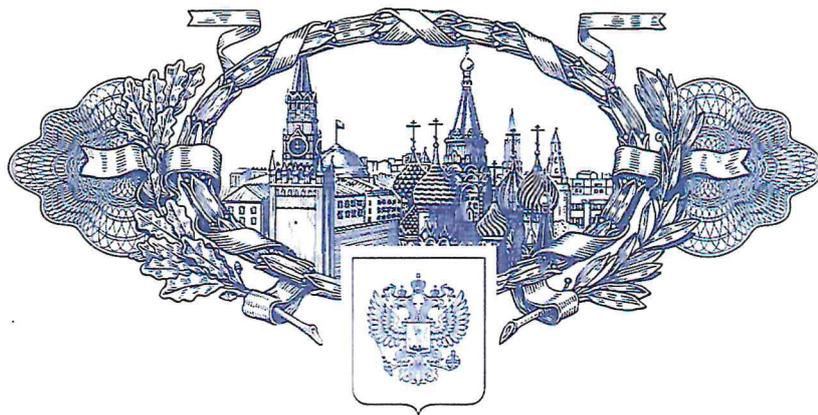


РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2791457

Способ контроля технического состояния обделки тоннеля с использованием сейсмоакустического метода

Патентообладатель: *Открытое акционерное общество "Научно-исследовательский, проектно-изыскательский институт "Ленметрогипротранс" (RU)*

Авторы: *Лебедев Михаил Олегович (RU), Бойко Олег Владимирович (RU), Дорохин Кирилл Александрович (RU), Исаев Юрий Сергеевич (RU), Безродный Константин Петрович (RU), Шляев Сергей Алексеевич (RU)*

Заявка № 2022120383

Приоритет изобретения **25 июля 2022 г.**
Дата государственной регистрации
в Государственном реестре изобретений
Российской Федерации **07 марта 2023 г.**
Срок действия исключительного права
на изобретение истекает **25 июля 2042 г.**

*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

Ю.С. Зубов



**RU**

(11)

(13)

C1

(51) МПК

[G01M 7/00 \(2006.01\)](#)

(52) СПК

[G01M 7/00 \(2023.01\)](#)**2 791 457**

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ
(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

Статус: действует (последнее изменение статуса: 10.03.2023)

Пошлина: Установленный срок для уплаты пошлины за 3 год: с 26.07.2023 по 25.07.2024. При
уплате пошлины за 3 год в дополнительный 6-месячный срок с 26.07.2024 по 25.01.2025
размер пошлины увеличивается на 50%.

(21)(22) Заявка: [2022120383](#), 25.07.2022(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
25.07.2022Дата регистрации:
07.03.2023Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: 25.07.2022(45) Опубликовано: [07.03.2023](#) Бюл. № 7(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: RU 2367742 C1, 20.09.2009. RU
2624786 C1, 06.07.2017. RU 2515130 C1,
10.05.2014. RU 2001126700 A, 10.09.2003. SU
1717832 A1, 07.03.1992.Адрес для переписки:
191002, Санкт-Петербург, ул. Большая
Московская, 2, ОАО "НИПИИ
"Ленметрогипротранс", Лебедеву М.О.

(72) Автор(ы):

Лебедев Михаил Олегович (RU),
Бойко Олег Владимирович (RU),
Дорохин Кирилл Александрович (RU),
Исаев Юрий Сергеевич (RU),
Безродный Константин Петрович (RU),
Шляев Сергей Алексеевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Открытое акционерное общество
"Научно-исследовательский, проектно-
изыскательский институт
"Ленметрогипротранс" (RU)

(54) Способ контроля технического состояния обделки тоннеля с использованием
сейсмоакустического метода

(57) Реферат:

