурс долговечности) однозначно связано с накоплением поврежденности, а наиболее удобной для регистрации мерой поврежденности объекта является напряженность H магнитного поля ОНД.

Таким образом, прогнозирование осуществляется прямым расчетом времени до начала разрушения контрольного объекта посредством регистрации динамической составляющей аномального магнитного поля очагов деформации, что позволяет при известной критической напряженности значительно повысить надежность прогнозирования, осуществляя наряду с краткосрочным средним и долгосрочный прогнозы длительности устойчивого состояния контрольных объектов.

Существенными признаками в данном изобретении являются:

режимные наблюдения на поверхности этих объектов аномальной динамической напряженности магнитного поля формирующихся поверхностей отрыва или поверхностей скольжения подвижных масс относительно неподвижных;

определение минимальной глубины формирующихся поверхностей отрыва в случае фиксации на поверхности наблюдений одиночных экстремумов динамической напряженности магнитного поля или минимальной глубины и горизонтальной длины формирующихся поверхностей скольжения в случае фиксации на поверхности наблюдения двойных одноименных экстремумов магнитного поля;

осуществление режимных наблюдений аномальной динамической напряженности магнитного поля с интервалом, обеспечивающим равенство разности напряженности магнитного поля предыдущих и последующих наблюдений в фиксированной точке контрольных аномалий – в случае формирующихся поверхностей отрыва режимные наблюдения производят в экстремальной точке контрольных аномалий, а в случае формирующихся поверхностей скольжения режимные наблюдения производят в точке поверхности наблюдений, лежащей на прямой, проходящей через два одноименных экстремума контрольных аномалий и находящейся со стороны монотонного изменения динамической напряженности магнитного поля на расстоянии

$$L = \frac{l_1 - l_2}{2 \left(\frac{h_{\max}}{h_{\min}} - 1 \right)},$$

от эпицентрального минимальной глубине поверхности скольжения экстремума, где l_1 – расстояние между одноименными экстремумами, l_2 – половина горизонтальной длины формирующихся поверхностей скольжения, h_{\max}/h_{\min} – отношение максимальной и минимальной глубин формирующихся поверхностей скольжения;

определение критической напряженности магнитного поля, при которой нарушается целостность объектов из выражения:

$$Z_c = \frac{h_{\min} \cdot Z_{\text{акс}}}{h_{\text{наб}}},$$

где $Z_{\text{акс}}$ – экстремальное значение динамической напряженности магнитного поля над минимальной глубиной формирующихся поверхностей отрыва или скольжения, h_{\min} – минимальная глубина формирующихся поверхностей отрыва или скольжения на момент регистрации напряженности магнитного поля $Z_{\text{акс}}$, $h_{\text{наб}}$ – высота наблюдения аномальной динамической напряженности магнитного поля относительно

поверхности ограниченно устойчивых объектов в поле силы тяжести;

определение ресурса долговечности t ограниченно устойчивых объектов в поле силы тяжести из выражения

$$t = \frac{\Delta t_k^2 + 1}{\Delta k_{k+1} - \Delta t_k} \times x \left[\left(\frac{\Delta t_k + 1}{\Delta t_k} \right)^{\frac{2Z_{k+1} - (Z_k + Z_c)}{Z_k - Z_{k+1}}} - 1 \right],$$

где Δt_k – интервал времени между $k+1$ -м и k -тым наблюдениями;

Δt_{k+1} – интервал времени между $k+2$ -м и $k+1$ -м наблюдениями;

Z_k – напряженность динамического магнитного поля k -го наблюдения, нТ;

Z_{k+1} – напряженность динамического магнитного поля $k+1$ -го наблюдения, нТ;

Z_c – критическая напряженность динамического магнитного поля, нТ.

