

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **045746**

(13) **B1**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента
2023.12.21

(21) Номер заявки
202391308

(22) Дата подачи заявки
2021.11.02

(51) Int. Cl. **G06F 30/23 (2020.01)**
G06F 111/10 (2020.01)
G06F 119/14 (2020.01)
G06F 111/04 (2020.01)

(54) **СИСТЕМА МОДЕЛИ ПЛОТНОСТИ ТРЕЩИНОВАТОСТИ, СПОСОБ И УСТРОЙСТВО**

(31) **63/109,033**

(32) **2020.11.03**

(33) **US**

(43) **2023.07.06**

(86) **PCT/US2021/057767**

(87) **WO 2022/098668 2022.05.12**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
ДИНО НОБЕЛЬ ИНК. (US)

(72) Изобретатель:
**Бхаян А Б М Абдул Али, Лаунде
Чарльз Майкл, Прис Дейл С. (US)**

(74) Представитель:
**Харин А.В., Алексеев В.В., Буре Н.Н.,
Галухина Д.В., Стойко Г.В. (RU)**

(56) **US-A1-20200250355**
US-A1-20200132882
US-B1-10072919
JP-B2-2672209
EP-A1-2835627

(57) Система модели плотности трещиноватости (FDM) с возможностью предсказывать распределение размера фрагментации для взрыва. Система FDM может генерировать модель, содержащую множество элементов объема. Система FDM может определять уже существующие трещины отрыва в элементах объема. Система FDM также может симулировать взрывы и отслеживать трещины для каждого из элементов объема, вызванные ударной волной взрыва и ударной волной, отраженной от свободной поверхности модели. Система FDM может комбинировать ранее существовавшие трещины отрыва и вызванные взрывом трещины для определения прогнозируемого размера фрагментации для отдельных элементов.

B1

045746

045746

B1

Родственные заявки

Настоящая заявка испрашивает приоритет по предварительной заявке на патент США № 63/109033, озаглавленной "FRACTURE DENSITY MODEL SYSTEM, METHODS, AND APPARATUSES", поданной 3 ноября 2020 г., которая полностью включена в настоящий документ посредством ссылки.

Область техники

Настоящее изобретение в целом относится к взрывотехнике. Более конкретно, настоящее изобретение относится к способам, системам и устройствам для прогнозирования размера фрагментации горных пород от взрыва.

Краткое описание чертежей

Для легкой идентификации описания любого конкретного элемента или действия наиболее значащая цифра или цифры в номерном обозначении относятся к номеру чертежа, в котором этот элемент впервые был представлен.

Фиг. 1А иллюстрирует напряжения, приложенные к элементу породы ударной волной, испускаемой из буровой скважины в соответствии с одним вариантом осуществления изобретения.

Фиг. 1В иллюстрирует результирующий радиальный разрыв или трещину в элементе породы в соответствии с одним вариантом осуществления изобретения.

Фиг. 2А иллюстрирует трехмерную модель части участка взрыва в соответствии с одним вариантом осуществления изобретения.

Фиг. 2В иллюстрирует трехмерную модель, сегментированную на множество элементов объема в соответствии с одним вариантом осуществления изобретения.

Фиг. 3А иллюстрирует вид в плане сверху трехмерной модели перед любыми симулированными взрывами в соответствии с одним вариантом осуществления изобретения.

Фиг. 3В иллюстрирует вид в плане сверху трехмерной модели после симулированных взрывов из первой буровой скважины и второй буровой скважины в соответствии с одним вариантом осуществления изобретения.

Фиг. 4 иллюстрирует уравнения векторной механики, которые могут использоваться при моделировании плотности трещин (FDM) для расчета функций расстояния и детектирования положений заряда относительно элемента породы во взрыве, в соответствии с одним вариантом осуществления изобретения.

Фиг. 5 иллюстрирует вид в плане сверху модели взрыва с прозрачными скважинами для определения трещин и интенсивности трещиноватости вследствие отраженных ударных волн в каждом элементе модели взрыва в соответствии с одним вариантом осуществления изобретения.

Фиг. 6 иллюстрирует вид в плане сверху модели взрыва с прозрачными скважинами и динамической свободной поверхностью в соответствии с одним вариантом осуществления изобретения.

Фиг. 7А иллюстрирует вид в плане сверху модели взрыва и углы трещин из первой взрывной скважины в соответствии с одним вариантом осуществления изобретения.

Фиг. 7В иллюстрирует вид в плане сверху модели взрыва и углы трещин из прозрачной скважины, соответствующей первой взрывной скважине, в соответствии с одним вариантом осуществления изобретения.

Фиг. 8 иллюстрирует вид сбоку взрывной скважины в соответствии с одним вариантом осуществления изобретения.

Фиг. 9А иллюстрирует трехмерную модель, которая включает свойства типа породы, которые могут быть использованы для более точного прогнозирования интенсивностей трещиноватости в соответствии с одним вариантом осуществления изобретения.

Фиг. 9В иллюстрирует поперечное сечение вертикальной взрывной скважины с множеством пластов.

Фиг. 10 иллюстрирует симуляцию модели подземного шахтного забоя с использованием FDM в соответствии с одним вариантом осуществления изобретения.

Фиг. 11 иллюстрирует блок-схему способа прогнозирования размера фрагментации породы в результате взрыва в соответствии с одним вариантом осуществления изобретения.

На фиг. 12 проиллюстрирована блок-схема системы FDM в соответствии с одним вариантом согласно одному варианту осуществления изобретения.

Фиг. 13А иллюстрирует трехмерный контурный график FDM интенсивности трещиноватости трехмерной модели взрыва с множеством дискретных элементов в соответствии с одним вариантом осуществления изобретения.

Фиг. 13В иллюстрирует двухмерную кривую распределения размера частиц в соответствии с одним вариантом осуществления изобретения.

Фиг. 14 иллюстрирует вид в плане сверху модели взрыва.

Осуществление изобретения

Взрывчатые вещества широко используются в горнодобывающей, карьерной и экскаваторной промышленности для разрушения пород и руды. Обычно на поверхности, такой как земля, бурят скважину, называемую "взрывной скважиной". Затем во взрывную скважину могут быть помещены взрывчатые

вещества. Как правило, для разрушения больших объемов пород и руды используются несколько взрывных скважин. Использование нескольких взрывных скважин вносит сложности в планирование взрыва. Например, взрыв может варьироваться в зависимости от множества факторов, включая интервал между взрывными скважинами, нагрузку взрывных скважин, глубину взрывных скважин, расположение взрывных скважин, количество взрывных скважин, геологические свойства, тип взрывчатого вещества, количество взрывчатого вещества и время иницирования взрывных скважин. Количество возможностей затрудняет планирование взрыва даже для высококвалифицированного инженера-взрывника.

Симуляции взрыва, выполняемые системами моделирования, могут использоваться для прогнозирования результата взрыва. Например, некоторые системы моделирования могут предсказывать распределение размера фрагментации взрыва. Распределение размера фрагментации может предсказывать размеры пород после взрыва. Фрагментация пород от взрывных работ является одним из ключевых результатов в горных работах. Оптимизация фрагментации может значительно улучшить все последующие процессы добычи и измельчения. Точное прогнозирование распределения размера фрагментов на основе всех соответствующих входных данных взрыва помогает в процессе оптимизации.

Варианты осуществления изобретения в данном документе генерируют трехмерную (3D) модель фрагментации породы. Модель может называться моделью плотности трещиноватости (FDM). Система моделирования может генерировать FDM, сегментируя модель участка взрыва на множество элементов, симулируя взрывы и отслеживая фрагментацию, происходящую в каждом из множества элементов. В некоторых вариантах осуществления изобретения система моделирования может обрабатывать сложные физические сценарии, включая ранее существовавшие отрывы, сработку, динамическую свободную поверхность, изменяющиеся параметры взрыва и отражение волн на свободных поверхностях. Кроме того, в некоторых вариантах осуществления изобретения FDM также может быть расширен для симуляции взрыва породы в подземной среде.

В данном контексте трехмерные элементы FDM являются элементами трехмерной модели FDM. Трехмерные элементы FDM упоминаются в настоящем документе как "конечные элементы", "элементы объема", "множество элементов объема", "дискретные элементы", "множество дискретных элементов", "множество элементов", "множество отдельных элементов", "элементы" и "элементы породы". Каждый из этих терминов относится к трехмерным элементам FDM трехмерной модели FDM.

Легко понять, что компоненты вариантов осуществления, как в целом описано ниже и проиллюстрировано на здесь фигурах, могут быть множество различных расположений и выполнений. Например, этапы способа не обязательно должны выполняться в каком-либо конкретном порядке или же последовательно, и этапы не обязательно выполняются однократно. Таким образом, нижеследующее более подробное описание различных вариантов осуществления, как описано ниже и представлено на фигурах, не предусматривает ограничение объема охраны настоящего изобретения, но лишь представляет различные варианты осуществления. Хотя различные аспекты вариантов осуществления изобретения представлены на чертежах, чертежи не обязательно выполнены в масштабе, если специально не указано иное.

Варианты осуществления и реализации описанных здесь систем и способов могут включать различные этапы, которые могут быть реализованы в машиноисполняемых инструкциях, подлежащих исполнению компьютерной системой. Компьютерная система может включать в себя один или более компьютеров общего или специального назначения (или другие электронные устройства). Компьютерная система может включать в себя аппаратные компоненты, которые включают в себя специальную логику для выполнения этапов, или может включать в себя комбинацию аппаратных средств, программного обеспечения и/или встроенного программного обеспечения.

Варианты осуществления изобретения могут быть представлены как компьютерный программный продукт, включающий в себя машиночитаемый носитель, содержащий инструкции, которые могут быть использованы для программирования компьютерной системы или другого электронного устройства для выполнения описанных здесь процессов. Машиночитаемый носитель может включать, не ограничиваясь этим жесткие диски, дискеты, оптические диски, CD-ROM, DVD-ROM, ROM, RAM, EPROM, EEPROM, магнитные или оптические карты, твердотельные запоминающие устройства или другие типы носителей/машиночитаемых носителей, подходящих для хранения электронных инструкций.

Компьютерные системы и компьютеры в компьютерной системе могут быть соединены через сеть. Подходящие сети для конфигурации и/или использования как описано в настоящем документе включают в себя одну или более локальных вычислительных сетей, глобальные вычислительные сети, городские вычислительные сети и/или Интернет или IP-сети, такие как Всемирная паутина, частный Интернет, безопасный Интернет, сеть с добавленной стоимостью, виртуальная частная сеть, экстранет, интранет или же автономные машины, которые взаимодействуют с другими машинами посредством физической транспортировки носителей. В частности, подходящая сеть может быть сформирована из частей или совокупностей двух или более других сетей, включая сети, использующие диспаратные аппаратные и сетевые технологии связи.

Одна подходящая сеть включает в себя сервер и несколько клиентов; другие подходящие сети могут содержать другие комбинации серверов, клиентов и/или одноранговых узлов, и данная компьютерная система может функционировать как в качестве клиента, так и в качестве сервера. Каждая сеть включает

в себя по меньшей мере два компьютера или компьютерные системы, такие как сервер и/или клиенты. Компьютерная система может включать в себя рабочую станцию, портативный компьютер, отключаемый мобильный компьютер, сервер, мэйнфрейм, кластер, так называемый "сетевой компьютер" или "тонкий клиент", планшет, смартфон, персональный цифровой помощник или другое портативное вычислительное устройство, "умное" устройство или устройство бытовой электроники, медицинское устройство или их комбинацию.

Подходящие сети могут включать в себя коммуникационное или сетевое программное обеспечение, такое как программное обеспечение, доступное от Novell®, Microsoft® и других поставщиков, и могут работать с использованием протоколов TCP/IP, SPX, IPX и других протоколов по витой паре, коаксиальным или оптоволоконным кабелям; телефонные линии; радиоволны; спутники; микроволновые реле; модулированные линии электропередачи переменного тока; физическую передачу данных; и/или другие "провода" передачи данных, известные специалистам в данной области техники. Сеть может включать в себя более мелкие сети и/или может быть соединена с другими сетями через шлюз или аналогичный механизм.