Изобретение относится к области строительства и эксплуатации транспортных тоннелей, а также к способам диагностики и наблюдения за их состоянием в процессе эксплуатации. Способ контроля технического состояния обделки тоннеля с использованием сейсмоакустического метода состоит в выявлении дефектов строительных конструкций тоннеля на основе регистрации параметров распространения сейсмических волн и включает в себя условное разбиение поверхности обделки тоннеля с установкой на них сейсмических датчиков на участки, в пределах которых проводят последующие операции сейсмоакустического метода определения качества строительной конструкции и контакта с окружающим грунтом, возбуждение механических колебаний строительной конструкции тоннеля, измерение их параметров в контролируемой точке поверхности и выявление зон с градиентом измеряемых параметров в пределах выбранного участка, причем возбуждение колебаний производят неразрушающим методом и измерения осуществляют с одной стороны строительной конструкции с использованием сейсмических датчиков на каждом условном участке тоннеля. В качестве источника возбуждения механических колебаний в строительной конструкции тоннеля используют проходящий железнодорожный поезд, формирующий вибрационные колебания на железнодорожные пути и обделку тоннеля. Контроль состояния обделки тоннеля осуществляют с использованием обработки акселерограмм вибраций методом спектрального анализа, позволяющим определить частотный и амплитудный состав вибрационных колебаний, а графическое изображение вибрационного сигнала в виде спектрограмм используют для контроля изменений напряженно-деформированного состояния в системе «обделка - массив горных пород». Регистрации колебаний проводят в непрерывном режиме с привязкой ко времени в месте положения сейсмического датчика и ближней зоны заобделочного пространства на каждом условном участке тоннеля, а процесс контроля состояния обделки тоннеля осуществляют в автоматическом режиме без участия человека. Технический результат состоит в обеспечении проведения контроля технического состояния строительных конструкций тоннеля с использованием сейсмоакустического метода без остановки эксплуатации тоннеля, а также повышении скорости проведения и снижении трудоемкости работ по контролю технического состояния строительных конструкций тоннеля. 3 ил.

Изобретение относится к области строительства и эксплуатации транспортных тоннелей, а также к способам диагностики и наблюдения за их состоянием в процессе эксплуатации.

Известен способ сейсмической оценки (разведки) массива пород, включающий возбуждение сейсмических колебаний искусственными источниками, регистрацию сигналов сейсмоприемниками, распределенными на поверхности, и использование полученных сейсмограмм для извлечения информации о строении исследуемой среды (Мешбей В.И. Сейсморазведка методом общей глубинной точки. - М.: Недра, 1973. - 152 с.).

Однако данное техническое решение не может быть использовано для дистанционной диагностики строительных конструкций тоннелей.

Известно устройство сервера сбора и обработки данных, содержащего управляющий компьютер (УК) с программируемым пользовательским интерфейсом, удаленный сервер (УС) с центральным узлом процессора и соответствующим клиент-серверным программным обеспечением, программируемый модем с центральным процессором и разъемами интерфейсов Ethernet, RS485, связанный с набором датчиков системы мониторинга и осуществляющий трансфер данных, как по

проводной линии связи, так и через GSM-канал. Программируемый модем является мастером по отношению к удаленному серверу, и содержит сформированные на базе встроенного ЦП блоки, сбора данных, интеллектуального сжатия, фильтрации, архивирования и хранения данных, формирования запросов на (УС) и блок обмена данными с УС. При этом УС связан, с по меньшей мере, одним УК и содержит реализованные в центральном узле процессора блоки обмена данными с ПМ и УК. Блок хранения данных функционально связанный с запоминающим устройством и выполненный с возможностью интеллектуального сжатия объема данных со временем при сохранении ключевых параметров данных (Патент РФ №. 2706587, опубл. от 19.11.2019, Бюл. №32).

Известно устройство цифровой сейсмоакустической станции с измерительным модулем и блоком питания для сейсмоакустической разведки, содержащее источник упругих колебаний, подключенный к генератору, связанному со схемой запуска, вход которой связан с выходом приемника, соединенного радиоволновой связью с передатчиком, связанным последовательно с цифроаналоговым преобразователем, интерфейсом системы излучения и выходом блока синхронизации, вход которого связан последовательно с интерфейсом системы приема, блоком памяти, аналого-цифровым преобразователем, блоком ключей, демультиплексором, мультиплексором, блоком усилителей, к которому подключены приемники упругих колебаний, при этом блок синхронизации связан с выходом блока управления, связанным с выходом блока введения информации и входом цифровой вычислительной машины, выходы которой соединены с устройством видеомультипликации и устройством регистрации. (Заявка на изобретение РФ №5033943, опубл. от 27.12.1996).

Известно устройство для определения монолитности бетонных изделий, содержащее возбудитель свободных колебаний и приемник свободных колебаний, подключенных соответственно к генератору звуковой чистоты и индикатору измерений (Авторское свидетельство СССР №251890, опубл. от 10.09.1969, Бюл. №28).

Недостатком данного устройства является возможность определения сплошности только поверхностей бетонных и железобетонных сооружений и отсутствие возможности применения для обнаружения дефектов бетонирования заглубленных строительных конструкций тоннелей.

