

(19)



Евразийское
патентное
ведомство

(21) 202400021 (13) A1

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

(43) Дата публикации заявки
2024.06.18

(22) Дата подачи заявки
2022.10.25

(51) Int. Cl. *F24T 10/20* (2018.01)
C09K 8/592 (2006.01)
E21B 43/17 (2006.01)
E21B 43/24 (2006.01)

(54) СПОСОБ РАЗРУШЕНИЯ ГОРЯЧИХ ГОРНЫХ ПОРОД

(31) 63/272,094; 17/970,845

(32) 2021.10.26; 2022.10.21

(33) US

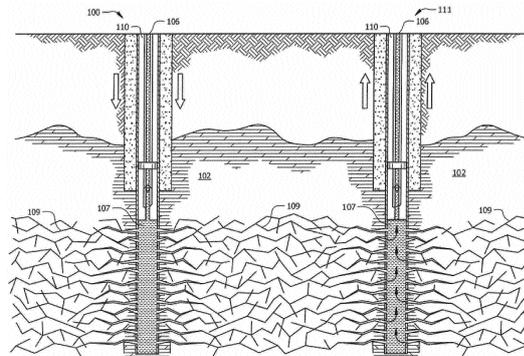
(86) PCT/US2022/047743

(87) WO 2023/076283 2023.05.04

(71)(72) Заявитель и изобретатель:
МАКИНТАЙР ДЖЕК (US)

(74) Представитель:
Пыльнев Ю.А. (RU)

(57) Предложены система и способ использования геотермальной энергии с использованием гидроразрыва горячей породы. В системе есть по крайней мере первая скважина и вторая скважина. Способ включает введение щелочного металла в скважину в первой скважине. Раствор также вводят в первую скважину. Раствор вступает в экзотермическую реакцию с щелочным металлом. Газ и тепло разрушают горячую породу, образуя трещины. Разломы плавно соединяют первую скважину со второй. Раствор, такой как вода, может быть прокачан через первую скважину, через трещины и во вторую скважину. Горячая порода передает геотермальную энергию воде, которая затем может быть использована.



A1

202400021

202400021

A1

СПОСОБ РАЗРУШЕНИЯ ГОРЯЧИХ ГОРНЫХ ПОРОД

ПРЕДПОСЫЛКИ СОЗДАНИЯ ИЗОБРЕТЕНИЯ

Приоритет

Настоящее изобретение претендует на приоритет не предварительной заявки США № 17/970,845, поданной 21 октября 2022 года, и предварительной заявки США № 63/272,094, поданной 26 октября 2021 года, которые в полном объеме включены в настоящее описание посредством ссылки.

Область техники

Настоящее изобретение относится к системе и способу разрушения горячих горных пород посредством химической реакции.

Описание предшествующего уровня техники

Геотермальная энергия является возобновляемым источником энергии, который может быть использован для самых разных целей. Следовательно, существует необходимость в использовании геотермальной энергии.

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ

Признаки новизны, которые, как считается, характеризуют изобретение, изложены в прилагаемой формуле изобретения. Однако само изобретение, а также предпочтительный способ его использования, дальнейшие цели и преимущества будут более понятны из нижеследующего подробного описания иллюстративных вариантов осуществления в сочетании с прилагаемыми чертежами, на которых:

На фиг. 1 представлена схема скважины по одному из вариантов осуществления.

На фиг. 2 представлена схема скважины с щелочью по одному из вариантов осуществления.

На фиг. 3 представлена схема скважины, подающей воду, по одному из вариантов осуществления.

На фиг. 4 представлена схема скважины во время реакции по одному из вариантов осуществления.

На фиг. 5 представлена схема закачиваемой воды по одному из вариантов осуществления.

ПОДРОБНОЕ ОПИСАНИЕ

Теперь будут описаны несколько вариантов осуществления изобретения заявителя со ссылками на чертежи. Если не указано иное, аналогичные элементы будут обозначены одинаковыми номерами на всех чертежах. Изобретение, иллюстративно раскрытое в настоящем описании, может быть применено на практике в отсутствие какого-либо элемента, который конкретно не раскрыт в настоящем описании.