Каждая компьютерная система включает в себя один или более процессоров и/или запоминающих устройств; компьютерные системы могут также включать в себя различные устройства ввода и/или устройства вывода. Процессор может включать в себя устройство общего назначения, такое как Intel®, AMD® или другой готовый микропроцессор. Процессор может включать в себя специализированное устройство обработки, такое как ASIC, SoC, SiP, FPGA, PAL, PLA, FPLA, PLD или другое индивидуальное или программируемое устройство. Память может включать в себя статическую RAM, динамическую RAM, флэш-память, один или более триггеров, ROM, CD-ROM, диск, ленту, магнитный, оптический или другой компьютерный носитель данных. Устройство(а) ввода может (могут) включать в себя клавиатуру, мышь, сенсорный экран, световое перо, планшет, микрофон, датчик или другое аппаратное обеспечение с сопутствующим встроенным программным обеспечением и/или программным обеспечением. Устройство(а) вывода может (могут) включать в себя монитор или другой дисплей, принтер, синтезатор речи или текста, коммутатор, сигнальную линию или другое аппаратное обеспечение с сопутствующим встроенным программным обеспечением и/или программным обеспечением.

Компьютерные системы могут быть способны использовать гибкий диск, ленточный диск, оптический диск, магнитооптический диск или другие средства для считывания носителя информации. Подходящий носитель данных включает в себя магнитное, оптическое или другое машиночитаемое запоминающее устройство, имеющее конкретную физическую конфигурацию. Подходящие устройства хранения включают гибкие диски, жесткие диски, ленту, CD-ROM, DVD, PROM, RAM, флэш-память и другие устройства хранения компьютерной системы. Физическая конфигурация представляет данные и инструкции, которые побуждают компьютерную систему работать специальным и заранее определенным образом как описано в данном документе.

Подходящее программное обеспечение для содействия в реализации изобретения легко обеспечивается специалистами в соответствующей области техники с использованием представленных здесь сведений и языков программирования и инструментов, таких как Modern Fortran, Java, Pascal, C++, C, PHP, .Net, языки баз данных, API, SDK, сборка, прошивка, микрокод и/или другие языки и инструменты. Подходящие форматы сигналов могут быть реализованы в аналоговой или цифровой форме, с битами обнаружения и/или исправления ошибок или без них, заголовками пакетов, сетевыми адресами в конкретном формате и/или другими вспомогательными данными, легко обеспечиваемыми специалистами в соответствующей области техники.

Аспекты некоторых вариантов осуществления изобретения могут быть реализованы в виде программных модулей или компонентов. Используемый здесь программный модуль или компонент может включать в себя любой тип компьютерной инструкции или исполняемого компьютером кода, расположенного внутри или на машиночитаемом носителе данных. Программный модуль может, например, содержать один или более физических или логических блоков компьютерных инструкций, которые могут быть организованы в виде программы, объекта, компонента, структуры данных и т.д., которая выполняет одну или более задач или реализует конкретные абстрактные типы данных. Конкретный программный модуль может содержать диспаратные инструкции, хранящиеся в разных местах машиночитаемого носителя данных, которые вместе реализуют описанную функциональность модуля. Действительно, модуль может содержать одну инструкцию или множество инструкций и может быть распределен по нескольким различным сегментам кода, между различными программами и между несколькими машиночитаемыми носителями информации.

Некоторые варианты осуществления могут быть реализованы на практике в распределенной вычислительной среде, где задачи выполняются удаленным устройством обработки, связанным через сеть связи. В распределенной вычислительной среде программные модули могут быть расположены на локальных и/или удаленных машиночитаемых носителях. Кроме того, данные, связанные или визуализированные вместе в записи базы данных, могут находиться на одном и том же машиночитаемом носителе или на нескольких машиночитаемых носителях и могут быть связаны вместе в полях записи в базе данных по

сети. Согласно одному варианту осуществления изобретения, система управления базами данных (СУБД) позволяет пользователям взаимодействовать с одной или более базами данных и обеспечивает доступ к данным, содержащимся в базах данных.

Фиг. 1А и 1В иллюстрируют напряжения на элементе 102 породы. В частности, фиг. 1А иллюстрирует напряжения, создаваемые на элементе 102 породы ударной волной, испускаемой из взрывной скважины 104, а фиг. 1В иллюстрирует результирующий радиальный разрыв 110 или трещину в элементе 102 породы. Взрывная фрагментация породы - это сложный физический процесс, который включает в себя множество различных физических явлений, таких как генерация и распространение ударных волн, затухание ударных волн в волны напряжения, образование трещин и механизм роста трещин в породах, загрузка газа взрывчатых веществ, движение горной породы и т. д. Это происходит динамически в течение доли секунды. В результате очень трудно уловить эти физические аспекты взрывных работ, используя одно аналитическое уравнение закрытой формы. Многие численные модели были предложены для представления фрагментации при взрыве породы. Некоторые из моделей были более успешными, чем другие, с точки зрения прогнозирования фрагментации.

При воздействии ударной волны на стенку ствола скважины сила волны намного превышает прочность пород на сжатие и таким образом повреждает и раздавливает породу на поверхности стенки ствола скважины. Поскольку ударная волна распространяется дальше от взрывной скважины 104, интенсивность ударной волны уменьшается, и ударная волна преобразуется в волны напряжения. Волна напряжения оказывает сжимающее напряжение 106 в радиальном направлении и растягивающее напряжение 108 в тангенциальном направлении. В проиллюстрированном варианте осуществления изобретения тангенциальная прочность элемента 102 породы меньше прочности на сжатие. В результате порода ломается вследствие растягивающего напряжения 108 в тангенциальном направлении и образуется радиальный разрыв 110. Взрывчатый газ высокого давления проникает в радиальный разрыв 110 и дополнительно увеличивает разрушение пород/способствует их разрушению.

Фиг. 2А иллюстрирует трехмерную модель 202 части участка взрыва. Трехмерная модель 202 включает в себя взрывную скважину на каждом углу (например, первую взрывную скважину 206, вторую взрывную скважину 208 и третью взрывную скважину 210). В то время как проиллюстрированный вариант осуществления изобретения показывает взрывные скважины на углах трехмерной модели 202, множество взрывных скважин может быть включено по всей модели участка взрыва. Взрывные скважины трехмерной модели 202 не проходят весь путь до поверхности 212 для моделирования забойки для каждой взрывной скважины.

Чтобы генерировать трехмерную модель 202, система моделирования может принимать множество входных данных. Входные данные могут быть получены из различных источников. Например, входные данные могут быть получены от одного или более из человеко-машинного интерфейса (HMI), предыдущей модели, сохраненной в системе моделирования, системы сканирования участка взрыва или значений по умолчанию, сохраненных в системе моделирования. Входные данные могут включать данные о взрывных скважинах и данные участка взрыва. Данные взрывной скважины могут включать в себя параметры взрывной скважины, такие как интервал между взрывными скважинами, нагрузка взрывной скважины, глубина взрывной скважины, диаметр взрывной скважины, расположение взрывных скважин, количество взрывных скважин, информацию о забойке, взрывные свойства, угол взрывной скважины, положение взрывной скважины, смещения рядов, сработка, нагрузка переднего ряда, верхние координаты взрывной скважины, нижние координаты взрывной скважины, информация подбуривания и загрузочная информация.

Данные участка взрыва могут включать информацию о пласте и геологические свойства участка взрыва. Неограничивающие примеры информации о пласте включают в себя угол поверхности, высоту пласта, угол наклона пласта, угол наклона шахты, расположение свободной поверхности и угол пустой породы. Неограничивающие примеры геологических свойств включают минералогию (элементарную и/или минеральную), литологическую структуру (первичную, вторичную, и/или текстуры), пористость, твердость, затухание, модуль Юнга, модуль сдвига, насыпной модуль упругости, коэффициент Пуассона, скорость продольных волн, скорость S-волн, плотность породы, тип породы, прочность породы, условия породы, описание породы, состояние отрыва, угол отрыва, ориентация отрыва, стандартное отклонение интервала между отрывами, сцепление, интервал между вертикальными отрывами, интервал между горизонтальными отрывами, неограниченная прочность на сжатие (UCS), звуковая скорость, стандартное отклонение бурения, ударная скорость, трещиностойкость породы, отражательная способность породы, прочность породы на растяжение, угол внутреннего трения, данные Гюгониота (например, $U_p \min$, $U_p \max$, $U_s \min$, $U_s \max$), и напряжения грунта (σ_1 , σ_2 , σ_3 , ориентация напряжения, DIP, наклон и ротация). "Текстура" относится к размеру, форме и расположению взаимосвязанных минеральных кристаллов, которые образуют породу или другой материал. Геологические свойства могут быть использованы для определения дополнительных геологических характеристик, таких как истираемость и раздробленность.

Фиг. 2В иллюстрирует трехмерную модель 202, сегментированную на множество элементов объема (например, элемент 204). Трехмерная модель 202 может быть сегментирована на столь большое или малое количество элементов, сколько потребуется. Большое количество элементов может обеспечить луч-

шее разрешение для симуляции, в то время как меньшее количество элементов может использовать меньше вычислительных ресурсов.

Система моделирования может отслеживать трещины от симулированного взрыва внутри каждого элемента. Полученный в результате FDM может прогнозировать интенсивность трещиноватости внутри каждого элемента. Интенсивность трещиноватости относится к количеству трещин в пределах заданной области (например, элемента). Трещины могут быть либо естественными отрывами, либо трещинами, вызванными ударной волной от взрыва. Интенсивность трещиноватости также можно называть частотностью трещин. Отслеживая интенсивность трещиноватости каждого элемента, система моделирования может прогнозировать размер фрагмента.

Фиг. 3А иллюстрирует вид в плане сверху трехмерной модели 202 перед любыми симулированными взрывами. Как проиллюстрировано, трехмерная модель 202 включает в себя первую взрывную скважину 206, вторую взрывную скважину 208, третью взрывную скважину 210 и четвертую взрывную скважину 302. Кроме того, трехмерная модель 202 включает в себя естественные группы 304 отрывов в породе. Группы 304 естественных отрывов являются уже существующими трещинами отрывов, которые являются частью геологических свойств породы. В некоторых вариантах осуществления изобретения группы 304 естественных отрывов могут проходить равномерно вниз по глубине трехмерной модели 202, в то время как в других вариантах группы 304 естественных отрывов могут изменять местоположение и ориентацию по всей трехмерной модели 202. Например, разные слои породы могут быть смоделированы с разной группой естественных отрывов.

Фиг. 3В иллюстрирует вид в плане сверху трехмерной модели 202 после симулированных взрывов из первой взрывной скважины 206 и второй взрывной скважины 208. Как показано, взрывы приводят к трещинам (т.е. взрывным трещинам 306), которые проходят от взрывных скважин.

Система моделирования с использованием FDM прогнозирует размер фрагментов породы на основе взаимодействия трещин между разрывами из групп 304 естественных отрывов, присутствующих в породе и вызванных взрывом трещин (т.е. взрывных трещин 306) из взрывных скважин. Разрывы из взрывных скважин взаимодействуют друг с другом и с группами 304 естественных отрывов в породе. Эти взаимодействия могут быть использованы системой моделирования для определения эквивалентной интенсивности трещин.

Как показано, области вблизи взрывных трещин 306 поражают геологическое строение, вызывая множество трещин в пределах этой области. Взрывные трещины 306 распространяются и становятся менее плотными, чем дальше они простираются от взрывных скважин. В области между взрывными скважинами взаимодействия трещин между группами 304 естественных отрывов и взрывными трещинами 306 оказывают большее влияние на фрагментацию породы. В этих областях система моделирования может учитывать суммарный эффект естественной фрагментации и послевзрывной фрагментации и даже перекрывающейся фрагментации из соседних взрывных скважин.

В некоторых вариантах осуществления изобретения система моделирования может учитывать трещины от предыдущих взрывов при определении интенсивности трещиноватости. Например, при взрывании пластов после взрыва ряда взрывных скважин создается новая свободная поверхность. В то время как ряд взрывных скважин теперь не существует, система моделирования может хранить трещины, вызванные взрывом, которые находятся в пределах новой свободной поверхности. Предыдущие взрывные трещины могут быть добавлены к естественно возникшим фрагментам и фрагментам следующего взрыва.

Интенсивность возникающих взрывных трещин может быть спрогнозирована эмпирическим уравнением, которое учитывает физические аспекты проблемы, такие как: i) взрывные свойства, ii) свойства породы, iii) геометрия взрыва и iv) время взрыва. Одним из преимуществ концепции интенсивности трещиноватости является то, что интенсивности (определяемые как трещины на единицу длины) могут складываться, если сходными являются их углы к свободной поверхности. Такое сложение может иметь силу независимо от источника эквивалентной трещины.