Известен способ сейсмоакустического контроля строительных конструкции, состоящий в выявлении дефектов строительных конструкций на основе регистрации скорости распространения сейсмических волн, включающий установку сейсмоакустических источников и гирлянд с сейсмоакустическими приемниками, при этом сейсмоакустические источники соединяют и синхронизируют с сейсмоакустическими приемниками посредством цифровой сейсмоакустической станции, на которую производится регистрация сигналов, полученных сейсмоакустическими приемниками при прохождении сейсмоакустических волн через строительную конструкцию, а на заключительном этапе, после томографической обработки сигналов, получают информацию в виде кинематического разреза в вертикальной плоскости строительной конструкции (Патент РФ №2737176, опубл. от 25.11.2020, Бюл. №33).

Однако данное техническое решение не может быть использовано для дистанционной диагностики строительных конструкций тоннелей.

Известен способ контроля технического состояния обделки тоннеля с использованием сейсмоакустического метода, состоящий в выявлении дефектов строительных конструкций тоннелей на основе регистрации параметров распространения сейсмических волн и включающим в себя условное разбиение поверхности обделки тоннеля с установкой на них сейсмоматчиков на участки, в пределах которых проводятся последующие операции сейсмоакустического метода

определения качества строительной конструкции и контакта с окружающим грунтом, возбуждение механических колебаний строительной конструкции тоннеля, измерение их параметров в контролируемой точке поверхности и выявление зон с градиентом измеряемых параметров в пределах выбранного участка, причем возбуждение колебаний производят неразрушающим методом и измерения осуществляют с одной стороны строительной конструкции. В систему регистрации сигналов входит подключаемый к сейсмостанции посредством коаксиального кабеля чувствительный элемент - сейсмодатчик, например типа "GS-20DX", воспринимающий колебания поверхности конструкции и преобразующий их в электрический сигнал. В качестве источника возбуждения местных колебаний поверхности строительной конструкции тоннеля используется молоток одиночного удара, созданный на базе склерометра ОМШ-1, с постоянной энергией удара 1,93 Дж или мерный молот, созданный на базе ручного зонда для зондирования грунтов РЗГ-2, с постоянной энергией удара 20,8 Дж (Патент РФ №2367742, опубл. от 20.09.2009, Бюл. №26).

Недостатками данного способа являются необходимость применения искусственных возбудителей местных колебаний поверхности строительной конструкции тоннеля в виде сложных механических устройств с применением молотка одиночного удара или мерного молота, трудоемкая и продолжительная по времени организация искусственного возбуждения местных колебаний на каждом условном участке тоннеля, а также необходимость остановки эксплуатации тоннеля для проведения контроля технического состояния его обделки с использованием сейсмоакустического метода.

Технический результат, который может быть получен при применении предлагаемого изобретения заключается в возможности проведения контроля технического состояния строительных конструкций тоннеля с использованием сейсмоакустического метода без остановки эксплуатации тоннеля, повышения скорости проведения контроля технического состояния и снижения трудоемкости за счет исключения необходимости применения специальных механических устройств для искусственного возбуждения местных колебаний на поверхности строительной конструкции тоннеля.

Для достижения данного технического результата предлагаемый способ контроля технического состояния обделки тоннеля с использованием сейсмоакустического метода, состоящий в выявлении дефектов строительных конструкций тоннеля на основе регистрации параметров распространения сейсмических волн и включающим в себя условное разбиение поверхности обделки тоннеля с установкой на них сейсмических датчиков на участки, в пределах которых проводятся последующие операции сейсмоакустического метода определения качества строительной конструкции и контакта с окружающим грунтом, возбуждение механических колебаний строительной конструкции тоннеля, измерение их параметров в контролируемой точке поверхности и выявление зон с градиентом измеряемых параметров в пределах выбранного участка, причем возбуждение колебаний производят неразрушающим методом и измерения осуществляют с одной стороны строительной конструкции с использованием сейсмических датчиков на каждом условном участке тоннеля, согласно изобретения, в качестве источника возбуждения механических колебаний в строительной конструкции тоннеля используется проходящий железнодорожный поезд, формирующий вибрационные колебания на железнодорожные пути и обделку тоннеля, при этом контроль состояния обделки тоннеля осуществляется с использованием обработки акселерограмм вибраций методом спектрального анализа, позволяющим определить частотный и амплитудный состав вибрационных колебаний, а графическое изображение вибрационного сигнала в виде спектрограмм используется для контроля изменений напряженно-деформированного состояния в системе «обделка - массив горных пород»,

регистрации колебаний проводится в непрерывном режиме с точной привязкой ко времени в месте положения сейсмического датчика и ближней зоны заобделочного пространства на каждом условном участке тоннеля, а процесс контроля состояния обделки тоннеля осуществляется в автоматическом режиме без участия человека.