Отличительными существенными признаками изобретения являются:

осуществление режимных наблюдений аномальной динамической напряженности магнитного поля с интервалом, обеспечивающим равенство разности напряженности магнитного поля предыдущих и последующих наблюдений в фиксированной точке контрольных аномалий – в случае формирующихся поверхностей отрыва режимные наблюдения производят в экстремальной точке контрольных аномалий, а в случае формирующихся поверхностей скольжения режимные наблюдения производят в точке поверхности наблюдения, лежащей на прямой, проходящей через два одноименных экстремума контрольных аномалий и находящейся со стороны монотонного изменения динамической напряженности магнитного поля на расстоянии

$$L = \frac{l_1 - l_2}{2 \left(\frac{h_{\max}}{h_{\min}} - 1 \right)},$$

от эпицентрального минимальной глубине поверхности скольжения экстремума, где l_1 – расстояние между одноименными экстремумами, l_2 – половина горизонтальной длины формирующихся поверхностей скольжения, h_{\max}/h_{\min} – отношение максимальной и минимальной глубин формирующихся поверхностей скольжения;

определение критической напряженности магнитного поля Z_c , при которой нарушается целостность объектов из выражения

$$Z_c = \frac{h_{\min} \cdot Z_{\text{экс}}}{h_{\text{наб}}},$$

где $Z_{\text{экс}}$ – экстремальное значение динамической напряженности магнитного поля над минимальной глубиной формирующихся поверхностей отрыва или скольжения, h_{\min} – минимальная глубина формирующихся поверхностей отрыва или скольжения на момент регистрации напряженности магнитного поля $Z_{\text{экс}}$; $h_{\text{наб}}$ – высота наблюдения аномальной динамической напряженности магнитного поля относительно поверхности ограниченно устойчивых объектов в поле силы тяжести;

определение ресурса долговечности t ограничено устойчивых объектов в поле силы тяжести из выражения

$$t = \frac{\Delta t_{k+1}^2}{\Delta t_{k+1} - \Delta t_k} \times \left[\left(\frac{\Delta t_{k+1}}{\Delta t_k} \right)^{\frac{2Z_k + 1 - (Z_k + Z_c)}{Z_k - Z_{k+1}}} - 1 \right],$$

где Δt_k – интервал времени между $k+1$ -м и k -тым наблюдениями;

Δt_{k+1} – интервал времени между $k+2$ -м и $k+1$ -м наблюдениями;

Z_k – напряженность динамического магнитного поля k -го наблюдения, нТ;

Z_{k+1} – напряженность динамического магнитного поля $k+1$ -го наблюдения, нТ;

Z_c – критическая напряженность динамического магнитного поля, нТ.

Указанные признаки являются необходимыми и достаточными во всех случаях осуществления способа определения ресурса долговечности ограниченно устойчивых объектов в поле силы тяжести.

Благодаря тому, что на поверхности ограниченно устойчивых объектов в поле силы тяжести производятся режимные наблюдения динамической аномальной напряженности магнитного поля формирующихся поверхностей отрыва или поверхностей скольжения подвижных масс относительно неподвижных, становится возможным количественно учесть с достаточной для практики точностью динамику роста внутренних деформаций – поверхностей отрыва или поверхностей скольжения.

Известно, что формирующаяся поверхность отрыва отображается в локальном магнитном поле динамической аномалий

$$Z = \frac{\lambda h_{\min}}{x^2 + h_{\min}^2} \text{ нТ (наноТесла)},$$

где λ – магнитная масса единицы длины поверхности отрыва, h_{\min} – глубина верхней

кромки поверхности отрыва, x – координата профиля вкост простирания аномалии Z .

Полагая, что $\frac{1}{2} Z_{\text{экс}} = Z(x_{1/2})$, где $x_{1/2}$ – координата половины экстремальной напряженности поля, из системы

$$\begin{cases} Z_{\text{экс}} = -\frac{\lambda}{h_{\min}}, \\ \frac{1}{2} Z_{\text{экс}} = \frac{\lambda h_{\min}}{x_{1/2}^2 + h_{\min}^2}, \end{cases}$$

получаем

$$h_{\min} = x_{1/2}, \quad Z_c = \frac{h_{\min} \cdot Z_{\text{экс}}}{h_{\text{наб}}},$$

где Z_c – критическая напряженность динамического магнитного поля, когда поверхность отрыва достигает поверхности наблюдений, режимные наблюдения производятся в экстремальной точке.