В некоторых вариантах осуществления изобретения интенсивность вызванной взрывом трещиноватости может быть следующей:

$$fracture\ intensity = \frac{k}{r^3} \quad (УРАВНЕНИЕ\ 1)$$

где

k - параметр калибровки конкретного участка, который может быть основан на i) взрывных свойствах ii) свойствах породы и iii) геометрии взрыва;

r - расстояние от скважины в футах.

Как показано, интенсивность трещиноватости быстро снижается в зависимости от расстояния от взрывной скважины. Например, на расстоянии одного фута от скважины частотность трещин может составлять 4000 трещин на фут. Находясь на высоте 16 футов, частотность трещин может быть уменьшена до одной трещины на фут.

В некоторых вариантах осуществления изобретения интенсивность трещиноватости, вызванной взрывом, может быть рассчитана с использованием следующего уравнения:

$$F = K * F1 * F2 * F3$$

(УРАВНЕНИЕ 2)

где

F1 соответствует породе и взрывным свойствам, F2 дает форму кривой распределения частиц по размеру (например, геометрический член для цилиндрического заряда), а F3 создает эффект интенсивности, основанный на расстоянии элемента от заряда;

K - параметр калибровки конкретного участка. Параметр K может зависеть от свойств трещиноватости породы конкретного участка. Функции в уравнении (2) показаны ниже в подробных уравнениях:

$$F1 = \left(\frac{\frac{\sigma_c^2}{2E}}{PF * EE} \right)^\delta \quad (\text{УРАВНЕНИЕ 3})$$

$$F2 = \left[\frac{R_0}{R} \left(\tan^{-1} \frac{HMX}{R} + \tan^{-1} \frac{XMS}{R} \right) \right]^\alpha \quad (\text{УРАВНЕНИЕ 4})$$

$$F3 = \left(\frac{BR}{R_0} \right)^\gamma \quad (\text{УРАВНЕНИЕ 5})$$

где

где F1, числитель - прочность породы, описываемая плотностью энергии деформации, а знаменатель - доступная энергия взрывчатых веществ;

R₀ соответствует радиусу скважины;

R - радиальное ортогональное расстояние элемента от скважины;

BR - расстояние элемента от взрывной скважины. (BR отличается от R в зоне забойки);

HMX и XMS представляют собой функции расстояния, оцененные для различной ориентации взрывной скважины с использованием векторных уравнений расстояния; и HMX - это расстояние от нижней части заряда до центра элемента (измеренное вдоль направления взрывной скважины). XMS - расстояние от верха заряда до центра элемента (измеренное вдоль направления взрывной скважины).

Показатели α, γ и δ калибруют с использованием тестовых взрывов пласта.

PF - порошковый фактор.

EE - энергия взрывчатых веществ.

Как можно видеть из уравнений 1-5, эти функции являются безразмерными, что может позволить вариантам осуществления более гибко использовать различные системы единиц, такие как: SI, CGS и т.д. Функции арктангенса F2 могут создавать желаемую форму распределения размера фрагмента.

Для калибровки уравнений и нахождения наилучшего набора параметров (K, α, γ, δ) может быть вычислена среднеквадратическая погрешность (RMSE) между экспериментальным и численным наборами данных. В некоторых вариантах осуществления изобретения может быть проведено множество итераций оптимизации для минимизации ошибки RMSE и нахождения наилучшего набора параметров для представления взрыва. В некоторых вариантах осуществления изобретения система FDM может адаптировать модель плотности трещиноватости к взрывному участку с использованием RMSE. Например, исследование RMSE участка может быть выполнено путем многократного выполнения моделей плотности трещиноватости множество раз (например, 1000 симуляций) при постепенном изменении подгоночных параметров FDM (например, K, α, γ, δ). Для исследования RMSE система может сравнивать результаты FDM с фактическими результатами взрыва на конкретном участке. Система может попытаться оптимизировать параметры FDM (K, α, γ, δ) для соответствия фактическим данным взрыва путем выполнения тысяч итераций RMSE. Используя симуляции, система может получать оптимизированные подгоночные параметры RMSE для FDM (для этого конкретного участка). Результатом исследования RMSE могут быть настроенные подгоночные параметры, которые могут точно предсказать фрагментацию, вызванную будущими взрывными работами.

Интенсивности трещиноватости от взрывных трещин 306 и групп 304 естественных отрывов могут быть объединены для определения общей интенсивности трещиноватости для каждого из элементов, составляющих трехмерную модель 202. Например, для каждого элемента трехмерной модели 202 система моделирования может складывать взрывные трещины 306 и группы 304 естественных отрывов, расположенные в элементе, для определения общей интенсивности трещиноватости для каждого элемента.

В некоторых вариантах осуществления изобретения взаимодействие между трещинами может быть объединено с использованием комбинированного правила для FDM. Система моделирования может предсказывать интенсивность трещиноватости в элементе объема с использованием уравнения (2), а затем объединять результат с предыдущими интенсивностями трещиноватости с использованием следующего уравнения 6.

$$I_r = (I_e + I_n) \cdot \cos^2(A_e - A_n) + \max(I_e, C \cdot I_n) \cdot \sin^2(A_e - A_n)$$

(УРАВНЕНИЕ 6)

где

I_r - результирующая интенсивность трещиноватости в элементе объема. I_e и A_e - существующая интенсивность трещиноватости и угол трещиноватости соответственно. Сходным образом, I_n и A_n соответ-

ствуют новой интенсивности трещиноватости и углу трещиноватости. С - "коэффициент пересечения разломов", который по существу является фактором снижения интенсивности трещиноватости для ортогональных интенсивностей трещиноватости.

Как правило, параллельные трещины могут суммироваться и увеличивать интенсивность. С другой стороны, ортогональные трещины имеют тенденцию уменьшать интенсивность трещиноватости в элементе объема. Угол трещины с более высокой интенсивностью может считаться доминирующим и сохраняться для следующей итерации. Определение угла трещины обсуждается со ссылкой на фиг. 7А и фиг. 7В.

Используя общую интенсивность трещиноватости, система моделирования может определять размер фрагментации. В некоторых вариантах осуществления изобретения размер фрагмента для каждого элемента может быть определен путем вычисления:

$$\text{Fragment Size} = 1/F \quad (\text{УРАВНЕНИЕ 7})$$

где F - общая интенсивность трещиноватости.

На фиг. 4 проиллюстрированы уравнения 404 векторной механики, которые могут использоваться системой FDM для расчета функций расстояния и детектирования положений заряда по отношению к элементу породы в взрыве. Уравнения 404 векторной механики используют угол между взрывной скважиной 410 и элементом 402 породы в основании 406 скважины, и угол между взрывной скважиной 410 и элементом 402 породы в верхней части 408 скважины. Уравнения 404 векторной механики в проиллюстрированных вариантах осуществления изобретения являются следующими:

$$N \cdot \vec{ST} = |\vec{H}| |\vec{ST}| \cos \theta$$

где N - вектор с величиной длины и направления взрывной скважины от основания скважины до вершины скважины;

SB - вектор, проведенный от основания скважины до центра элемента;

ST представляет собой вектор, проведенный от центра элемента до вершины скважины.

Уравнения 404 векторной механики могут быть использованы для решения расстояний HMX 416 и XMS 418. HMX и XMS - это функции расстояния, которые могут использоваться в FDM. HMX измеряется как расстояние от основания скважины до точки 420 пересечения. XMS измеряется как расстояние от вершины 408 скважины до точки 420 пересечения. Точка 420 пересечения представляет собой место пересечения между перпендикулярной линией, проведенной от центра элемента 402 породы, и линией взрывной скважины, представленной вектором N. Система FDM может использовать N.SB и N.ST для вычисления углов β и θ . Затем система может использовать эти углы (β и θ) и направляющие косинусы для математического вычисления расстояний HMX и XMS.

В некоторых вариантах осуществления изобретения система моделирования FDM может использовать эти уравнения 404 векторной механики для точной обработки породы в различных подзонах модели. Используя скалярные произведения и направляющие косинусы, система моделирования может прогнозировать интенсивность трещиноватости на разных участках без явного определения параметров взрыва, таких как нагрузка, интервал, забойка, вспомогательное бурение и т. д.

В некоторых вариантах осуществления изобретения система моделирования FDM может иметь дело с любой ориентацией взрывной скважины и переменным параметром взрыва с использованием уравнений 404 векторной механики. Используя уравнения 404 векторной механики, система моделирования может быть способна точно предсказывать функции расстояния и местоположения заряда независимо от размера, положения или ориентации взрывной скважины. Например, уравнения 404 векторной механики могут использоваться для обработки вычислений для взрывов с наклонными взрывными скважинами и переменными длинами/положениями заряда.

Фиг. 5 иллюстрирует вид в плане сверху модели 500 взрыва с призрачными скважинами для определения трещин и интенсивности трещиноватости вследствие отраженных ударных волн в каждом элементе модели взрыва в соответствии с одним вариантом осуществления изобретения. Взрывная модель 500 представляет собой модель взрыва пласта со свободной поверхностью 506. Аналогично трехмерной модели 202 с фиг. 2В, модель 500 взрыва может быть трехмерной и включать в себя множество отдельных элементов. Отраженные ударные волны 502 возникают, когда ударная волна от взрыва достигает свободной поверхности 506 и верхней поверхности. В некоторых вариантах осуществления изобретения переменная отражательная способность свободных поверхностей может быть установлена на 100%.

Призрачные скважины 504 могут быть расположены на одинаковом расстоянии от свободной поверхности 506, как ряд тестовых взрывных скважин 510. Тестовые скважины 510 представляют собой скважины, находящиеся в данное время в процессе симуляции взрыва. Тестовые скважины 510 расположены от свободной поверхности 506 на расстоянии от нагрузки 508. Соответственно в проиллюстрированном варианте призрачные скважины 504 расположены за пределами свободной поверхности 506 на расстоянии от нагрузки 508. Поскольку призрачные скважины 504 находятся за пределами свободной поверхности 506, призрачные скважины 504 расположены в свободном пространстве и не имеют непосредственного контакта с какими-либо элементами породы взрывной модели 500.

Для симуляции взрыва из тестовых взрывных скважин 510 система моделирования может иници-

ровать взрыв как из тестовых скважин 510, так и из призрачных скважин 504 одновременно. В результате одновременного инициирования и размещения призрачных скважин 504, когда ударные волны из тестовых взрывных скважин 510 достигают свободной поверхности 506, ударные волны из призрачных скважин 504 действуют как отраженные ударные волны 502 для симуляции взрыва. Таким образом, система моделирования может использовать отраженные ударные волны 502 для симуляции ударных волн из призрачных скважин 504. В некоторых вариантах осуществления изобретения система моделирования может предусматривать, что отражательная способность свободных поверхностей составляет 100%. Таким образом, ударная волна призрачных скважин 504 может быть эквивалентна по величине ударной волне из тестовых скважин 510. Другими словами, уравнения, обсуждаемые со ссылкой на фиг. 3В, могут быть использованы для расчета интенсивности трещиноватости от каждой из тестовых взрывных скважин 510 и каждой из призрачных скважин 504.

Призрачные скважины 504 могут иметь такую же форму, что и тестовые скважины 510. Например, призрачные скважины 504 могут иметь тот же диаметр и глубину, что и тестовые скважины 510. В некоторых вариантах осуществления изобретения призрачные скважины 504 могут быть смоделированы для излучения ударной волны длиной заряда тестовых скважин 510. В других вариантах призрачные скважины 504 могут быть смоделированы для излучения ударной волны длиной заряда и забойки тестовых скважин 510.

В некоторых вариантах осуществления изобретения дополнительные призрачные скважины могут быть использованы для моделирования отражения от верхней поверхности модели взрыва, например, призрачные скважины могут быть размещены на расстоянии от верхней поверхности, равном длине области забойки. Эти призрачные скважины могут быть названы призрачными скважинами забойки и могут генерировать отраженные ударные волны в области забойки. Эти призрачные скважины симулируют отражение ударных волн на верхней поверхности взрывов.

В некоторых вариантах осуществления изобретения тестовые скважины 510 могут быть расположены на основе фактических данных сканирования или GPS уже пробуренного взрывного участка. В некоторых вариантах тестовые взрывные скважины 510 могут быть основаны на ранее взорванном участке и учитывать взрывные скважины, которые были перегружены, недозаряжены, не смогли сдетонировать должным образом, были частично заполнены водой или иным образом имели нештатные детонации. Эти данные могут быть введены в модель для прогнозирования фрагментации после взрыва.