Геотермальный потенциал горячих сухих горных пород неограниченно возрастает практически в любой области. Если удастся успешно пробурить глубокие скважины в породах фундамента, которые имеют высокие температуры, это создаст искусственную систему резервуаров, предназначенную для отвода тепла. Гидравлический разрыв твердых хрупких пород, таких как граниты, является сложной задачей. Связь между вытесненными скважинами имеет проблемы с системами гидроразрыва пласта из-за отсутствия связи между стволами скважин. Хотя вариант осуществления будет описан применительно к граниту, это приведено исключительно в иллюстративных целях и не должно рассматриваться как ограничение. Горячие породы могут включать гранит, а также твердые минералы, состоящие из интрузивных магматических пород, богатых полевым шпатом и кварцем, образовавшихся из магмы. Горячие породы также включают твердые хрупкие кристаллические породы, которые встречаются на глубине, достаточно горячей для создания тепловой энергии из закачиваемой в них воды.

В одном из вариантов горячая порода подвергается химическому разрушению. В одном из таких вариантов раскаленная порода разрушается в результате взаимодействия раствора, такого как вода, и щелочного металла, такого как натрий. В одном варианте осуществления раствор содержит водный раствор натрия. Химическая обработка системы разрушения гранита, в первую очередь щелочными металлами, имеет несколько вариантов. В одном из вариантов скважины бурятся и заливаются цементом на некотором расстоянии ниже верхней части гранита. Это изолирует все потенциально водоносные зоны в осадочных породах наверху и оставляет дно скважины внутри горячей сухой породы без воды. Как только это будет завершено, скважина может быть либо перфорирована, если она обсажена обычными методами, либо с применением пропеллента, чтобы при необходимости усилить направленную реакцию разрушения, либо, если скважина открыта, щелочной металл, такой как натрий, может быть использован в качестве жидкости при смешивании с аммиаком, а затем может быть использован для гидроразрыва горячей сухой породы. В качестве альтернативы нижнюю часть скважины можно просто загрузить щелочным металлом перед установкой оборудования в

скважину для окончательной доработки. Следует использовать такие методы герметизации, как внутрискважинные пакерные системы высокого давления, высокотемпературные пакерные системы, системы подачи высокого давления вблизи пакерной системы, а также оборудование для контроля давления и изоляции. Энергия реакции может регулироваться количеством металла и объемом откачиваемой воды. Энергия реакции может быть рассчитана по объему реагента, размеру скважины, глубине, типу породы, температуре породы, давлению и другим подобным факторам.

В одном варианте осуществления задача состоит в том, чтобы получить максимальную энергию и интенсивность разрушения в результате реакции постепенного разрушения породы и соединить два или несколько стволов скважин, из которых вода впоследствии может закачиваться в один или несколько стволов скважин, нагреваться и извлекаться из других стволов скважин в качестве извлечения тепловой энергии. Это обсуждается более подробно со ссылкой на приведенные ниже чертежи.

В некоторых вариантах осуществления контроль энергии реакции имеет решающее значение для безопасного внедрения этой системы. Металлический натрий и вода могут вступать в бурную реакцию, выделяя чрезвычайно высокую температуру и газообразный водород. Использование специальных пакеров и проточных систем, разработанных с использованием высокопрочных термостойких элементов, может быть использовано там, где оборудование находится в контакте с химическими реакциями. Системы с двумя трубопроводами также могут использоваться для контроля давления и температуры. Как вертикальные, так и горизонтальные скважины могут использоваться как для нагнетательных, так и/или добывающих скважин. Таким образом, хотя на рисунках изображены вертикальные колодцы, это приведено исключительно в иллюстративных целях и не должно рассматриваться как ограничение.