В случае формирующейся поверхности скольжения экстремальная точка напряженности магнитного поля над минимумом субвертикальной части поверхности скольжения мигрирует в сторону монотонного изменения напряженности поля и достигает критического значения с достаточной для практики точностью на расстоянии

$$L = \frac{l_1 - l_2}{2 \left(\frac{h_{\max}}{h_{\min}} - 1 \right)},$$

от эпицентральной минимальной глубине поверхности скольжения экстремума, где l_1 – расстояние между одноименными экстремумами, l_2 – половина горизонтальной длины формирующейся поверхности скольжения, $h_{\max/\min}$ – отношение максимальной и минимальной глубин формирующейся поверхности скольжения.

Известно, что горизонтальная часть поверхности скольжения отображается в локальном магнитном поле динамической аномалией

$$Z = 2l \left(\arctg \frac{x + l_2}{h_{\max}} - \arctg \frac{x - l_2}{h_{\max}} \right)$$

получаем зависимости при

$$\frac{1}{2} Z_{\text{экс}} = Z(x_{1/2}),$$

$$\frac{1}{4} Z_{\text{экс}} = Z(x_{1/4}),$$

$$h_{\max} = k \frac{x_{1/2}}{2}, \quad l_2 = \frac{x_{1/2}}{2} \sqrt{4 - k^2},$$

где $k = \left(\frac{x_{1/4}}{x_{1/2}} \right)^2 - 1$,

то есть, по характерным точкам аномалии величины h_{\max} и l_2 определяются однознач-

но, а определение критического значения Z_c остается без изменений.

Режимные наблюдения с интервалом, обеспечивающим равенство разности динамической напряженности магнитного поля предыдущих и последующих наблюдений позволяют радикально упростить экстраполяцию напряженности динамического магнитного поля во временном интервале, что существенно повышает точность прогнозирования и оперативность результата.

Благодаря тому, что режимные наблюдения производятся в фиксированной точке на поверхности контрольных объектов, становится возможным трансформировать дифференциальное уравнение в частных производных, описывающее динамику роста поверхности отрыва и скольжения, в обыкновенное дифференциальное уравнение, решением которого является прогнозистическая кривая, зависящая от времени, из которой определяется при определенном ранее критическом значении Z_c ресурс долговечности ограниченно устойчивых объектов в поле силы тяжести из выражения

$$t = \frac{\Delta t_{k+1}^2}{\Delta t_{k+1} - \Delta t_k} \times x \left[\left(\frac{\Delta t_{k+1}}{\Delta t_k} \right)^{\frac{2Z_{k+1} - (Z_k + Z_c)}{Z_k - Z_{k+1}}} - 1 \right],$$

где Δt_k - интервал времени между $k+1$ -м и k -тым наблюдениями;

Δt_{k+1} - интервал времени между $k+2$ -м и $k+1$ -м наблюдениями;

Z_k - напряженность динамического магнитного поля k -го наблюдения, нТ;

Z_{k+1} - напряженность магнитного поля $k+1$ -го наблюдения, нТ;

Z_c - критическая напряженность магнитного поля, нТ.

Таким образом, благодаря совокупности перечисленных выше известных и новых существенных признаков стало возможным осуществление учета причинно-следственных связей между характером накопления внутренних деформаций в ограниченно устойчивых объектах в поле силы тяжести и временем развития этих деформаций, что обеспечивает повышение надежности информации о сроках устойчивости контрольных объектов и, как следствие, получение долгосрочного, среднесрочного и краткосрочного прогнозов их устойчивого состояния с требуемой точностью.

Предлагаемый способ осуществляется следующим способом.