Отраженные ударные волны 502, которые генерируются в призрачных скважинах 504, могут иметь другой угол, чем ударные волны из тестовых скважин 510. Например, в одном варианте осуществления изобретения отраженные ударные волны 502 из множества призрачных скважин 504 моделируются как растягивающая волна с первым углом, а ударная волна из множества испытательных скважин 510 моделируется как сжимающая волна под вторым углом.

Призрачные скважины 504 также могут использоваться системой моделирования для создания динамических свободных поверхностей, как описано в связи с фиг. 6 (см. фиг. 6).

Фиг. 6 иллюстрирует вид сверху в плоскости взрывной модели 600 с призрачными скважинами 608 и динамической свободной поверхностью 604. Взрывная модель 600 содержит множество рядов взрывных скважин (т.е. ряд R5 612 и ряд R6 610). Взрывные скважины в ряду R5 612 ранее были взорваны. Перед взрывом взрывных скважин ряда R5 612 динамическая свободная поверхность 604 находилась перед рядом R5 612, чтобы включить ряд R5 612 в пласт. Система моделирования переместила динамическую свободную поверхность 604 к заднему ряду R5 612, представляющему элементы породы, отломанные от пласта во время взрыва ряда R5 612. Перемещение динамической свободной поверхности 604 позволяет системе моделирования более точно определять эффекты отраженных ударных волн. В этом примере t_0 - время зажигания, а R_i - зажженные ряды ($i=1, 2, \dots, n$).

По мере зажигания каждого ряда во время симуляции, система моделирования динамически перемещает динамическую свободную поверхность 604. Перемещение динамической свободной поверхности 604 может помочь избежать ремеша и включить эффекты обратного разрыва в модель 600 взрыва. Когда ряд зажигается, возникает сработка 606 и новая свободная поверхность, как показано динамической свободной поверхностью 604. Динамическая свободная поверхность 604 будет перемещаться по мере того, как со временем зажигаются дополнительные ряды.

Сработка 606 представляет собой расстояние между ранее зажженным рядом и новым местоположением динамической свободной поверхности 604. Всякий раз, когда зажигается ряд, элементы породы, расположенные в линию с рядом и между рядом и предыдущей свободной поверхностью, смещаются. Кроме того, в некоторых вариантах осуществления изобретения некоторые элементы породы позади ряда (например, породы, расположенные дальше от предыдущей свободной поверхности, чем взорванный ряд) также смещаются. Например, расстояние между рядом R5 612 и динамической свободной поверхностью 604 является сработкой 606. В некоторых вариантах осуществления изобретения сработка 606 может составлять одну треть нагрузки. В некоторых вариантах осуществления изобретения динамическая свободная поверхность 604 может быть изменена таким образом, что нагрузка множества взрывных скважин изменится на различных высотах оси Y модели.

Сработка 606 изменяет нагрузку для следующего ряда, подлежащего зажиганию. Эффективная на-

грузка 602 представляет собой интервал между рядами минус сработка 606. Эффективная нагрузка 602 используется для определения размещения призрачных скважин 608. Призрачные скважины 608 расположены на расстоянии, эквивалентном эффективной нагрузке 602, от динамической свободной поверхности 604. Другими словами, расстояние 618 между рядом R6 610 и динамической свободной поверхностью 604 равно расстоянию 620 между динамической свободной поверхностью 604 и призрачными скважинами 608. Призрачные скважины 608 расположены на противоположной стороне динамической свободной поверхности 604 относительно ряда R6 610.

Призрачные скважины 608 инициируют ударные волны одновременно с ударными волнами от взрывных скважин R6 610. Ударные волны от призрачных скважин 608 достигают динамической свободной поверхности 604 в то же время, что и ударные волны от взрывных скважин ряда R6 610, и симулируют ударные волны, отраженные от динамической свободной поверхности 604. Соответственно, призрачные скважины 608 следуют тому же времени, что и ряд R6 610. То есть, всякий раз, когда одна из взрывных скважин в ряду R6 610 загорается, загорается соответствующая призрачная скважина. Например, когда первая взрывная скважина 614 загорается на 200 миллисекунд (мс) и испускается волна, одновременно ударная волна испускается из первой призрачной скважины 616. Аналогично, в проиллюстрированном варианте осуществления изобретения оставшиеся пары взрывных скважин и призрачных скважин загораются на 225 мс, 250 мс, 275 мс и 300 мс.

Динамическая свободная поверхность 604 может быть создана для любой схемы взрывания или временной последовательности. Кроме того, используя динамическую свободную поверхность 604, система моделирования может избежать ремеша при симуляции большой проблемы с множеством рядов и скважин.

Фиг. 7А и 7В иллюстрируют, как система моделирования может определять углы трещин. Углы трещин определяются как угол фактических ударных волн и отраженных ударных волн. Фиг. 7А иллюстрирует вид сверху в плоскости взрывной модели 702 и углы трещин из первой взрывной скважины 704. Угол ударной волны от первой взрывной скважины 704 может быть определен системой моделирования путем нахождения углов между свободной поверхностью 708 и направлением падающей ударной волны. Более конкретно, углы для падающей ударной волны представляют собой углы между внутренней стороной свободной поверхности 708 и направлением падающей волны.

Сходным образом, фиг. 7В иллюстрирует вид сверху в плане модели 702 взрыва и углы трещины от призрачной скважины 706, соответствующей первой взрывной скважине 704. Как показано, углы отраженных ударных волн призрачной скважины 706 могут быть рассчитаны также из внутренней стороны свободной поверхности 708 и направления отраженной волны.

В некоторых вариантах осуществления изобретения углы считаются положительными. Кроме того, если положение взрывной скважины изменяется в вертикальном направлении (направление Y), система моделирования может использовать направляющие косинусы для точного определения местоположения заряда в плоскости (плоскость X-Z). Система может использовать расчет и сохранение доминирующих углов интенсивности трещиноватости. Например, параллельные трещины взаимодействовать, в то время как ортогональные трещины мешают друг другу. Система может распознавать порядок, в котором появляются трещины, и учитывает взаимодействие вновь созданных трещин с существующими трещинами в каждом элементе объема для каждой скважины, которая загорается.

Фиг. 8 иллюстрирует вид сбоку скважины 802. Как показано, взрывная скважина 802 содержит заряд 804 и заряд 806 взрывчатого вещества. В некоторых вариантах осуществления система моделирования может использовать проиллюстрированные контуры 808 интенсивности трещиноватости эллиптической формы с двойной функцией ArcTan для определения размеров фрагментов для каждого элемента трехмерной модели и получения распределения размеров фрагментации. Контуры 808 интенсивности трещиноватости могут быть центрированы вокруг взрывного заряда 806.

В некоторых вариантах осуществления изобретения система моделирования FDM может интегрировать FDM с несколькими геологическими слоями и несколькими пластами. Геологические слои и множество пластов могут быть входными данными для системы моделирования FDM.

Фиг. 9А иллюстрирует трехмерную модель, которая включает свойства типа породы для более точного прогнозирования интенсивности трещиноватости. Каждый слой породы (также называемый геологическим слоем) может быть связан со свойствами породы, включая плотность, трещиностойкость и модуль. Эти свойства породы могут влиять на то, как образуются трещины в элементах в каждом слое породы. Например, менее плотная порода может позволить трещине распространяться дальше, чем более плотная порода.

Входные данные для системы моделирования FDM, представляющие геологические слои в шпуре или схему взрывания, могут быть применены к анализу FDM. Геологические слои могут быть слоями с различными геологическими свойствами (например, тип породы, пористость, твердость и т.д.) Система моделирования FDM может использовать геологические свойства для корректировки того, как образуются трещины в породах, на основе геологических свойств, так что трещины в различных геологических слоях могут появляться по-разному. Например, взрывные трещины в каждом из множества элементов объема зависят от того, в каком из геологических слоев расположено множество элементов объема.

Неограничивающие примеры геологических свойств включают минералогию (элементарную и/или минеральную), литологическую структуру (первичную, вторичную и/или текстуру), пористость, твердость, прочность породы и плотность. "Текстура" относится к размеру, форме и расположению взаимосвязанных минеральных кристаллов, которые образуют породу или другой материал. Геологические свойства могут быть использованы для определения дополнительных геологических характеристик, таких как истираемость и раздробленность. Геологические свойства могут быть определены прямо или косвенно из таких источников, как сейсмические данные, данные бурения, буровой шлам, образцы керна или их комбинации. Например, буровой шлам и/или образцы керна могут быть проанализированы с использованием рентгеновской или гамма-флуоресценции, сканирующей электронной микроскопии и других методов спектроскопии и/или микроскопии. Геологические данные могут включать информацию на инкрементной основе, например, в пересчете на фут.

В некоторых вариантах осуществления изобретения геологические свойства геологических слоев могут быть получены из данных бурения. Данные бурения могут быть получены датчиками на бурильной машине с использованием искусственного интеллекта. Данные бурения могут включать в себя такую информацию, как размер буровой головки, скорость вращения буровой головки, крутящий момент буровой головки, скорость проходки, вибрация головки, давление опускания, давление воздуха для деформации, местоположение скважины, номер скважины, а также длина или глубина скважины. Данные бурения могут коррелировать с геологическими свойствами по всей длине взрывной скважины. Таким образом, данные бурения могут быть использованы для создания значений твердости вдоль длины взрывной скважины (т.е. профиля твердости).

Фиг. 9В иллюстрирует поперечное сечение вертикальной взрывной скважины 910 с множеством пластов. Пласты могут быть сегментами с различной энергией взрыва. Например, каждый сегмент может иметь различную плотность эмульсии или плотность энергии ANFO. Вертикальная взрывная скважина 910 может быть заполнена взрывчатым изделием 61 (например, сенсibilизированным продуктом), содержащим первое взрывчатое изделие 61a, доставляемое с первой энергией А взрыва, второе взрывчатое изделие 61b, доставляемое со второй энергией В взрыва, третье взрывчатое изделие 61c, доставляемое с третьей энергией С взрыва, и четвертое взрывчатое изделие 61d, доставляемое с четвертой энергией D. Следует понимать, что взрывчатое изделие 61 может также содержать дополнительные сегменты, доставляемые с другой энергией взрыва. Энергия взрыва в каждом пласте может быть задана в соответствии с твердостью породы в этом слое. Твердость слоя породы может быть в любом случайном порядке с глубиной. Таким образом, пластовая энергия взрыва может быть распределена в любом порядке внутри взрывной скважины. Энергия взрыва может быть заполнена в порядке, который пытается привести геологические свойства в соответствии с соседним взрывчатым изделием с энергией взрыва, соответствующей геологическим свойствам.

Фиг. 9В иллюстрирует относительное распределение энергии взрыва вдоль взрывной скважины 910 с гистограммой E по обе стороны от взрывной скважины 910. Несмотря на то, что взрывчатое изделие 61 проиллюстрировано с четырьмя различными подаваемыми плотностями, относительное распределение энергии взрыва в некоторых вариантах осуществления изобретения может постепенно изменяться от верхней части взрывчатого изделия 61 к нижней части взрывчатого изделия 61. В некоторых вариантах осуществления распределение энергии взрыва внутри каждого пласта может оставаться постоянным или почти постоянным, и каждый пласт может включать энергию взрыва, выбранную на основе геологических свойств внутри этого пласта.

Система моделирования FDM может использовать взрывное наслоение в качестве входных данных для подготовки моделей трещиноватости. Взрывное наслоение может представлять собой наслоение плотностей эмульсии или наслоение энергии взрыва взрывчатого изделия (например, ANFO).

В некоторых вариантах осуществления изобретения система моделирования FDM может использовать как взрывное наслоение, так и геологические слои при подготовке моделей трещиноватости. В некоторых моделях геологические слои и слои энергии взрыва могут совпадать. В других моделях геологические слои и слои энергии взрыва не совпадают.

Фиг. 10 иллюстрирует симуляцию модели 1000 шахтного забоя с использованием FDM. Как показано в проиллюстрированном примере, система моделирования может симулировать угловые взрывные скважины с различными длинами заряда с использованием FDM. Как можно видеть, физические параметры, такие как длина заряда, забойка и интервал, могут изменяться в разных подзонах модели.

Для определения размера фрагментации и интенсивности фрагментации система моделирования может генерировать параметры взрыва путем считывания верхней и нижней координат заряда и вычисления других параметров с использованием уравнений векторного расстояния, как описано со ссылкой на фиг. 4. Затем интенсивность трещиноватости может быть рассчитана, как здесь описано.