В скважинах может быть произведен гидроразрыв с использованием жидкого аммиака, смесей аммиачных щелочных металлов, неактивных газов или жидкостей на нефтяной основе, а также их комбинаций. Скважины могут быть пробурены в горячей сухой породе с помощью воздуха или не вступающей в реакцию жидкости. В одном варианте осуществления горизонтальный ствол скважины может быть заполнен химикатами, и несколько горизонтальных скважин, которые были пробурены параллельно центральной скважине, и вода, закачиваемая в центральную скважину для проведения химической реакции, разрушат породу в радиальной конфигурации и, следовательно, соединят все стволы скважин в

радиально-трещиноватой оболочке. Реакционная скважина и добывающие скважины могут быть спроектированы с учетом наиболее эффективной конфигурации.

Гидроразрыв сухих пород с помощью гидравлики был сложным и неэффективным для этого типа пород. Связь системы гидроразрыва между нагнетательными и добывающими скважинами была несовместима с сухими кристаллическими породами, а физика разрушения не всегда соответствовала задуманному. Твердые и хрупкие породы, по-видимому, разрушаются совсем по-другому, чем более мягкие породы, такие как сланец. Соответственно, в одном из вариантов осуществления эта система обеспечивает гораздо более согласованную, достижимую коммуникационную сеть трещин в системе горных пород такого типа.

На фиг. 1 представлена схема скважины по одному из вариантов осуществления. Скважина 101 может содержать практически любую хорошо известную в данной области технику. Как показано, скважина 101 содержит внутреннюю скважину 106 и внешнюю скважину 110. Материал может быть закачан во внутренний колодец 106 и извлечен из внешнего колодца 110, и наоборот.

Горячая порода 102 может содержать любую горячую породу 102, рассмотренную выше. Как отмечалось, в одном варианте осуществления горячая порода 102 содержит гранит.

Как показано на чертеже, по меньшей мере часть скважины 101 проходит вниз, в зону 102 горячей породы. Эта часть скважины 101, которая проходит в горячей породе 102, называется выходной частью 103. Как показано на рисунке, выпускная часть 103 включает перфорацию 104 или отверстия, которые позволяют жидкости и газу из скважины 101 проникать в горячую породу 102. Выпускная часть 103 также может иметь открытый конец, из которого может высыпаться материал.

На фиг. 2 представлена схема скважины с щелочью по одному из вариантов осуществления. Как показано на чертеже, щелочной металл 105 был осажден на выпускную часть. Щелочной металл 105 может быть осажден практически в любой форме. Это может быть суспензия, стружка, металлическая форма и т.д. Как отмечалось выше, в одном варианте осуществления щелочью является натрий, и ее смешивают с аммиаком с образованием жидкой суспензии, которую можно закачивать в скважину. Независимо от формы, щелочной металл 105 осаждается в выпускной части. Как отмечалось выше, в некоторых вариантах осуществления щелочной металл 105 может быть помещен в скважину во время бурения или после бурения.

В одном варианте осуществления щелочной металл 105, который был осажден в выпускной части 103, содержится отдельно от другого реагента, такого как вода. Это гарантирует, что реакция произойдет только в нужное время и в нужном месте.

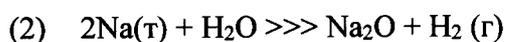
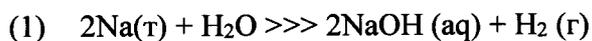
На фиг. 3 представлена схема скважины, подающей воду, по одному из вариантов осуществления. Как показано, вода прокачивается через внутренний колодец 106 вниз в выпускную часть 103. Это позволяет раствору 107, в некоторых вариантах осуществления - воде, вступать в реакцию с щелочным металлом 105. Как отмечалось, раствор 107 может варьироваться в зависимости от щелочного металла 105 и желаемой реакции. В одном варианте осуществления раствор 107 содержит воду.

Одним из примеров реакций, которые могут быть использованы, как обсуждалось выше, является реакция натрия с водой. Натрий относительно недорог, и вода часто легко доступна для перекачки. Следовательно, реакция инициируется добавлением натрия в присутствии воды.