Введение в состав предлагаемого способа контроля технического состояния обделки тоннеля с использованием сейсмоакустического метода в качестве источника возбуждения механических колебаний в строительной конструкции тоннеля проходящего железнодорожного поезда, формирующего вибрационные колебания на железнодорожные пути и обделку тоннеля, при этом контроль состояния обделки тоннеля осуществляется с использованием обработки акселерограмм вибраций методом спектрального анализа, позволяющим определить частотный и амплитудный состав вибрационных колебаний, а графическое изображение вибрационного сигнала в виде спектрограмм используется для контроля изменений напряженно-деформированного состояния в системе «обделка -массив горных пород», регистрации колебаний проводится в непрерывном режиме с точной привязкой ко времени в месте положения сейсмического датчика и ближней зоны заобделочного пространства на каждом условном участке тоннеля, позволяет получить новое свойство, заключающееся в возможности исключения необходимости применения специальных механических устройств для искусственного возбуждения местных колебаний на поверхности строительной конструкции тоннеля за счет использования в качестве источника возбуждения механических колебаний в строительной конструкции тоннеля от проходящего железнодорожного поезда, формирующего вибрационные колебания на железнодорожные пути и обделку тоннеля, что обеспечивает проведение контроля технического состояния строительных конструкций тоннеля с использованием сейсмоакустического метода без остановки эксплуатации тоннеля и в автоматическом режиме без участия человека, повышение скорости и снижение трудоемкости работ по проведению контроля технического состояния строительных конструкций обделки тоннеля.

Предлагаемый способ контроля технического состояния обделки тоннеля с использованием сейсмоакустического метода может быть осуществлен в описываемом ниже устройстве.

На фиг. 1 изображено схема устройства по контролю технического состояния обделки тоннеля с использованием сейсмоакустического метода. На фиг. 2 представлен поперечный разрез тоннеля с размещением сейсмических датчиков. На фиг. 3 а) и б) представлены примеры результатов обработки данных измерений сейсмоакустического контроля строительной конструкции обделки тоннеля - акселерограммы и их спектрограммы при проезде электрички (в 21.52 московского времени, 10.09.2018 г.) в железнодорожном тоннеле №1 трассы Адлер - Красная Поляна (компонента X колебания - по оси тоннеля, Y - поперек, на шкале справа показаны уровни вибраций в децибелах),

где:

- 1 - сейсмический датчик;
- 2 - измерительный модуль;
- 3 - сервер сбора и обработки данных;
- 4 - обделка тоннеля;
- 5 - связывающие (коаксиальные и оптоволоконные) кабели.

Предлагаемый способ контроля технического состояния обделки тоннеля с использованием сейсмоакустического метода осуществляют в описанном устройстве следующим образом.

Устройство по контролю технического состояния обделки тоннеля с использованием сейсмоакустического метода для реализации предлагаемого способа располагается внутри тоннеля. Оно включает в себя несколько (две и более)

измерительных сетей с одинаковым составом оборудования. Каждая измерительная сеть содержит сейсмические датчики 1 и измерительные модули с блоком питания 2.

Каждая измерительная сеть содержит сейсмические датчики 1, в качестве которых используются трехкомпонентные пьезоакселерометры. Сейсмические датчики 1 монтируются на стены тоннеля в заранее определенных точках на условно разбитых участках поверхности обделки тоннеля 4. Измерительные модули с блоком питания 2 монтируются в непосредственной близости от сейсмических датчиков 1 (1-5 метров) и выполняют функции регистрации и первичного анализа сигнала от сейсмических датчиков 1. Сейсмические датчики 1 соединены с измерительными модулями 2 связывающими кабелями 5.

Сервер сбора и обработки данных 3 подсоединен к сети Интернет и используется для сбора и анализа данных со всех измерительных модулей 2, входящих в устройство контроля технического состояния обделки тоннеля 4.

При каждом зарегистрированном проходе железнодорожного поезда формируются, естественным образом, вибрационные колебания на железнодорожные пути и обделку тоннеля 4. Регистрации колебаний проводится сейсмическими датчиками 1, в каждой из измерительных сетей, с которых регистрируемые сигналы по связывающим коаксиальным кабелям 5 поступают в измерительные модули с блоком питания 2 в непрерывном режиме с точной привязкой ко времени в месте положения сейсмических датчиков 1 и ближайших зон заобделочного пространства на каждом условном участке обделки тоннеля 4.