Фиг. 10 также иллюстрирует график 1002 распределения размеров фрагментов. Рядом с взрывными скважинами взрыв производит очень малоразмерные частицы породы. График 1002 распределения размеров фрагментов показывает фрагментацию в различных подзонах модели. Более крупные частицы могут быть показаны с градиентом. График 1002 распределения размеров фрагментов может быть использован для проверки модели и для добавления большей точности для двумерного графика распределения

частиц по размеру.

Фиг. 11 иллюстрирует блок-схему способа прогнозирования размера фрагментации породы в результате взрыва. В системе моделирования с использованием способа 1100 будет использоваться модель участка взрыва. Модель участка взрыва может включать данные взрывной скважины и данные участка взрыва. Данные взрывной скважины могут включать в себя параметры взрывной скважины, такие как интервал между взрывными скважинами, нагрузка взрывной скважины, глубина взрывной скважины, диаметр взрывной скважины, расположение взрывных скважин, количество взрывных скважин, информацию о забойке, взрывные свойства, угол взрывной скважины, положение взрывной скважины, смещения рядов, сработка, нагрузка переднего ряда, верхние координаты взрывной скважины, нижние координаты взрывной скважины, информация подбуривания и загрузочная информация. В некоторых вариантах осуществления способ 1100 может включать выбор типа используемого взрывчатого вещества, выбор длины заряда и размещение заряда во множестве взрывных скважин.

Данные участка взрыва могут включать информацию о пласте и геологические свойства участка взрыва. Неограничивающие примеры информации о пласте включают в себя угол поверхности, высоту пласта, угол наклона пласта, угол наклона шахты, расположение свободной поверхности и угол пустой породы. Неограничивающие примеры геологических свойств включают минералогию (элементарную и/или минеральную), литологическую структуру (первичную, вторичную, и/или текстуры), пористость, твердость, затухание, модуль Юнга, модуль сдвига, насыпной модуль упругости, коэффициент Пуассона, скорость продольных волн, скорость S-волн, плотность породы, тип породы, прочность породы, условия породы, описание породы, состояние отрыва, угол отрыва, ориентация отрыва, стандартное отклонение интервала между отрывами, сцепление, интервал между вертикальными отрывами, интервал между горизонтальными отрывами, неограниченная прочность на сжатие (UCS), звуковая скорость, стандартное отклонение бурения, ударная скорость, трещиностойкость породы, отражательная способность породы, прочность породы на растяжение, угол внутреннего трения, данные Гюгониота (например, $U_p \min$, $U_p \max$, $U_s \min$, $U_s \max$), и напряжения грунта (σ_1 , σ_2 , σ_3 , ориентация напряжения, DIP, наклон и ротация). "Текстура" относится к размеру, форме и расположению взаимосвязанных минеральных кристаллов, которые образуют породу или другой материал. Геологические свойства могут быть использованы для определения дополнительных геологических характеристик, таких как истираемость и раздробленность.

Система моделирования может сегментировать модель 1102 участка взрыва на множество элементов объема. Система моделирования может отслеживать интенсивности трещиноватости в каждом элементе объема на протяжении симулируемого взрыва. Например, система моделирования может определять 1104 ранее существовавшие трещины отрыва во множестве элементов объема. Система моделирования может симулировать 1106 взрывы из каждой из множества взрывных скважин и определять 1108 трещины от взрывов (взрывные трещины) во множестве элементов объема. Взрывы могут быть одновременными или последовательными. Для последовательных после каждого взрыва система моделирования может регистрировать интенсивность трещиноватости, созданной взрывом.

В некоторых вариантах осуществления система моделирования может симулировать 1110 отражение ударной волны на свободной поверхности модели путем симуляции взрывов на множестве призрачных скважин за пределами свободной поверхности для определения отражающих трещин во множестве элементов объема. Система моделирования может объединять 1112 ранее существовавшие трещины отрыва, взрывные трещины и отражающие трещины для определения общей интенсивности трещиноватости во множестве элементов объема. Система моделирования может преобразовывать общую интенсивность трещиноватости, связанную с каждым элементом объема, для определения размера фрагментации для каждого элемента объема и обеспечивать 1114 прогнозируемое распределение размера фрагментации для модели на основе общей интенсивности трещиноватости во множестве элементов объема.

В некоторых вариантах система моделирования может использовать динамическую свободную поверхность. Система моделирования может перемещать динамическую свободную поверхность после того, как взорван ряд. Например, система может перемещать свободную поверхность после взрыва первого ряда в положение позади первого ряда для учета сработки. В некоторых вариантах осуществления изобретения свободная поверхность может перемещаться за первый ряд на одну треть нагрузки. Новое местоположение динамической свободной поверхности затем может быть использовано для взрыва следующего ряда. Движущаяся свободная поверхность может привести к разнице в размещении призрачных скважин. Например, в некоторых вариантах осуществления изобретения призрачные скважины расположены на расстоянии от свободной поверхности, равном расстоянию между взрывными скважинами и свободной поверхностью. Таким образом, призрачные скважины можно считать зеркальными взрывными скважинами, где взрывные скважины находятся на первой стороне свободной поверхности, а призрачные скважины находятся на второй стороне свободной поверхности.

Способ 1100 может быть использован до бурения взрывных скважин, после бурения взрывных скважин или после того, как произошел взрыв. Например, способ 1100 может быть использован для планирования взрыва, который еще не был выполнен, или он может быть использован для оценки размеров фрагментации взрыва, который уже был выполнен. Например, после завершения взрыва, но до того, как оборудование начало удалять грязь, система может запустить симуляцию на основе сведений о том, как

на самом деле произошел взрыв. Таким образом, отверстия, которые были перезаряжены, недозаряжены, не детонировали должным образом, частично заполнены водой и т.д., могут быть введены в симуляцию, и инженер шахты получит обновленный прогноз того, какая фрагментация была вызвана взрывом. В некоторых вариантах осуществления изобретения система может также предсказывать выброс от взрыва и предсказывать области размера фрагментации в отбитой породе. В некоторых вариантах осуществления изобретения предсказание размера отбитой породы и осколков может быть использовано для расчета стоимости и времени удаления материала с взрывного участка, а также времени и затрат, связанных с измельчением руды.

Фиг. 12 представляет собой блок-схему системы 1200 моделирования FDM в соответствии с одним вариантом осуществления изобретения. Система 1200 моделирования FDM может выполнять способы и использовать технологии, описанные со ссылкой на другие фигуры в материалах заявки. Система 1200 моделирования FDM может включать в себя память 1203, один или более процессоров 1204, сетевой интерфейс 1206, интерфейс 1208 ввода/вывода и системную шину 1209.

Один или более процессоров 1204 могут включать в себя одно или более устройств общего назначения, таких как Intel®, AMD® или другой стандартный микропроцессор. Один или более процессоров 1204 могут включать в себя устройство обработки специального назначения, такое как ASIC, SoC, SiP, FPGA, PAL, PLA, FPLA, PLD или другое настраиваемое или программируемое устройство. Один или более процессоров 1204 могут выполнять распределенную (например, параллельную) обработку, чтобы выполнять или иным образом реализовывать функциональные возможности раскрытых здесь вариантов осуществления изобретения. Один или более процессоров 1204 могут запускать стандартную операционную систему и выполнять стандартные функции операционной системы. Предусмотрено, что могут использоваться любые стандартные операционные системы, такие как, например, операционные системы Microsoft® Windows®, Apple® MacOS®, Disk Operating System (DOS), UNIX, IRJX, Solaris, SunOS, FreeBSD, Linux®, f/iM ® OS/2® и так далее.

Память 1203 может включать в себя статическую RAM, динамическую RAM, флэш-память, один или более триггеров, ROM, CD-ROM, диск, ленту, магнитный, оптический или другой компьютерный носитель данных. Память 1203 может включать в себя множество программных модулей 1210 и программных данных 1220. Память 1203 может быть локальной для системы 1200 моделирования FDM, как показано, или может быть распределенной и/или удаленной относительно системы 1200 моделирования FDM.

Данные, сгенерированные или используемые системой 1200 моделирования FDM, например программными модулями 1210 или другими модулями, могут храниться в памяти 1203, например, как сохраненные программные данные 1220. Данные 1220 могут быть организованы как одна или более баз данных.

Данные 1220 могут включать в себя данные модели взрывного участка 1222, интенсивности 1224 трещиноватости и контакт, размер 1226 фрагмента. Данные 1222 модели участка взрыва могут вводиться пользователем через интерфейс 1208 ввода/вывода или приниматься из других источников, таких как бурильная машина с использованием искусственного интеллекта и компьютерная система проектирования взрыва. В некоторых вариантах осуществления изобретения данные 1222 модели участка взрыва могут включать в себя данные взрывной скважины, информацию пласта, информацию о взрывчатом веществе, информацию о естественном отрыве и входные данные геологии. В некоторых вариантах осуществления система 1200 моделирования FDM может быть соединена с бурильной машиной с использованием искусственного интеллекта, содержащей датчики для получения свойств породы для последующего моделирования фрагментации. Геологические свойства объемных элементов могут быть основаны на данных бурильной машины с использованием искусственного интеллекта. Геологические свойства могут влиять на то, как фрагментируется каждый элемент объема. В некоторых вариантах осуществления система 1200 моделирования FDM может быть связана с компьютерной системой проектирования взрыва для создания расположения зарядов для последующего моделирования фрагментации. В некоторых вариантах осуществления система 1200 моделирования FDM может считывать взрывные свойства из каждой скважины с использованием данных анализа отдельных взрывных скважин. Интенсивности 1224 трещиноватости могут включать трещины для каждого из множества элементов объема модели участка взрыва. В некоторых вариантах осуществления изобретения интенсивности 1224 трещиноватости хранятся в группах для каждого элемента объема, причем каждая группа содержит естественную интенсивность отрыва, интенсивность трещиноватости от каждого симулированного взрыва взрывной скважины и интенсивность трещиноватости от отраженных ударных волн от каждого симулированного взрыва взрывной скважины. Данные размера фрагмента 1226 могут записывать размер фрагмента, связанный с каждым элементом объема, на основе интенсивностей 1224 трещиноватости.

Программные модули 1210 могут включать в себя все или части других элементов системы 1200 моделирования FDM. Программные модули 1210 могут выполнять множество операций одновременно или параллельно посредством или на одном или более процессорах 1204. В некоторых вариантах осуществления изобретения, части раскрытых модулей, компонентов и/или средств реализованы в виде испол-

няемых инструкций, реализованных в аппаратных средствах или встроенном программном обеспечении, или хранятся на энергонезависимом машиночитаемом носителе данных. Исполняемые инструкции могут содержать компьютерный программный код, который при выполнении процессором и/или вычислительным устройством побуждает вычислительную систему реализовывать определенные этапы обработки, процедуры и/или операции, как здесь описано. Раскрыты здесь модули, компоненты и/или средства могут быть осуществлены и/или реализованы в виде драйвера, библиотеки, интерфейса, API, данных конфигурации FPGA, встроенного программного обеспечения (например, сохраненного в EEPROM) и/или тому подобного. В некоторых вариантах осуществления изобретения части раскрытых здесь модулей, компонентов и/или средств, реализованы в виде компонентов машины, таких как общие и/или специализированные устройства, включая, но не ограничиваясь этим: схемы, интегральные схемы, компоненты обработки, компоненты интерфейса, аппаратный контроллер(ы), контроллер(ы) хранения, программируемое аппаратное обеспечение, ПЛИС, ASIC и/или тому подобное. Соответственно, раскрытые здесь модули могут называться контроллерами, уровнями, службами, двигателями, средствами, драйверами, схемами, подсистемами и/или тому подобным.

Модули 1210 могут содержать симулятор 1212 трещин, калькулятор 1214 комбинации трещины и преобразователь 1216 размера фрагментации. Симулятор 1212 трещиноватости может симулировать взрывы из каждой взрывной скважины и отраженные ударные волны из множества связанных призрачных скважин. Симулятор трещиноватости может также отслеживать интенсивности 1224 трещиноватости по симулированным взрывам. Калькулятор 1214 комбинации трещин может комбинировать интенсивности трещиноватости. Преобразователь 1216 размера фрагментации может преобразовывать общую интенсивность трещиноватости каждого элемента объема в размер 1226 фрагмента. В некоторых вариантах осуществления изобретения модули 1210 системы 1200 моделирования FDM могут быть использованы для выполнения детального анализа взрыва. Детальный анализ взрыва может включать в себя: двухмерный PSD график, трехмерный PSD, и предсказывать местоположение больших валунов. В некоторых вариантах осуществления изобретения модули 1210 системы 1200 моделирования FDM могут быть использованы для оптимизации проекта взрыва/расположения зарядов (например, нагрузка, интервальные коэффициенты, диаметр скважины, энергия взрыва и т.д.) для получения требуемого профиля фрагментации. Например, система 1200 моделирования FDM может принимать входные данные, характеризующие желаемый размер фрагментации, и выполнять множество различных симуляций с использованием множества проектов взрыва, чтобы определить окончательный проект взрыва (например, нагрузку между рядами, интервал между скважинами, диаметр скважины, энергию взрыва и т. д.), результатом которого является желаемый размер фрагментации. Окончательный проект взрыва может быть выведен на графический пользовательский интерфейс (GUI). В некоторых вариантах осуществления изобретения финальный проект взрыва может быть использован для управления одним или более из бурения взрывной скважины, загрузки взрывной скважины и/или определения последовательности детонации.