Существует множество химических реакций, которые могут быть использованы для получения тепла и газа, необходимых для разрушения сухой породы. В данном документе будет рассмотрен один пример с использованием натрия. Однако это приведено исключительно в иллюстративных целях и не должно рассматриваться как ограничение. Также можно использовать натрий, калий и другие химически активные элементы. Можно использовать практически любую экзотермическую реакцию, однако необходимо учитывать последствия для окружающей среды. В одном варианте осуществления может быть использован любой реагент, который является экзотермичным по отношению к воде.

Кроме того, хотя обсуждается металлический натрий, это также приведено исключительно в иллюстративных целях и не должно рассматриваться как ограничение. В других вариантах осуществления, как уже отмечалось, натрий подается в виде раствора или суспензии. В качестве лишь одного примера, натрий может находиться в растворе с аммиаком. Такой водный раствор обеспечивает более легкую подачу среды. Кроме того, натрий в растворе, в некоторых вариантах осуществления, легче транспортировать и обрабатывать по сравнению с металлическим натрием.

Натрий является металлом, который вступает в реакцию с водой. Когда он вступает в реакцию с водой, может происходить одна из двух следующих реакций:



В избытке воды обычно происходит реакция (1). В реакции (1) металлический натрий быстро вступает в реакцию с избытком воды с образованием гидроксида натрия и газообразного водорода. Гидроксид натрия представляет собой бесцветный раствор. Как уже отмечалось, реакция является экзотермической. В результате этой реакции выделяется значительное количество тепла.

Гидроксид натрия реагирует в воде с разделением на ионы натрия и отрицательно заряженные гидроксид-ионы. Эта реакция также является экзотермической.

При обнаружении избытка натрия происходит реакция (2), в результате которой образуются монооксид натрия и газообразный водород. Монооксид натрия вступает в реакцию с водой с образованием гидроксида натрия, и эта реакция также является экзотермической.

Как можно видеть, в результате реакции металлического натрия и воды, как правило, образуется гидроксид натрия, газообразный водород и тепло. Выделяющиеся тепло и газ расширяются, разрушая горные породы.

Газообразный водород может бурно вступать в реакцию с кислородом и выделять тепло. Такая реакция вызывает повышение температуры и давления. Взрыв газообразного водорода создает дополнительные трещины в сухих породах. Таким образом, в той мере, в какой кислород доступен газообразному водороду, эта реакция может привести к взрыву.

Натрий вступает в реакцию с водой при очень высоких температурах из-за экзотермического характера реакции. Следовательно, в одном варианте осуществления часть лунки 101 содержит материалы, предназначенные для выдерживания высоких температур реакции. В качестве примера, в одном варианте осуществления части выходных отверстий 103 могут содержать керамику или другие материалы, которые позволяют наконечнику выдерживать температуру 1000 °С, связанную с реакцией.

Следует отметить, что, хотя на фиг. 3 показан раствор 107, подаваемый в щелочной металл, в других вариантах осуществления щелочной металл 105 может подаваться в пласты, в которых уже есть раствор 107, такой как вода. В таких вариантах осуществления щелочной металл 105 вступает в реакцию с ранее существовавшими резервуарами или образованиями воды.

На фиг. 4 представлена схема скважины во время реакции по одному из вариантов осуществления. Образующийся в результате реакции 108, как правило, горячий газ, проникает в сухую породу, разрушая ее в процессе. Трещины 109 обеспечивают места для проникновения раствора, такого как вода, в горячую сухую породу и инициирования

теплопередачи. Процесс гидроразрыва пласта можно повторять до тех пор, пока не будет создано достаточное количество трещин.

На фиг. 5 представлена схема подачи воды в выпускную часть 103. Вода будет проходить через перфорационные отверстия в трещины 109, созданные в сухой породе. Горячая сухая порода нагревает воду в трещинах 109.

Следует отметить, что хотя вода рассматривается в качестве одного из растворов, который может быть введен в скважину для инициирования теплообмена с горячей сухой породой, это сделано исключительно в иллюстративных целях и не должно рассматриваться как ограничивающее. Может быть использован практически любой теплоноситель. Преимущества воды заключаются в том, что она очень экологична, но существуют и другие жидкости, которые могут выступать в качестве теплоносителя.