В сервере сбора и обработки данных 3 осуществляется обработка акселерограмм вибраций методом спектрального анализа, позволяющим определить частотный и амплитудный состав вибрационных колебаний. Измеряемые параметры вибраций поступают в сервер сбора и обработки данных 3 от измерительных модулей 2 каждой измерительной сети по связывающим оптоволоконным кабелям 5.

В сервере сбора и обработки данных 3 сравниваются полученные максимальные значения амплитуды в выбранных, по модальному анализу, частотных окнах. При фиксации равнонаправленного процесса смещения максимума амплитуды по частоте проводится операционный модальный анализ для получения полного спектра и последующего сравнения его с предыдущим.

Определение состояния обделки тоннелей с использованием виброакустической диагностики осуществляется в автоматическом режиме. Контроль состояния обделки тоннеля осуществляется с использованием обработки акселерограмм вибраций методом спектрального анализа, позволяющим определить частотный и амплитудный состав вибрационных колебаний. Для этого в автоматическом режиме сравниваются акселерограммы событий по следующим параметрам:

по акселерограммам:

- длительности колебаний;
- максимальная амплитуда колебаний;
- коэффициент затухания колебаний.

Графическое изображение вибрационного сигнала в виде спектрограмм используется для контроля изменений напряженно-деформированного состояния в системе «обделка тоннеля - массив горных пород». Для этого в автоматическом режиме сравниваются спектры акселерограмм событий друг с другом по следующим параметрам:

по спектрам:

- частота основной гармоники (супергармоники) и частоты кратных гармоник, которые превышают частоту супергармоники в целое число раз, так как именно эти гармоники характеризуют повреждения в конструкции обделки;
- ширина спектра - диапазон частот на уровне 0,5 огибающей спектра;

- наличие субгармоник на частотах дробных частоте супергармоники (1/2, 1/3, ...). Появление в спектре вибрации субгармоник свидетельствует о наличии в контролируемой среде дефектов (зазоров), повышенной податливости составных частей на свободных поверхностях.

Вибрационные нагрузки от движения поездов на обделки железнодорожных тоннелей способствуют разуплотнению и разжижению грунтов на контакте «обделка-грунт» с образованием полостей, обводнению обделки при нарушении гидроизоляции. Полости в свою очередь являются причиной неравномерного распределения нагрузок, что приводит со временем к деформациям обделки и рельсового пути и еще большему усилению вибраций, трещинообразованию и постепенному разрушению обделки тоннеля. Поэтому задача вовремя обнаружить опасное образование полости за обделкой и до возникновения аварийной ситуации ликвидировать полость, например, с помощью тампонажных работ, представляется достаточно актуальной.

В условиях, когда на контакте обделки с грунтом существует полость или разуплотнение грунта значительных размеров, то в этом месте элемент обделки при возбуждении в нем колебаний будет испытывать свободные колебания, как в мембране и такие колебания будут затухать быстрее, чем в случае, когда обделка плотно соприкасается с массивом грунта. В практике акустического контроля границы «обделка-грунт» такое поведение колебаний связывают с явлением резонанса. Резонанс это явление резкого возрастания амплитуды вынужденных колебаний, которое наступает при совпадении частоты собственных колебаний наблюдаемой системы с частотой колебаний вынуждающей силы.

По опыту исследований хороший контакт обделки с грунтом характеризуется малой начальной амплитудой колебаний и быстрым их затуханием. При плохом контакте амплитуды в начале колебаний имеют высокие значения, и колебания затухают заметно дольше. В случае плохого контакта, например, при наличии на контакте полости, максимум спектра приходится на более низкие частоты, а в случае хорошего контакта максимум спектра смещен в сторону более высоких частот.

Данный вывод соответствует концепции о смещении максимумов спектров сейсмоакустических и электромагнитных сигналов в сторону низких частот, регистрируемых при деформировании до разрушения различных материалов конструкций, в том числе бетона, в различных условиях.

Пример применения на практике предлагаемого способа контроля технического состояния обделки тоннеля с использованием сейсмоакустического метода

Специалистами ОАО «ЛМГТ» были выполнены исследования по контролю состояния строительных конструкций тоннеля по трассе «Адлер - Красная Поляна» в тоннеле №1 с монолитной обделкой. На фиг. 3 приведены записи акселерограмм, полученные от датчиков в обделке тоннеля при проезде поезда (электрички) и спектрограммы этих акселерограмм. На акселерограммах и их спектрограммах четко выражено воздействие от проезда электрички на обделку в виде локального изменения во времени амплитуд ускорений колебаний. При скорости движения порядка 100 км/час и общей длине состава из 6 вагонов ~126 м время проезда электрички мимо пункта наблюдений (сейсмостанции) составляет около 5 секунд.