Интерфейс 1208 ввода/вывода может облегчать взаимодействие пользователя с одним или более устройствами ввода и/или одним или более устройствами вывода. Устройство(а) ввода может (могут) включать в себя клавиатуру, мышь, сенсорный экран, световое перо, планшет, микрофон, датчик или другое аппаратное обеспечение с сопутствующим встроенным программным обеспечением и/или программным обеспечением. Устройство(а) вывода может (могут) включать в себя монитор или другой дисплей, принтер, синтезатор речи или текста, коммутатор, сигнальную линию или другое аппаратное обеспечение с сопутствующим встроенным программным обеспечением и/или программным обеспечением. Например, в одном варианте осуществления изобретения интерфейс 1208 ввода/вывода содержит дисплей для предоставления графического пользовательского интерфейса (GUI), иллюстрирующего потенциальные периметры абляции. Интерфейс 1208 ввода/вывода может принимать входные пользовательские данные 1222. В некоторых вариантах осуществления изобретения интерфейс 1208 ввода/вывода представляет собой сенсорный экран, и ввод размера принимается через сенсорный экран. В некоторых вариантах осуществления интерфейса 1208 ввода/вывода может накладываться целевые периметры абляции на изображение ткани.

Сетевой интерфейс 1206 может содействовать связи с другими вычислительными устройствами и/или сетями и/или другими вычислительными и/или коммуникационными сетями. В некоторых вариантах осуществления изобретения сетевой интерфейс 1206 может осуществлять связь с одним или более из бурильной машины с использованием искусственного интеллекта, системы проектирования взрыва и машины для доставки взрывчатого вещества. Сетевой интерфейс 1206 может быть обеспечен обычными средствами сетевого подключения, такой как, например, Ethernet (IEEE 1102.3), Token Ring (IEEE 1102.5), Fiber Distributed Datalink Interface (FDDI) или Asynchronous Transfer Mode (ATM). При этом сетевой интерфейс 1206 может быть конфигурирован для поддержки различных сетевых протоколов, таких как, например, Интернет-протокол (IP), Протокол управления передачей (TCP), Сетевая файловая система по UDP/TCP, Блок серверных сообщений (SMB), Общая файловая система Интернета (CIFS) Microsoft®, Протоколы передачи гипертекста (HTTP), Файловая система прямого доступа (DAFS), Протокол передачи файлов (FTP), Протоколы подписки на публикацию в реальном времени (RTP), Протоколы взаимодействия открытых систем (OSI), Протокол передачи простой почты (SMTP), Secure Shell (SSH), Secure

Socket Layer (SSL) и так далее.

Системная шина 1209 может содействовать связи и/или взаимодействию между другими компонентами системы 1200 моделирования FDM, включая один или более процессоров 1204, память 1203, интерфейс 1208 ввода/вывода и сетевой интерфейс 1206.

Пример

Следующий пример иллюстрирует раскрытые способы. В свете этого раскрытия специалистам в данной области техники будет понятно, что вариации этих примеров и других примеров раскрытого способа будут возможны без чрезмерного экспериментирования.

Пример 1. Результаты испытаний с использованием данных Горного управления США.

Горное управление США (USBM) провело серию из 29 взрывов на экспериментальном участке Роллы в Университете Миссури и провело скрининг взорванных пород, с тем, чтобы получить график распределения размеров фрагментов (Otterness et al., 1991). Взрывы имели 3 или 4 взрывных скважины, с задержкой 1-4 мс на фут нагрузки. Другими параметрами проекта были высота пласта, нагрузка, интервал, забойка и диаметр скважины. В табл. 1 показан диапазон параметров, которые использовались в испытании USBM (все единицы указаны в дюймах). Пласты, использованные для взрывов, находились в массивной доломитовой формации, а используемые заряды были из аммиачного динамита плотностью 1,12 г/см³. FDM был создан для симуляции этих 29 взрывов пласта USBM.

Таблица 1. Диапазон физических параметров, используемых в испытании USBM 29 (Otterness et. al, 1991)

Нагрузка: от 10 до 30
Интервал: от 12,5 до 42
Высота пласта: от 17 до 89
Диаметр скважины: от 0,4375 до 1,0
Забойка: от 8 до 20

Трехмерная (3D) сетка с примерно 20 000 дискретными элементами объема была создана для представления геометрии взрыва пласта USBM. Уравнения 2-5 использовались для прогнозирования интенсивности трещиноватости на каждом элементе объема. Затем интенсивности трещиноватости преобразовывали в эквивалентный размер, присвоенный каждому элементу. Числовые элементы дискретизации использовались для отбора размеров и создания кривой распределения размера фрагмента. Для калибровки уравнений 2-5 и нахождения наилучшего набора параметров (K , α , γ , δ) может быть вычислена среднеквадратическая погрешность (RMSE) между экспериментальным и численным наборами данных. Было проведено несколько тысяч итераций оптимизации, чтобы минимизировать ошибку RMSE и, наконец, найти лучший набор параметров для представления 29 взрывов USBM.

Фиг. 13А иллюстрирует трехмерный контурный график 1302 FDM интенсивности трещиноватости трехмерной модели взрыва с множеством дискретных элементов. В частности, на фиг. 13А показан трехмерный контурный график FDM интенсивности трещиноватости для одного из 29 взрывов USBM. Как можно видеть, вблизи взрывных скважин наблюдается очень высокая интенсивность трещин. Эта высокая интенсивность соответствует очень небольшому размеру породы вблизи взрывных скважин. Дальше от скважин интенсивность ослабевает и, следовательно, размеры породы увеличиваются.

Фиг. 13В иллюстрирует двумерную кривую 1304 распределения частиц по размеру. Двумерная кривая 1304 распределения частиц по размеру хорошо согласуется с экспериментальными данными USBM. Для получения двумерной кривой 1304 распределения частиц по размеру система моделирования использовала интенсивности трещиноватости и преобразовывала их в эквивалентный размер, назначенный каждому элементу. В системе моделирования использовались числовые элементы дискретизации для отбора размеров и построения кривой распределения размера фрагмента. Двумерная кривая 1304 распределения частиц по размеру иллюстрирует процент пород, способных проходить через фильтры различных размеров.

Двумерная кривая 1304 распределения частиц по размеру включает в себя прогнозируемую кривую 1306 распределения по размеру фрагмента с использованием FDM и фактическую кривую 1308 распределения по размеру фрагмента. Как можно видеть, прогнозируемая кривая 1306 распределения размера фрагмента хорошо согласуется с фактической кривой 1308 распределения размера фрагмента.

Фиг. 14 иллюстрирует вид в плане сверху модели 1400 взрыва. В проиллюстрированном варианте осуществления трехмерная взрывная модель 1400 содержит три взрывных скважины, показанные в виде кругов (первая взрывная скважина 1402, вторая взрывная скважина 1404 и третья взрывная скважина 1406), и множество элементов породы, показанных в виде боксов с пунктирными границами (например, элемент FDM 1408). Как показано, из взрывных скважин выходят три разрыва (например, первый разрыв 1410, второй разрыв 1412 и третий разрыв 1414). Разрывы иллюстрируются зигзагообразными линиями со стрелкой на конце, представляющей направление, в котором образовался разрыв.

Время является важным параметром проектирования взрыва. Время между скважинами в ряду и

время между рядами может существенно повлиять на фрагментацию породы. В общем случае, короткое время задержки (одновременное зажигание) или очень долгое время задержки может привести к плохой фрагментации. Время задержки может быть оптимальным, результатом чего может быть лучшая фрагментация для взрыва. В FDM система может обрабатывать эффект времени задержки, как описано ниже.

Время появления разрыва от различных взрывных скважин на интересующем элементе (например, FDM-элементу 1408) может быть вычислено с использованием уравнения 8. Затем, используя комбинированное правило, частоты трещин могут быть объединены в последовательности, в которой они появились на интересующем элементе. Это дает результирующую частотность трещин и данные о фрагментации для каждого представляющего интерес элемента. В уравнении 8 представляет собой время зажигания скважины (NH), которое известно по времени задержки среди скважин в ряду и по времени задержки среди рядов. $t_0(NH)$

$$\text{Время (появление разрыва)} = \frac{\text{Расстояние от скважины до центра элемента (BR)}}{\text{Скорость разрыва (V_c)}} + t_0(NH)$$

(УРАВНЕНИЕ 8)

Как показано на фиг. 14, разломы достигают интересующего элемента из взрывных скважин (NH=1, NH=2 и NH=3), проходя расстояния BR1, BR2 и BR3, соответственно. Скорость разлома (может быть оценена как 30% скорости звука в породе V_c) Эти переменные могут использоваться для расчета времени появления разлома в элементе (с использованием уравнения 8), после чего система может комбинировать интенсивности трещиноватости в последовательности, в которой они появились на элементе из разных скважин.

В некоторых вариантах осуществления изобретения система может изменять интенсивности трещиноватости на основе времени задержки между скважинами. При этом система может комбинировать интенсивности трещиноватости в последовательности (как описано выше) для получения результирующих интенсивностей трещиноватости FDM. Модификации интенсивностей трещиноватости могут отражать качество фрагментации на основе времени задержки. Например, очень короткая задержка, вероятно, приведет к плохой фрагментации, а оптимальная задержка вероятно приведет к хорошей фрагментации.

Любые описанные здесь способы включают один или более этапов или действий для осуществления описанного способа. Этапы и/или действия способа могут быть взаимозаменяемыми друг с другом. Другими словами, если для правильной работы варианта осуществления изобретения не требуется конкретный порядок этапов или действий, порядок и/или использование конкретных этапов и/или действий может быть модифицирован.

Хотя были проиллюстрированы и описаны конкретные варианты реализации систем и способов моделирования взрывных процессов, следует понимать, что раскрытое изобретение не ограничивается точной конфигурацией и раскрытыми компонентами. Различные модификации, изменения и вариации, очевидные для специалистов в данной области техники, имеющих преимущество данных материалов, могут быть сделаны в компоновке, эксплуатации и деталях раскрытых способов и систем с помощью настоящих материалов.

По умолчанию подразумевается, что специалист в данной области техники может использовать предшествующее описание для использования настоящего изобретения в полном объеме. Раскрытые здесь примеры и варианты осуществления изобретения должны толковаться лишь как иллюстративные и примерные, а не как ограничение объема настоящего изобретения каким-либо образом. Специалистам в данной области техники будет очевидно, что могут быть внесены изменения в детали вышеописанных вариантов осуществления изобретения без отступления от сущности изобретения.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ моделирования взрыва, содержащий
 - сегментирование модели по меньшей мере части участка взрыва на множество элементов объема, при этом модель содержит множество взрывных скважин и свободную поверхность;
 - определение ранее существовавших трещин отрыва в каждом из множества элементов объема;
 - симуляцию взрывов из каждой из множества взрывных скважин;
 - определение взрывных трещин в каждом из множества элементов объема от взрывов из каждой из множества взрывных скважин;
 - симуляцию отражения ударной волны на свободной поверхности модели путем симуляции взрывов на множестве призрачных скважин за пределами свободной поверхности для определения отражающих трещин в каждом из множества элементов объема;
 - объединение ранее существовавших трещин отрыва, взрывных трещин и отражающих трещин для определения общей интенсивности трещиноватости в каждом из множества элементов объема и
 - определение размеров фрагментации для каждого из множества элементов объема на основе общей интенсивности трещиноватости.
2. Способ по п.1, в котором взрывы являются последовательными и взрывные трещины и отра-

жающие трещины определяются после каждого взрыва.

3. Способ по п.1, в котором множество взрывных скважин содержит ряды, которые подлежат взрыванию последовательно, при этом способ дополнительно содержит создание новой свободной поверхности для модели после взрыва каждого ряда.

4. Способ по п.3, в котором новая свободная поверхность расположена на одной трети расстояния нагрузки от ранее взорванного ряда.