Проникающая в область внутренних дефектов пребывающих в состоянии кажущегося равновесия объектов окружающая среда (воздух, влага) намагничивается под действием магнитного поля объекта и создает локальные перенапряжения, поскольку, как было отмечено выше, постоянно находится в неравновесном состоянии. Вследствие этого объем очагов необратимой деформации непрерывно возрастает при непрерывном поступлении во внутрь образуемый объем непрерывно намагничиваемой среды, хотя этот процесс происходит очень медленно. Количественно этот процесс описывается дифференциальным уравнением в частных производных

$$\eta \cdot \Delta \vec{H} = \sum_{n=1}^2 t^{n-1} \frac{\partial^n \vec{H}}{\partial t^n}, \quad (1)$$

где \vec{H} - вектор напряженности магнитного поля очага необратимой деформации (или любая его составляющая), η - коэффициент намагничивания.

Вследствие очень слабой зависимости от времени уравнения (1), в точке поверхности контрольного объекта, соответствующей эпицентру источника микроаномалий, равенство с достаточной для практики точностью распадается на два уравнения

$$\begin{cases} \Delta \vec{H} = 0, \\ \frac{\partial \vec{H}}{\partial t} + t \frac{\partial^2 \vec{H}}{\partial t^2} = 0, \end{cases} \quad (2)$$

а в силу фиксации исследуемой точки на поверхности контрольного объекта, прогнозистическая кривая конкретного ОНД $\vec{H}(t)$

удовлетворяет обыкновенному дифференциальному уравнению. В частности, если при определении ресурса долговечности контрольного объекта используется вертикальная составляющая магнитного поля ОНД $Z(t)$, уравнение имеет вид

$$\dot{z} + t \ddot{z} = 0 \quad (3)$$

Общее решение уравнения (3) содержит две произвольные постоянные. Одна постоянная имеет размерность напряженности магнитного поля и является собственным магнитным полем Z_0 очага необратимой деформации (при различных геометрических особенностях ОНД следуют различные Z_0). Вторая постоянная имеет размерность времени и является длительностью становления детерминированного процесса

деформации локальной части контрольной структуры t_0 , так как переориентация микро- и макроструктур вещества, определяющих его внешнее магнитное поле, требует конечного времени. Кроме этого, ОНД всегда формируется на каком-нибудь начальном уровне магнитного поля Z_N — локальном нормальном поле. С учетом вышесказанного, решение уравнения (3) имеет вид

$$Z(t) = Z_N - Z_s \ln \frac{t}{t_0}, \quad (4)$$

следовательно, эмпирическая кривая, построенная в результате наблюдений, является логарифмической функцией времени с постоянными Z_s и t_0 , отвечающим конкретным параметрам контролируемого ОНД, определенная на некотором уровне значения магнитного поля Z_N . Целевым параметром является время развития деформации контрольных объектов. Обращая функцию (4), получаем

$$t = t_0 \exp \frac{Z_N - Z}{Z_s}; \quad (5)$$

Если в некоторый момент времени развития деформации $t = t_k$ напряженность магнитного поля в эпицентре очага необратимой деформации равна Z_k , получаем

$$t_k = t_0 \exp \frac{Z_N - Z_k}{Z_s},$$

или

$$t_0 = \exp \frac{Z_k - Z_N}{Z_s}. \quad (6)$$

Подставляя (6) в (5) получаем целевую функцию времени развития деформации

$$t = t_k \exp \frac{Z_k - Z}{Z_s}, \quad (7)$$

не зависящую от локального нормального поля, в котором деформируется контрольный объект.

В целях обнаружения и контроля очагов необратимой деформации производится рекогносцировочная магнитная съемка исследуемых объектов. Эллиптические в плане локальные динамические микроаномалии свидетельствуют о наличии и росте внутренних деформаций, со временем приводящих к разрушению объектов. Существенным моментом методики режимных наблюдений является регистрация экстремального значения напряженности магнитного поля в фиксированной точке. Для этого в окрестности эпицентров динамических микроаномалий производится микромагнитная сетка со сгущающейся равномерной сетью наблюдений до получения экстремального значения