Оценка энергии сейсмических колебаний E в обделке при проезде поезда определяется по формуле Б.Б. Голицына:

$$E = \pi^2 \rho v \left(\frac{a}{T} \right)^2,$$

где ρ - плотность среды; v - скорость сейсмической волны, a - амплитуда смещения, T - период колебаний, дает величину порядка 400 Дж. Это небольшая

энергия, сравнимая по величине с энергией очень слабого землетрясения энергетического класса $K \approx 3$ ($K = \lg E$).

Максимальная амплитуда ускорений колебаний 0,02g по компоненте Z приходится на частоту ~150 Гц и по времени совпадает с проездом электрички. Сейсмические нагрузки, создаваемые вибрациями от проездов электричек на такой частоте, в данный момент не оказывают существенного влияния на тоннельные конструкции в случае разовых, ограниченных по времени и энергии воздействий, так как смещения частиц в бетоне обделки, где установлены акселерометры, невелики и составляют доли микрон. Однако, при длительно повторяющихся воздействиях от техногенных вибраций, движения тяжеловесных грузовых поездов, местных землетрясений и взрывов в конструкциях обделок могут накапливаться усталостные деформации, которые в сочетании с сезонными температурными деформациями, тектоническими движениями и сейсмическими колебаниями при землетрясениях и взрывах могут привести к повреждениям и разрушениям обделок в тоннелях.

Изменение положения моды или ее амплитуды, во времени, для сопоставимых источников (прохождение поездов - техногенное воздействие одинаковое по энергии) могут говорить об изменении:

- состояния контакта путевой бетон - обделка;
- состояния путевого бетона;
- состояния обделки;
- состояние контакта обделка-вмещающий массив;
- состояния заобделочного пространства.

Критерии оценки состояния обделки тоннелей и ближней зоны вмещающего массива. В виде критериев оценки можно рассматривать, в соответствии с СТО 56947007-26.120.95.017-2009 (ОАО ФСК ЕЭС) снижение первой гармоники резонансной частоты обделки:

- снижение до 5% - «исправное» состояние;
- снижение до 10% - «удовлетворительное» состояние;
- снижение от 10% до 20% - «неисправное» состояние;
- снижение более 20% - «аварийное» состояние.

При достижении критерия «неисправное состояние» определяется комплекс мероприятий по обследованию обделки и вмещающего массива с целью выявления источника снижения эксплуатационной надежности строительных конструкций тоннеля.

Использование предлагаемого способа контроля технического состояния обделки тоннеля позволяет исключить необходимость применения специальных механических устройств для искусственного возбуждения местных колебаний на поверхности строительной конструкции тоннеля за счет использования в качестве источника возбуждения механических колебаний в строительной конструкции тоннеля от проходящего железнодорожного поезда, формирующего вибрационные колебания на железнодорожные пути и обделку тоннеля, что обеспечивает проведение контроля технического состояния строительных конструкций тоннеля с использованием сейсмоакустического метода без остановки эксплуатации тоннеля и в автоматическом режиме без участия человека, повышение скорости и снижение трудоемкости работ по проведению контроля технического состояния строительных конструкций обделки тоннеля.