5. Способ по п.1, в котором модель представляет собой подземный вентиляционный взрыв, а множество взрывных скважин расположены под углом.

6. Способ по п.1, в котором, по меньшей мере, некоторые из множества взрывных скважин расположены под углом, а модель является моделью поверхностного взрыва.

7. Способ по п.1, в котором взрывные трещины и отражающие трещины определяют с использованием свойств породы, взрывных свойств и расстояния от взрывной скважины.

8. Способ по п.1, в котором множество призрачных скважин расположены на равном расстоянии от свободной поверхности в качестве следующей взрывной скважины, подлежащей взрыванию.

9. Способ по п.1, в котором силу из множества призрачных скважин моделируют как растягивающую волну с первым углом, а силу из множества взрывных скважин моделируют как сжимающую волну под вторым углом.

10. Способ по п.1, в котором симулированные взрывы на множестве призрачных скважин и симулированные взрывы на множестве взрывных скважин происходят одновременно.

11. Способ по п.1, в котором определение размеров фрагментации для множества элементов объема содержит решение: 1/общая интенсивность трещиноватости.

12. Способ по п.1, в котором дополнительно суммируют общее количество различных размеров фрагментации для получения прогнозируемого распределения размера фрагментации для модели;

13. Способ по п.1, в котором ранее существовавшие трещины отрыва включают в себя естественные трещины, которые являются геологическим свойством.

14. Способ по п.1, в котором ранее существовавшие трещины отрыва содержат различные трещины на различных плоскостях вдоль оси Y модели.

15. Способ по п.1, дополнительно содержащий
выбор типа используемого взрывчатого вещества;
выбор длины заряда и

позиционирование заряда во множестве взрывных скважин.

16. Способ по п.1, в котором взрывные трещины определяют путем решения следующих уравнений для каждого из множества элементов объема:

$$F = K * F1 * F2 * F3$$

$$F1 = \left(\frac{\frac{\sigma_c^2}{2E}}{PF * EE} \right)^\delta$$

$$F2 = \left[\frac{R_0}{R} \left(\tan^{-1} \frac{HMX}{R} + \tan^{-1} \frac{XMS}{R} \right) \right]^\alpha$$

$$F3 = \left(\frac{BR}{R_0} \right)^\gamma$$

где F1, числитель - прочность породы, описываемая плотностью энергии деформации, а знаменатель - доступная энергия взрывчатых веществ;

R₀ соответствует радиусу скважины;

R - радиальное ортогональное расстояние элемента от скважины;

BR - расстояние элемента от взрывной скважины (BR отличается от R в зоне забойки);

HMX и XMS - функции расстояния, оцененные для различной ориентации взрывной скважины с использованием векторных уравнений расстояния; и

показатели α, γ и δ калибруют с использованием тестовых взрывов пласта.

17. Способ по п.1, в котором свободную поверхность изменяют таким образом, что нагрузка множества взрывных скважин изменяется на разных высотах оси Y модели.

18. Способ по п.1, в котором средний интервал и средняя нагрузка не используются для определения интенсивностей трещиноватости.

19. Способ по п.1, в котором множество взрывных скважин располагают на основе фактических данных сканирования или GPS уже пробуренного участка взрыва.

20. Способ по п.1, в котором множество взрывных скважин основано на ранее взорванном участке и в модель вводят взрывные скважины, которые были перезаряжены, недозаряжены, не детонировали должным образом или частично заполнены водой.

21. Способ моделирования взрыва, содержащий

сегментирование модели по меньшей мере части участка взрыва на множество элементов объема, причем модель содержит ряды взрывных скважин;

определение ранее существовавших отрывов во множестве элементов объема;

- последовательная симуляция взрывов для каждого из рядов взрывных скважин;
определение интенсивностей взрывной трещиноватости во множестве элементов объема от взрывов, причем трещины от взрывов определяют после детонации каждого из рядов взрывных скважин;
симулируют отражение ударной волны от взрывов на свободной поверхности модели для определения интенсивностей отражающих трещин во множестве элементов объема, причем местоположение свободной поверхности смещается после детонации каждого из рядов взрывных скважин, а трещины от отражения ударной волны определяют после детонации каждого из рядов взрывных скважин с использованием местоположения свободной поверхности;
- комбинирование ранее существовавших отрывов, интенсивностей взрывной трещиноватости и интенсивностей отражающей трещиноватости для определения общей интенсивности трещиноватости во множестве элементов объема и
- прогнозирование размеров фрагментации для множества элементов объема на основе общей интенсивности трещиноватости.
22. Способ по п.21, в котором симуляция отражения ударной волны содержит симуляцию взрывов на множестве призрачных скважин за пределами свободной поверхности.
23. Способ по п.22, в котором множество призрачных скважин расположены на равном расстоянии от свободной поверхности в качестве следующей взрывной скважины, подлежащей взрыванию.
24. Способ по п.22, в котором силу из множества призрачных скважин моделируют как растягивающую волну с первым углом, а силу из множества взрывных скважин моделируют как сжимающую волну под вторым углом.
25. Способ по п.22, в котором симулированные взрывы на множестве призрачных скважин синхронны с симулированным взрывом следующего ряда скважин.
26. Невременный машиночитаемый носитель данных, причем машиночитаемый носитель данных содержит инструкции, которые при выполнении компьютером побуждают компьютер сегментировать модель по меньшей мере части участка взрыва на множество элементов объема, причем модель содержит ряды взрывных скважин;
- определять ранее существовавшие трещины отрыва во множестве элементов объема;
- последовательно симулировать взрывы для каждого из рядов взрывных скважин и для каждого симулированного взрыва;
- определять взрывные трещины, вызванные непосредственно взрывом во множестве элементов объема;
- определять местоположение динамической свободной поверхности для модели, причем местоположение динамической свободной поверхности смещается после каждого симулированного взрыва;
- симулировать отражение ударной волны на динамической свободной поверхности модели для определения отражающих трещин во множестве элементов объема;
- объединять ранее существовавшие трещины отрыва, взрывные трещины и отражающие трещины для определения общей интенсивности трещиноватости во множестве элементов объема и
- прогнозировать размеры фрагментации для множества элементов объема на основе общей интенсивности трещиноватости.
27. Невременный машиночитаемый носитель данных по п.26, в котором симуляция отражения ударной волны содержит симуляцию взрывов на множестве призрачных скважин за пределами динамической свободной поверхности.
28. Невременный машиночитаемый носитель данных по п.27, в котором множество призрачных скважин расположены на равном расстоянии от динамической свободной поверхности в качестве следующего ряда подлежащих взрыванию взрывных скважин.
29. Невременный машиночитаемый носитель данных по п.27, в котором сила из множества призрачных скважин моделируется как растягивающая волна с первым углом, а сила из рядов взрывных скважин моделируется как сжимающая волна под вторым углом.
30. Невременный машиночитаемый носитель данных по п.27, в котором симулированные взрывы на множестве призрачных скважин синхронны с симулированным взрывом следующего ряда взрывных скважин.
31. Способ моделирования взрыва, содержащий
- сегментирование модели по меньшей мере части участка взрыва на множество элементов объема, при этом модель содержит множество взрывных скважин и свободную поверхность;
- определение ранее существовавших трещин отрыва в каждом из множества элементов объема;
- симуляцию взрывов из каждой из множества взрывных скважин;
- определение взрывных трещин в каждом из множества элементов объема от взрывов из каждой из множества взрывных скважин;
- симуляцию отражения ударной волны на свободной поверхности модели для определения отражающих трещин в каждом из множества элементов объема;
- объединение ранее существовавших трещин отрыва, взрывных трещин и отражающих трещин для определения общей интенсивности трещиноватости в каждом из множества элементов объема;

определение размеров фрагментации для каждого из множества элементов объема на основе общей интенсивности трещиноватости и

прогнозирование областей размера фрагментации в результирующей отбитой породе.

32. Способ моделирования взрыва, содержащий

сегментирование модели по меньшей мере части участка взрыва на множество элементов объема, при этом модель содержит множество взрывных скважин и свободную поверхность;

определение ранее существовавших трещин отрыва в каждом из множества элементов объема;

симуляцию взрывов из каждой из множества взрывных скважин;

определение взрывных трещин в каждом из множества элементов объема от взрывов из каждой из множества взрывных скважин;

симуляцию отражения ударной волны на свободной поверхности модели для определения отражающих трещин в каждом из множества элементов объема;

объединение ранее существовавших трещин отрыва, взрывных трещин и отражающих трещин для определения общей интенсивности трещиноватости в каждом из множества элементов объема;

определение размеров фрагментации для каждого из множества элементов объема на основе общей интенсивности трещиноватости и

расчет стоимости и времени удаления материала с участка взрыва на основе размеров фрагментации и доступного оборудования.

33. Способ по п.32, дополнительно содержащий вычисление времени и стоимости измельчения руды на основе размеров фрагментации.

34. Способ моделирования взрыва, содержащий

сегментирование модели по меньшей мере части участка взрыва на множество элементов объема, при этом модель содержит одну или более взрывных скважин и множество геологических слоев;

определение ранее существовавших трещин отрыва в каждом из множества элементов объема;

симуляцию взрывов из одной или более взрывных скважин;

определение взрывных трещин в каждом из множества элементов объема от взрывов из каждой одной или более взрывных скважин, причем на взрывные трещины в каждом из множества элементов объема влияет то, в каком из геологических слоев расположено множество элементов объема;

объединение ранее существовавших трещин отрыва и взрывных трещин для определения общей интенсивности трещиноватости в каждом из множества элементов объема и

определение размеров фрагментации для каждого из множества элементов объема на основе общей интенсивности трещиноватости.

35. Способ по п.34, в котором геологические слои содержат свойства породы для различных участков взрывной скважины или схемы взрывания.

36. Способ по п.35, в котором свойства породы получают из данных бурения.

37. Способ по п.34, в котором модель дополнительно содержит взрывное наслоение, причем взрывное наслоение содержит взрывчатое изделие с изменяющейся энергией взрыва в пределах одной или более взрывных скважин, при этом взрывные трещины в каждом из множества элементов объема основаны на взрывном наслоении.

38. Способ моделирования взрыва, содержащий

сегментирование модели по меньшей мере части участка взрыва на множество элементов объема, при этом модель содержит одну или более взрывных скважин и множество взрывных слоев, представляющих взрывчатое изделие с изменяющейся энергией взрыва в пределах одной или более взрывных скважин;

определение ранее существовавших трещин отрыва в каждом из множества элементов объема;

симуляцию взрывов из одной или более взрывных скважин;

определение взрывных трещин в каждом из множества элементов объема от взрывов из каждой одной или более взрывных скважин, при этом на взрывные трещины в каждом из множества элементов объема влияет изменяющаяся энергия взрыва;

объединение ранее существовавших трещин отрыва, взрывных трещин и отражающих трещин для определения общей интенсивности трещиноватости в каждом из множества элементов объема и

определение размеров фрагментации для каждого из множества элементов объема на основе общей интенсивности трещиноватости.

39. Способ моделирования взрыва, содержащий

прием входных данных от датчиков, расположенных на бурильной машине;

определение геологических свойств на основании входных данных;

сегментирование модели по меньшей мере части участка взрыва на множество элементов объема, причем модель содержит одну или более взрывных скважин, при этом каждый из множества элементов объема содержит геологические свойства;

определение ранее существовавших трещин отрыва в каждом из множества элементов объема;

симуляцию взрывов из одной или более взрывных скважин;

определение взрывных трещин в каждом из множества элементов объема от взрывов из каждой од-

ной или более взрывных скважин, причем взрывные трещины в каждом из множества элементов объема основаны на геологических свойствах;

объединение ранее существовавших трещин отрыва и взрывных трещин для определения общей интенсивности трещиноватости в каждом из множества элементов объема и

определение размеров фрагментации для каждого из множества элементов объема на основе общей интенсивности трещиноватости.

40. Способ по п.39, дополнительно содержащий получение расположения зарядов из компьютерного проекта взрыва.

41. Способ по п.39, дополнительно содержащий выполнение детального анализа взрыва, причем детальный анализ взрыва включает одно или более из двухмерного графика, трехмерного графика и прогнозирования местоположения больших валунов.

42. Способ по п.39, дополнительно содержащий считывание взрывных свойств из каждой одной или более взрывных скважин с использованием данных анализа отдельных взрывных скважин.