В одном варианте осуществления, как показано, по меньшей мере некоторые из трещин 109 сообщаются по жидкости с соседней скважиной 110. Используемый здесь термин "сообщение с текучей средой" относится к сценарию, при котором текучая среда может проходить через трещины 109 соседних скважин. В результате вода, закачиваемая в первую скважину 101, вытекает наружу через трещины 109 и может быть извлечена из соседней скважины 110. Это позволяет закачивать сравнительно более холодную воду или другую жидкость в первую скважину 101, как показано на фиг. 5. Вода проходит через образовавшиеся трещины 109, где она нагревается горячей сухой породой. Затем вода направляется к соседней скважине 110. Затем нагретая вода может быть извлечена из соседней скважины 110. Затем нагретую воду можно использовать в качестве возобновляемого источника энергии. Этот процесс может повторяться снова и снова для получения тепла, электричества и т.д.

В одном варианте осуществления система и способ используют по меньшей мере две скважины. Может быть использовано другое количество скважин 101. Трещины 109 позволяют множеству скважин сообщаться друг с другом по текучей среде, так что раствор, такой как вода, может закачиваться в одну скважину и извлекаться из другой. Как уже отмечалось, во время этого процесса раствор нагревается. Затем тепло может быть использовано далее по потоку для различных целей.

Коммуникация по текучей среде может быть создана различными способами. В зависимости от пласта, расстояния между скважинами и т.д., одна скважина может быть разрушена, и образовавшиеся трещины достигнут второй соседней скважины таким образом, что две скважины будут сообщаться текучей средой. В других вариантах осуществления каждая скважина будет разрушена, чтобы обеспечить их жидкостное сообщение друг с другом.

Таким образом, в одном варианте осуществления раскрыт способ использования геотермальной энергии с использованием, по меньшей мере, первой скважины и второй скважины. Сначала в скважину вводят щелочной металл в первой скважине. Щелочной металл может быть введен в виде металла, суспензии, раствора и т.д. В некоторых вариантах осуществления раствор вводят в скважину в первой скважине. В других вариантах осуществления раствор уже присутствует в скважине. В других вариантах щелочь и раствор вводят одновременно. Раствор и щелочной металл вступают в реакцию, вызывая экзотермическую реакцию.

Экзотермическая реакция разрушает соседнюю горячую породу. Как уже отмечалось, горячая порода может содержать различные материалы, включая гранит, но не ограничиваясь им. Трещины позволяют соединить первую скважину по текучей среде со второй скважиной. Используемый здесь термин "соединение по текучей среде" (fluidly connected – англ.) относится к двум или более местам, соединенным таким образом, что жидкость может проходить из одного места в другое. Экзотермическая реакция приводит к образованию трещин, которые позволяют соединять две или более скважины по текучей среде. Это обеспечивает механизм, с помощью которого в первую скважину может быть введен холодный раствор, такой как вода. Раствор поступает через первую скважину в трещины в горячей породе. По мере своего перемещения раствор нагревается, поскольку поглощает тепло от раскаленной породы. Затем жидкость поступает во вторую скважину, где собирается раствор.

В одном варианте осуществления раствор, поступающий из второй скважины, имеет более высокую температуру, чем раствор, который вводят в первую скважину. Таким образом, тепло может быть извлечено из горячей породы и использовано, как описано выше.

В одном варианте осуществления способа используется одна скважина, которая обладает способностью как закачивать, так и принимать материал одновременно. Одним из примеров, обсуждаемых здесь, является одиночный колодец, который имеет внутренний колодец 106 и внешний колодец 110. Это позволяет одновременно закачивать и откачивать материал. Например, холодный раствор может быть закачан вниз через первую скважину, где он нагревается горячей породой, и нагретый раствор может быть откачан из той же скважины. Таким образом, хотя был рассмотрен вариант осуществления, в котором предусмотрены две скважины, это приведено только в иллюстративных целях и не должно рассматриваться как ограничение.