Источники информации, принятые во внимание при составлении заявки

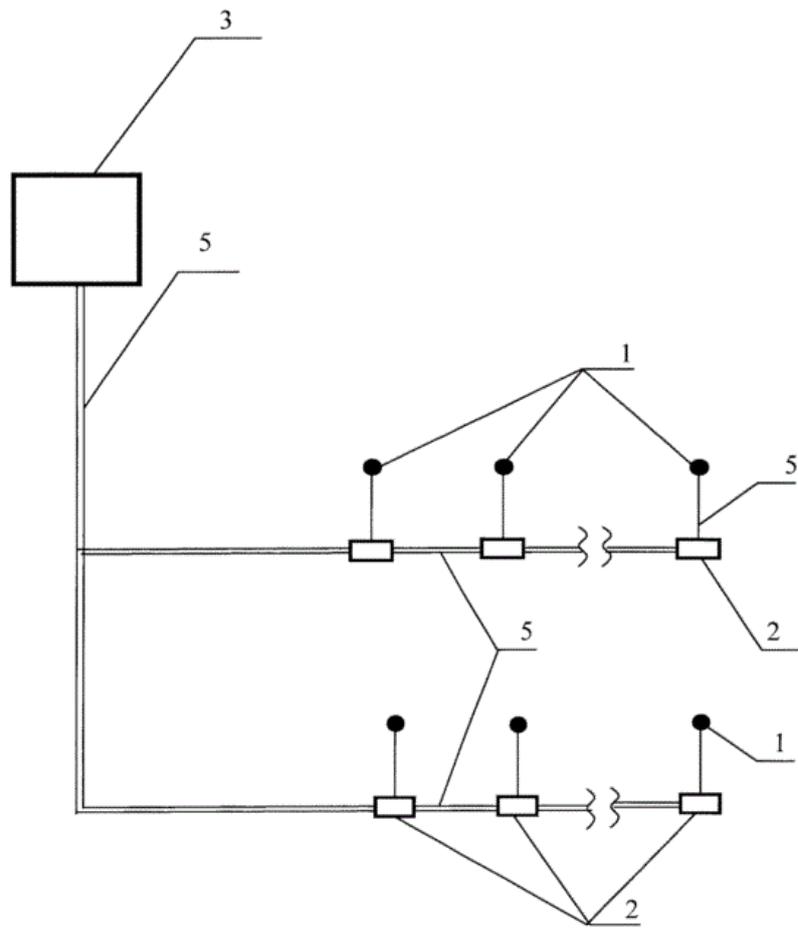
1. Мешбей В.И. Сейсморазведка методом общей глубинной точки. - М.: Недра, 1973. - 152 с.
2. Патент РФ №.2706587, опубл. от 19.11.2019, Бюл. №32.
3. Заявка на изобретение РФ №5033943, опубл. от 27.12.1996.
4. Авторское свидетельство СССР №251890, опубл. от 10.09.1969, Бюл. №28.

5. Патент РФ №2737176, опубл. от 25.11.2020, Бюл. №33.

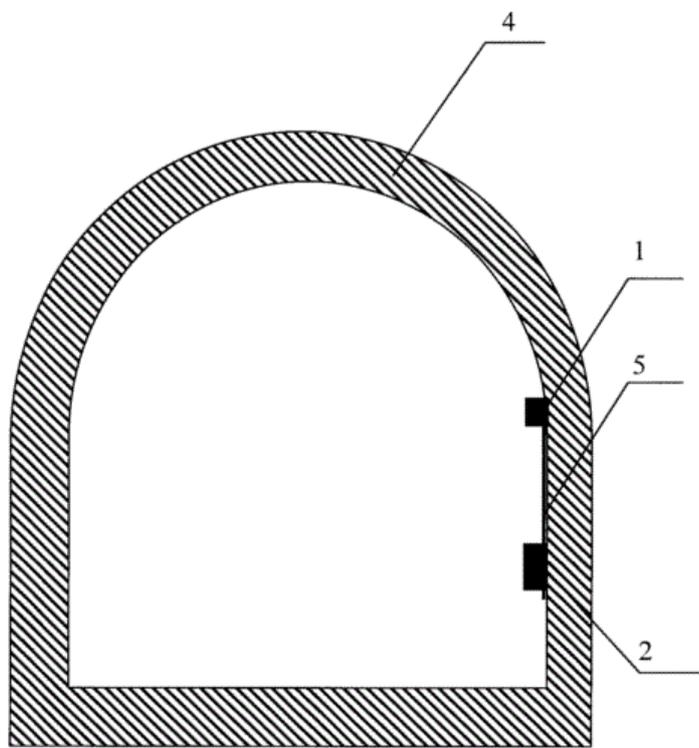
6. Патент РФ №2367742, опубл. от 20.09.2009, Бюл. №26 - прототип.