напряженности магнитного поля. Зафиксировав на поверхности наблюдений точки с экстремальными значениями динамических микроаномалий, через промежутки времени, обеспечивающие в фиксированных точках контроля равенства разности предыдущих и последующих наблюдений производят режимные измерения экстремальной напряженности магнитного поля очагов необратимой деформации, данные заносятся в журнал наблюдений, возможные вариации напряженности магнитного поля исключаются посредством синхронных наблюдений на опорных точках с известным статическим магнитным полем

Целевая функция времени развития деформаций (7) однозначно определяется по трем точкам наблюдений в некоторые моменты времени

$$t_k, t_{k+1}, t_{k+2},$$

для которых наблюдаемое магнитное поле связано соотношением

$$Z_k - Z_{k+1} = Z_{k+1} - Z_{k+2} \quad (8)$$

при известных интервалах наблюдений

$$\begin{cases} \Delta t_k = t_{k+1} - t_k, \\ \Delta t_{k+1} = t_{k+2} - t_{k+1}. \end{cases} \quad (9)$$

Действительно, из (7) следует

$$\begin{cases} t_{k+1} = t_k \exp \frac{Z_k - Z_{k+1}}{Z_s}, \\ t_{k+2} = t_{k+1} \exp \frac{Z_{k+1} - Z_{k+2}}{Z_s}. \end{cases}$$

Отсюда согласно (8) и (9) получаем замкнутую систему уравнений

$$\begin{cases} t_{k+1}^2 = t_k \cdot t_{k+2}, \\ t_{k+1} - t_k = \Delta t_k, \\ t_{k+2} - t_{k+1} = \Delta t_{k+1}, \end{cases} \quad (10)$$

а также собственное магнитное поле очага необратимой деформации

$$Z_s = \frac{Z_k - Z_{k+1}}{\ln \frac{t_{k+1}}{t_k}}. \quad (11)$$

Подставляя (11) в (7), в частности, получаем

$$t = t_k \left(\frac{t_{k+1}}{t_k} \right)^{\frac{Z_k - Z}{Z_k - Z_{k+1}}} \quad (12)$$

Считая время последнего наблюдения t_{k+2} началом отсчета искомого времени деформации контрольного объекта, из (12) получаем

$$t = t_k \left(\frac{t_{k+1}}{t_k} \right)^{\frac{Z_k - Z}{Z_k - Z_{k+1}}} - t_{k+2}.$$

Система уравнений (10) легко решается

$$t_k = \frac{\Delta t_k^2}{\Delta t_{k+1} - \Delta t_k} \cdot t_{k+1} = \frac{\Delta t_k \cdot \Delta t_{k+1}}{\Delta t_{k+1} - \Delta t_k},$$

$$t_{k+2} = \Delta t_{k+1} / \Delta t_{k+1} - \Delta t_k^2.$$

Подставляя результат решения системы (10) в предыдущее равенство, получаем

$$t = \frac{\Delta t_{k+1}^2}{\Delta t_{k+1} - \Delta t_k} \times$$

$$x \left[\left(\Delta \frac{t_{k+1}}{\Delta t} \right) \frac{2z_{k+1} - (z_k + z_c)}{z_k - z_{k+1}} - 1 \right],$$

Из (4) вытекает, что любой очаг необратимой деформации с течением времени неограниченно увеличивается в размерах. Однако очевидно, что в таком случае с течением времени нарушается устойчивость объекта и по достижению некоторого критического значения Z_c следует лавинообразный рост макротрещин, поскольку любые естественные или антропогенные образования находятся в постоянном действии поля силы тяжести, наступает разрушение материала (объекта). Определение критического значения Z_c является весьма тонкой расчетной операцией, которая требует конкретного подхода в каждом конкретном случае со всесторонним анализом как особенностей контрольного объекта, так и динамических параметров ОНД в зависимости от его характера. По определению Z_c получаем зависимость

$$t = \frac{\Delta t_{k+1}^2}{\Delta t_{k+1} - \Delta t_k} \times$$

$$x \left[\left(\Delta \frac{t_{k+1}}{\Delta t} \right) \frac{2z_{k+1} - (z_k + z_c)}{z_k - z_{k+1}} - 1 \right].$$

(13)

Равенство (13) позволяет определить ресурс долговечности ограниченно устойчивых объектов в поле силы тяжести при помощи системы режимных наблюдений динамической напряженности магнитного поля очагов необратимой деформации.