43. Способ моделирования взрыва, содержащий

прием входных данных, характеризующих желаемый размер фрагментации;

сегментирование модели по меньшей мере части участка взрыва на множество элементов объема;

определение ранее существовавших трещин отрыва в каждом из множества элементов объема;

выполнение множества симуляций взрывов, причем каждая из множества симуляций связана с различным проектом взрыва;

определение взрывных трещин в каждом из множества элементов объема из множества симуляций взрывов;

объединение для каждой из множества симуляций, ранее существовавших трещин отрыва и взрывных трещин для определения общей интенсивности трещиноватости в каждом из множества элементов объема;

определение размеров фрагментации для каждого из множества элементов объема на основе общей интенсивности трещиноватости для каждой из множества симуляций;

определение окончательного проекта взрыва из множества симуляций, который обеспечивает размер фрагментации, наиболее близкий к желаемому размеру фрагментации; и

выведение окончательного проекта взрыва на графический пользовательский интерфейс (GUI).

44. Способ моделирования взрыва, содержащий

сегментирование модели по меньшей мере части участка взрыва на множество элементов объема;

определение ранее существовавших трещин отрыва в каждом из множества элементов объема;

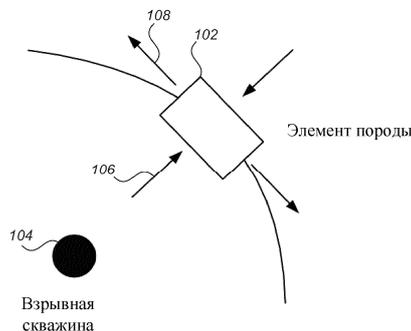
выполнение исследования среднеквадратической ошибки (СКО) для определения подгоночных параметров модели плотности трещиноватости для участка;

симуляцию взрывов из одной или более взрывных скважин;

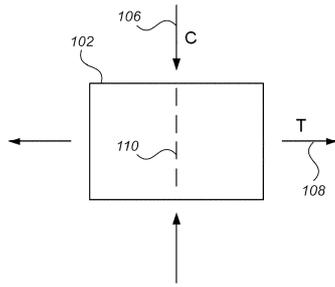
определение взрывных трещин в каждом из множества элементов объема от взрывов из каждой одной или более взрывных скважин, причем взрывные трещины в каждом из множества элементов объема основаны на подгоночных параметрах модели плотности трещиноватости для участка;

объединение ранее существовавших трещин отрыва и взрывных трещин для определения общей интенсивности трещиноватости в каждом из множества элементов объема и

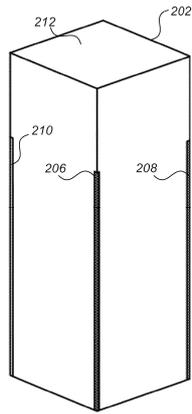
определение размеров фрагментации для каждого из множества элементов объема на основе общей интенсивности трещиноватости.



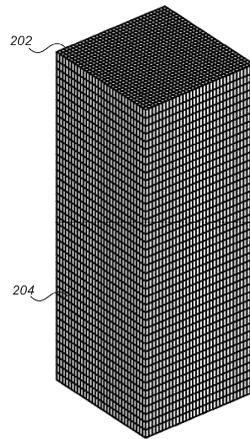
Фиг. 1А



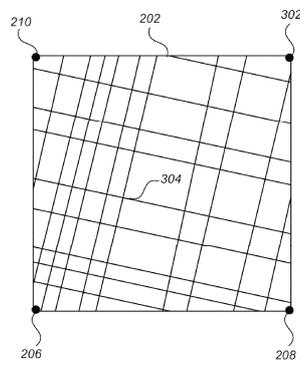
Фиг. 1В



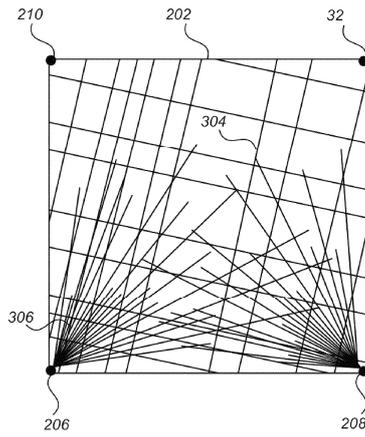
Фиг. 2А



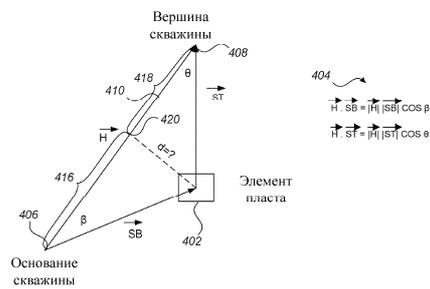
Фиг. 2В



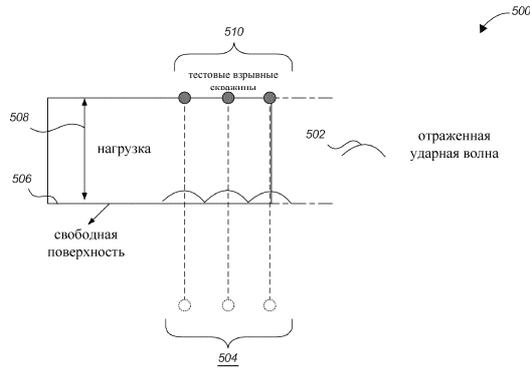
Фиг. 3А



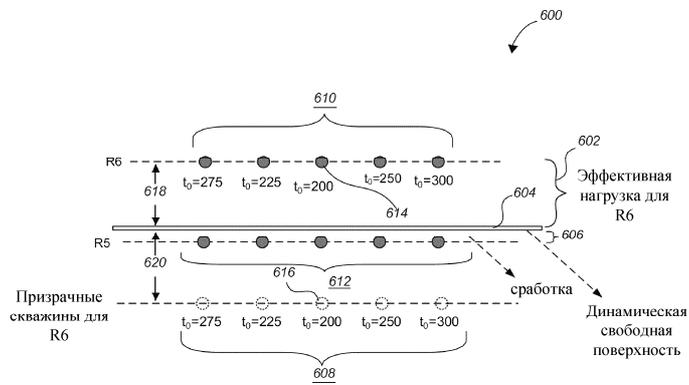
Фиг. 3В



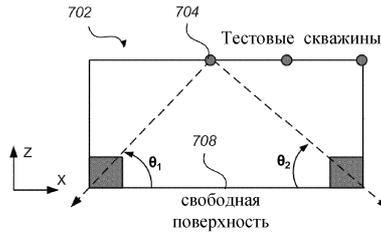
Фиг. 4



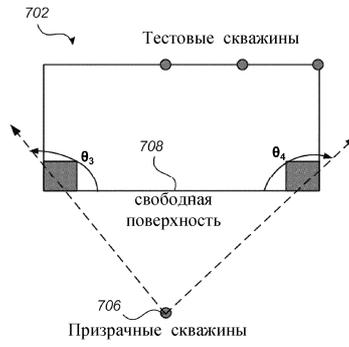
Фиг. 5



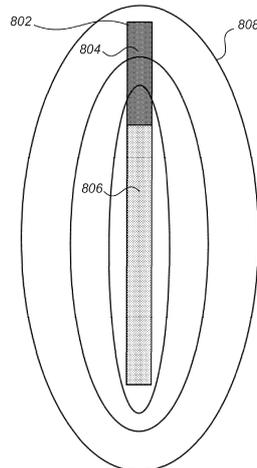
Фиг. 6



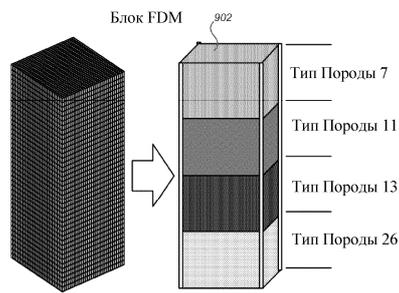
Фиг. 7А



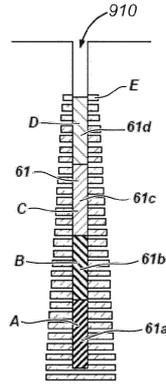
Фиг. 7В



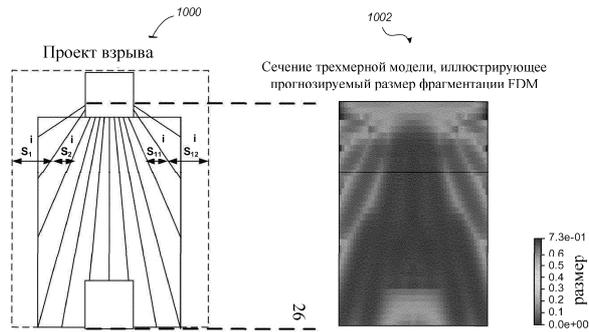
Фиг. 8



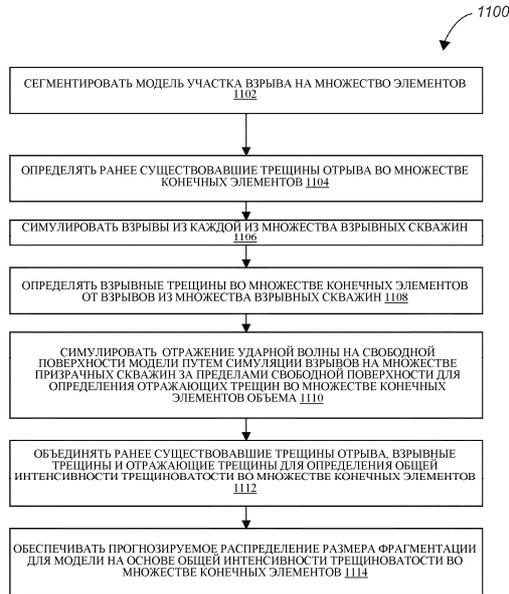
Фиг. 9А



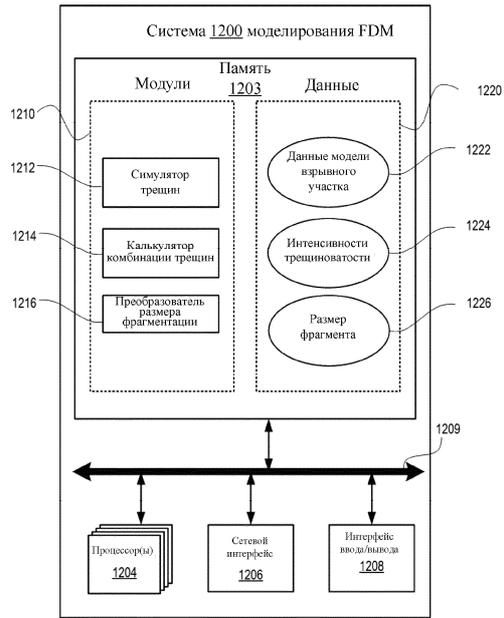
Фиг. 9В



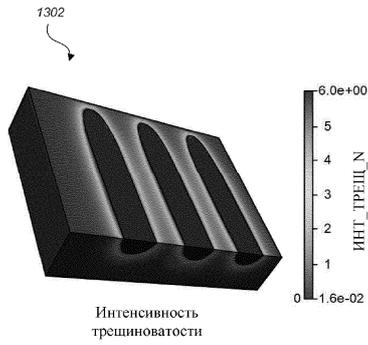
Фиг. 10



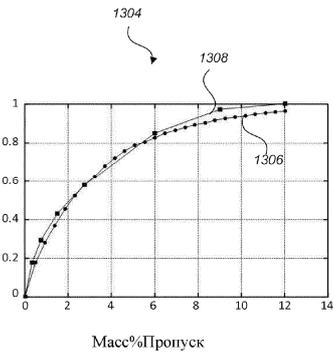
Фиг. 11



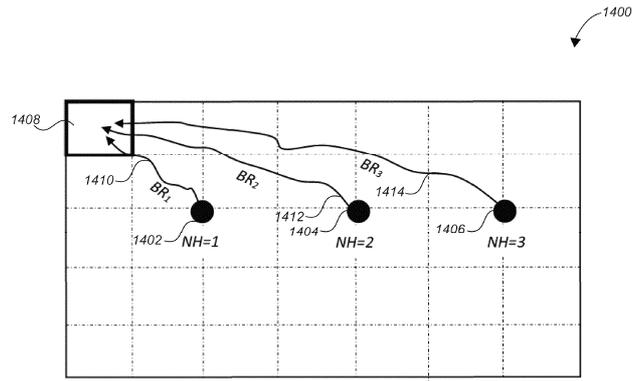
Фиг. 12



Фиг. 13А



Фиг. 13В



Фиг. 14