Формула изобретения

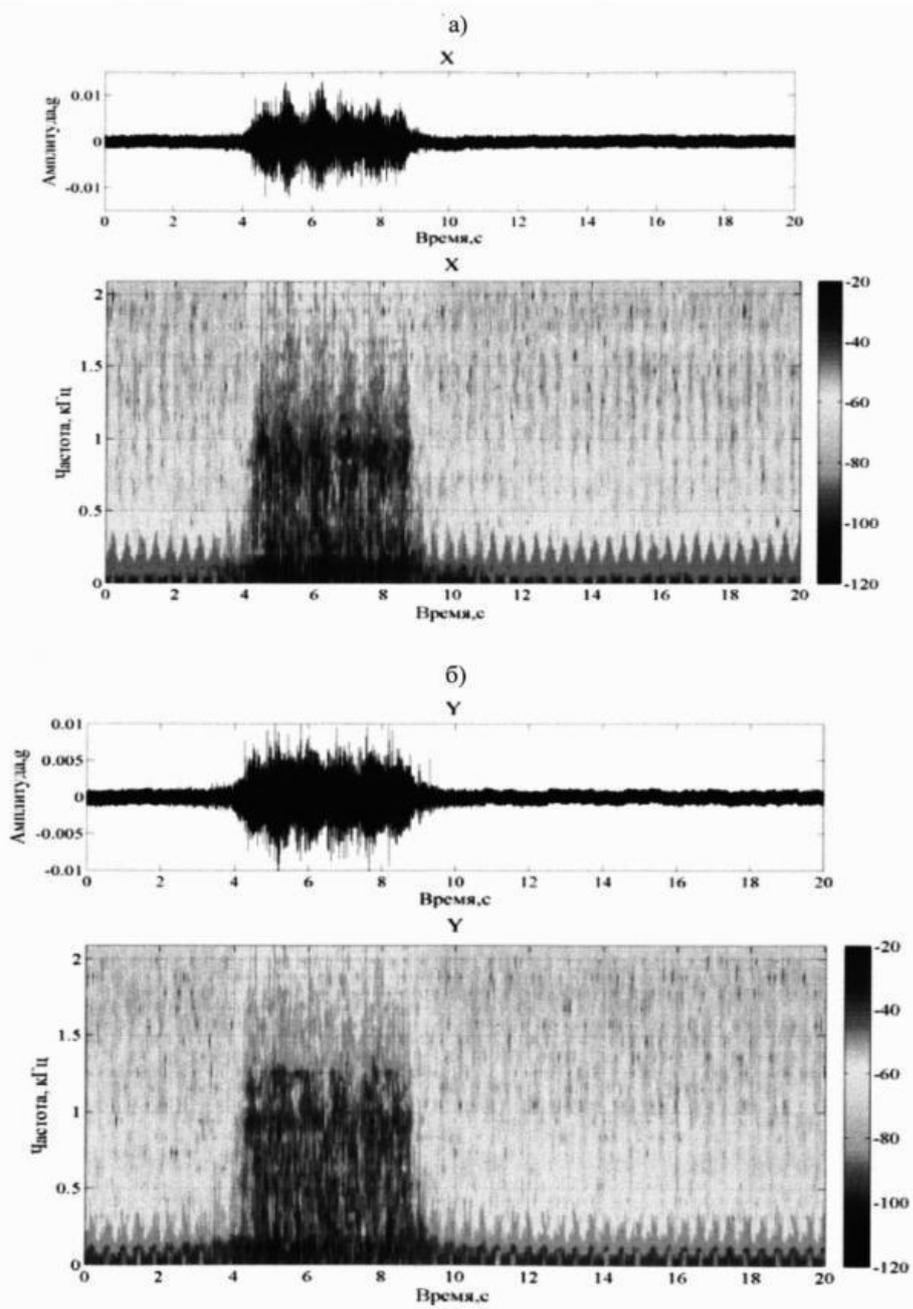
Способ контроля технического состояния обделки тоннеля с использованием сейсмоакустического метода, состоящий в выявлении дефектов строительных конструкций тоннеля на основе регистрации параметров распространения сейсмических волн и включающий в себя условное разбиение поверхности обделки тоннеля с установкой на них сейсмических датчиков на участки, в пределах которых проводят последующие операции сейсмоакустического метода определения качества строительной конструкции и контакта с окружающим грунтом, возбуждение механических колебаний строительной конструкции тоннеля, измерение их параметров в контролируемой точке поверхности и выявление зон с градиентом измеряемых параметров в пределах выбранного участка, причем возбуждение колебаний производят неразрушающим методом и измерения осуществляют с одной стороны строительной конструкции с использованием сейсмических датчиков на каждом условном участке тоннеля, отличающийся тем, что в качестве источника возбуждения механических колебаний в строительной конструкции тоннеля используют проходящий железнодорожный поезд, формирующий вибрационные колебания на железнодорожные пути и обделку тоннеля, при этом контроль состояния обделки тоннеля осуществляют с использованием обработки акселерограмм вибраций методом спектрального анализа, позволяющим определить частотный и амплитудный состав вибрационных колебаний, а графическое изображение вибрационного сигнала в виде спектрограмм используют для контроля изменений напряженно-деформированного состояния в системе «обделка - массив горных пород», регистрации колебаний проводят в непрерывном режиме с привязкой ко времени в месте положения сейсмического датчика и ближней зоны заобделочного пространства на каждом условном участке тоннеля, а процесс контроля состояния обделки тоннеля осуществляют в автоматическом режиме без участия человека.



Фиг.1



Фиг.2



Фиг. 3