Преимуществом способа является относительность измерений напряженности без использования нормального (или любого базисного) магнитного поля, что обеспечивает большую точность и производительность, так как при режимной съемке достаточно использовать цифровые данные показаний ΔZ магнитометра (без пересчета

в нанотесла) и требуемый масштаб времени (часы, дни, недели, месяцы, годы).

Под влиянием изменения внешних условий режим накопления деформаций может изменяться в процессе их генезиса, однако в этом случае закон формирования ОНД в механически напряженном теле (1) остается неизменным, изменяются лишь начальные и граничные условия для уравнения (1), что может привести к некоторым вариациям целевой функции (4) в силу изменения постоянных t_0 и Z_0 . Следовательно, в любом случае система режимных наблюдений обеспечивает достоверность определения ресурса долговечности деформируемых объектов.

Примеры осуществления изобретения

1. Определяется целесообразность строительства насосной станции у основания первого яруса северо-восточной части борта карьера ЮГОКа, г.Кривой Рог.

Данная техногенная структура (первый ярус борта карьера) имеет ограниченную устойчивость, поскольку испытывает суммарное воздействие вышележащих технологических структур, силы тяжести и периодически динамические нагрузки при взрывных работах. Контроль устойчивости нижнего яруса является необходимым условием при строительстве у его основания промышленных или бытовых зданий и сооружений – строительство насосной станции целесообразно только в случае ресурса долговечности (длительности устойчивого состояния яруса) соизмеримого со сроком эксплуатации насосной станции.

В целях определения ресурса долговечности нижнего яруса борта карьера на верхней площадке яруса 13.12.91 г. была произведена микромагнитная съемка ΔZ магнитометром М-27М, выявившая протяженную (по борту карьера) микроаномалию с максимумом в -30 относительных единиц напряженности магнитного поля (как было указано выше, переход к единицам напряженности магнитного поля нТ (нанотесла) не является необходимостью).

Через пять месяцев, 13.05.92 г. экстремальное значение в фиксированной точке наблюдения достигло -54 относительных единиц напряженности магнитного поля, то есть, разность наблюдений

$$\Delta = Z_1 - Z_2 = -30 - (-54) = 24$$

составила 24 относительных единиц напряженности магнитного поля. Одиночный динамический экстремум отображает формирующуюся поверхность отрыва.

Следующее значение по технологии наблюдений

$$Z_3 = -54 - 24 = -78$$

было зафиксировано в стационарной точке наблюдения 15.11.92 г., то есть, практически через полгода. Высота наблюдений составляла $h_{\text{наб}} = 1$ м, половина максимума

$$\frac{1}{2} Z_{\text{экс}} = -15$$

наблюдалась на расстоянии 5,2 метра от фиксированной точки наблюдений, следовательно, согласно вышеизложенному на 13.12.91 г. минимальная глубина поверхности отрыва составляла

$$h_{\text{min}} = \frac{1}{2} = 5,2 \text{ м}$$

и, следовательно, критическая напряженность магнитного поля поверхности отрыва достигает

$$Z_c = \frac{h_{\text{min}} \cdot Z_{\text{экс}}}{h_{\text{наб}}} = \frac{5,2 \text{ м} \cdot -30}{1 \text{ м}} = -156$$

относительных единиц напряженности магнитного поля.

Таким образом, в результате наблюдений и целевых расчетов получены все данные для определения ресурса долговечности нижнего яруса борта карьера

$$\begin{cases} Z_1 = -30, & Z_2 = -54, \\ \Delta t_k = \frac{5}{12} \text{ года}, & \Delta t_2 = \frac{6}{12} \text{ года}, \\ Z_c = -156. \end{cases} \quad (14)$$

Из (14), показатель степени при отношении

$$\frac{\Delta t_2}{\Delta t_1} = \frac{6}{5} 1,2$$

в равенстве (13) равен:

$$\begin{aligned} \frac{2 Z_2 - (Z_1 + Z_c)}{Z_1 - Z_2} &= \\ = \frac{-108 + 30 + 156}{-30 + 54} &= \frac{78}{24} = 3,25 \end{aligned}$$

То есть, подставляя (14) в (13), получаем

$$\begin{aligned} t &= \frac{36}{144} \cdot \frac{12}{1} [(1,2)^{3,25} - 1] \text{ года} = \\ &= 3[(1,2)^3 \sqrt[4]{1,2} - 1] \text{ года} = \end{aligned}$$

$= 3(1,81 - 1) \text{ года} = 3 \cdot 0,81 \text{ года} \approx 2,43 \text{ года}.$

Следовательно, ресурс долговечности (время устойчивого состояния) нижнего яруса борта карьера составляет около двух с половиной лет, строительство каких-либо сооружений у основания борта карьера без проведения специальных противооползневых мероприятий нецелесообразно.

2. Определяется ресурс долговечности оползнеопасной структуры в ножной части Шархинского гранитного карьера, выше озера Ай-Ефим (Южный Берег Крыма, пос. Пушкино).

Участок горного склона выше озера Ай-Ефим имеет тенденцию медленного сползания в Южном направлении, что, учитывая периодические динамические нагрузки в результате взрывных работ в карьере, может привести оползнеопасную структуру в активное состояние и выброс селя на расположенный ниже по склону пос.Пушкино.

В результате микромагнитный съемки 13.08.91 года магнитометром М-27м, на участке горного склона выше озера Ай-Ефим выявлена протяженная микроаномалия напряженности магнитного поля с двумя экстремальными значениями

$$Z_{\text{экс}_k} = -113, Z_{\text{экс}_2} = -93$$

относительных единиц магнитного поля.

Очевидно, больший по модулю экстремум отображает субвертикальную часть формирующейся поверхности скольжения, а меньший – горизонтальную.

На расстоянии $x_{1/2} = 2,7$ м вкост простирается аномалии в сторону монотонного изменения магнитного поля зафиксирована половина экстремума $\frac{1}{2} Z_{\text{экс}_1} = -56,5$, следо-

вательно, согласно вышеизложенному минимальная глубина поверхности скольжения

$$h_{\text{min}} = 2,7 \text{ м},$$

а критическая напряженность магнитного поля, при которой оползень достоверно придет в активное движение

$$Z_c = \frac{h_{\text{min}} \cdot Z_{\text{экс}_1}}{h_{\text{над}}} = \frac{2,7 \text{ м} \cdot -113}{1 \text{ м}} = -305,$$

поскольку зеркало скольжения достигнет поверхности склона (наблюдение производится на высоте 1 метр).

Расстояние между экстремумами при съемке 13.08.91 года составило

$$l_1 = 63 \text{ м},$$

а половина и четверть второго экстремума наблюдалась соответственно на расстояни-

ях $x_{1/2} = 35,5$ м и $x_{1/4} = 53,5$ м, вниз по склону, то есть

$$k = \left(\frac{x_{1/4}}{x_{1/2}} \right)^2 - 1 = (1,52)^2 - 1 \approx 1,3.$$

Следовательно, максимальная глубина поверхности скольжения

$$h_{\max} = \frac{k \cdot x_{1/2}}{2} = \frac{1,3 \cdot 35,3 \text{ м}}{2} = 23 \text{ м},$$

а половина горизонтальной длины

$$l_2 = \frac{x_{1/2}}{2} \sqrt{4 - k^2} = \frac{35,3 \text{ м}}{2} \sqrt{1,52} \approx 27 \text{ м}.$$

Из вышеприведенных данных фиксирующая точка наблюдений динамической аномалии закреплялась на расстоянии

$$L = \frac{l_1 - l_2}{2 \left(\frac{h_{\max}}{h_{\min}} - 1 \right)} = \frac{63 - 27}{2 \left(\frac{23}{2,7} - 1 \right)} \text{ м} \approx 2,4 \text{ м}.$$

в данной точке динамическая напряженность магнитного поля 13.08.91 года составила

$$Z_1 = -61,5$$

относительных единиц.

Через $\Delta t_1 = \frac{4,5}{12}$ года, 27.12.91 года, напряженность магнитного поля в фиксирующей контрольной точке составила

$$Z_2 = -92,5$$

относительных единиц при

$$\Delta = Z_1 - Z_2 = -61,5 + 92,5 = 31.$$

Следующее значение напряженности магнитного поля $Z_3 = -123,5$, обеспечивающее модуль разности 31, наблюдалось 29.06.92 года, то есть, практически

$$\Delta t_2 = \frac{6}{12} \text{ года}.$$

Таким образом, в результате наблюдений и целевых расчетов получены все данные для определения ресурса долговечности оползнеопасного горного склона выше озера Ай-Ефим:

$$\begin{cases} Z_1 = -61,5, & Z_2 = -92,5, \\ \Delta t_k = \frac{4,5}{12} \text{ года}, & \Delta t_2 = \frac{6}{12} \text{ года}, \\ Z_c = -305. \end{cases}$$

Из (15), показатель степени при отношении

$$\frac{\Delta t_2}{\Delta t_k} = \frac{4}{3}$$

в равенстве (13) равен

$$\frac{2 Z_2 - (Z_1 + Z_c)}{Z_1 - Z_2} = \frac{-185 + 61,5 + 305}{31} \approx 5,85.$$

Так как

$$\frac{\Delta t_2^2}{\Delta t_2 - \Delta t_1} = 2,$$

согласно (13) получаем

$$t = 2 \left[\left(\frac{4}{3} \right)^{5,85} - 1 \right] \text{ года} = 2[(5,37 - 1)] \text{ года} \approx 8,74 \text{ года}.$$

Следовательно, при тенденции медленного сползания (в настоящее время) участка горного склона, находящегося выше озера Ай-Ефим, его ресурс долговечности (длительность устойчивого состояния) около девяти лет, о чем было сообщено администрации находящегося выше по склону Шархинского гранитного карьера.

Таким образом, предлагаемый способ позволяет осуществлять контроль внутреннего состояния как техногенных сооружений различного назначения и масштаба, так и естественных образований (горных склонов, речных террас и т.д.) и прогнозировать длительность их устойчивого состояния. В условиях промышленной разработки минерального сырья применение предлагаемого способа повышает безопасность работ и способствует сохранности окружающей среды, так как позволяет определить сроки необходимого проведения мероприятий в конкретном месте в конкретное время, исключающих разрушение контрольных объектов. При этом непрерывные режимные наблюдения позволяют производить учет изменения действия внешних условий (как природных так и техногенных) на направленность развития внутренних деформаций. Глубинность предлагаемого способа можно увеличить посредством не прямых измерений магнитного поля сплошной среды.

Применение предлагаемого способа позволяет предотвратить аварийные ситуации, обеспечить сохранность промышленных и бытовых зданий и сооружений в местах вероятных движений поверхности грунта и массивов горных пород, оградить лесные и

сельскохозяйственные угодья от загрязнения.

Способ определения ресурса долговечности ограниченно устойчивых объектов может быть реализован при открытой и 5 подземной разработке месторождений, эксплуатации шламохранилищ и других насыпных сооружений, а также в случае прогноза

сдвига больших масс земной поверхности (обвалов, оползней, землетрясений).

Стоимость проведения специальных мероприятий, повышающих устойчивость контрольных объектов оправдывается конечной целью – сохранением окружающей среды и повышением безопасности производства работ различного назначения.

Упорядник

Техрад М.Келемеш

Коректор Л.Лукач

Замовлення 4461

Тираж

Підписне

Державне патентне відомство України,
254655, ГСП, Київ-53, Львівська пл., 8