Как отмечалось выше, в одном из вариантов осуществления первая скважина имеет выпускной участок, который проходит в горячую породу. Это то, что позволяет

экзотермической реакции создавать трещины в горячей породе. Кроме того, это направляет раствор к месту расположения трещин.

Наряду с описанием способа использования геотермальной энергии, был описан и способ разрушения горячей породы. Как уже отмечалось, щелочной металл вводится в скважину. Затем вводится раствор. Раствор вступает в реакцию с щелочным металлом, вызывая экзотермическую реакцию, которая разрушает горячую породу.

Система, в одном из вариантов осуществления, является компактной. Это позволяет использовать систему в местах, расположенных в непосредственной близости от городов. В качестве лишь одного примера, если рядом с городом находится горячая сухая порода, то для разрушения горячей сухой породы можно пробурить либо новые скважины, либо использовать существующие скважины. Эта система позволяет улавливать и использовать геотермальную энергию. Таким образом, в одном варианте осуществления система и способ позволяют улавливать тепло, накопленное в горячей сухой породе, путем введения раствора. Тепло передается от горячей сухой породы к раствору, где оно может быть извлечено и использовано.

Эта система может устранить необходимость в длинных и дорогостоящих линиях электропередачи, которые передают электроэнергию от удаленной электростанции в нужное место, например в город. Вместо этого система может располагаться в непосредственной близости от города. Иными словами, средства производства энергии или электричества из геотермального тепла могут быть расположены в непосредственной близости, так что отпадает необходимость в длинных и дорогостоящих линиях электропередач.

Как уже отмечалось, геотермальная энергия накапливает огромную нереализованную потенциальную энергию. Используя щелочной металл 105 и раствор 107, система использует химическую реакцию для разрушения сухой горячей породы. После образования трещин система превращает горячую сухую породу в большой радиатор. Вода или другая жидкость может быть закачана в горячую сухую породу, где она нагревается. Затем нагретая жидкость собирается и используется в последующих процессах для получения энергии.

Хотя изобретение было показано и описано со ссылкой на предпочтительный вариант, специалистам в данной области будет понятно, что в него могут быть внесены различные изменения формы и деталей без отклонения от сущности и объема изобретения.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ использования геотермальной энергии с использованием, по меньшей мере, первой скважины и второй скважины, содержащий этапы:

- а) введения щелочного металла в скважину в первой скважине;
- б) введения раствора в скважину в указанной первой скважине, при этом указанный раствор вызывает экзотермическую реакцию с указанным щелочным металлом;
- в) разрушения горячей породы за счет указанной экзотермической реакции с образованием трещин, при этом указанное разрушение приводит к тому, что указанная первая скважина по текучей среде соединяется с указанной второй скважиной;
- г) введения раствора в указанную первую скважину, который проходит через указанные трещины во вторую скважину.

2. Способ по п. 1, в котором указанный раствор на стадии г) содержит воду.

3. Способ по п. 1, дополнительно содержащий стадию извлечения указанного раствора из указанной второй скважины.

4. Способ по п. 3, в котором указанный раствор, извлеченный из указанной второй скважины, имеет температуру, в котором указанный раствор, введенный в указанную первую скважину, имеет температуру, и в котором температура раствора, извлеченного из второй скважины, имеет более высокую температуру, чем температура раствора, введенного в первую скважину.

5. Способ по п. 4, дополнительно содержащий стадию извлечения тепла из раствора, извлеченного из второй скважины.

6. Способ по п. 1, в котором указанная, по меньшей мере, часть упомянутой первой скважины проходит в зону горячей породы.

7. Способ по п. 1, в котором указанная горячая порода содержит гранит.

8. Способ по п. 1, в котором указанная первая скважина содержит выпускной участок, причем указанный выпускной участок проходит в зону горячей породы.

9. Способ по п. 8, в котором указанная выпускная часть содержит перфорации.

10. Способ по п. 8, в котором щелочной металл осаждают в указанную выпускную часть.

11. Способ по п. 1, в котором указанный щелочной металл содержит водный раствор натрия.

12. Способ разрушения горячей породы, содержащий этапы:

- а) введения щелочного металла в скважину в первой скважине;

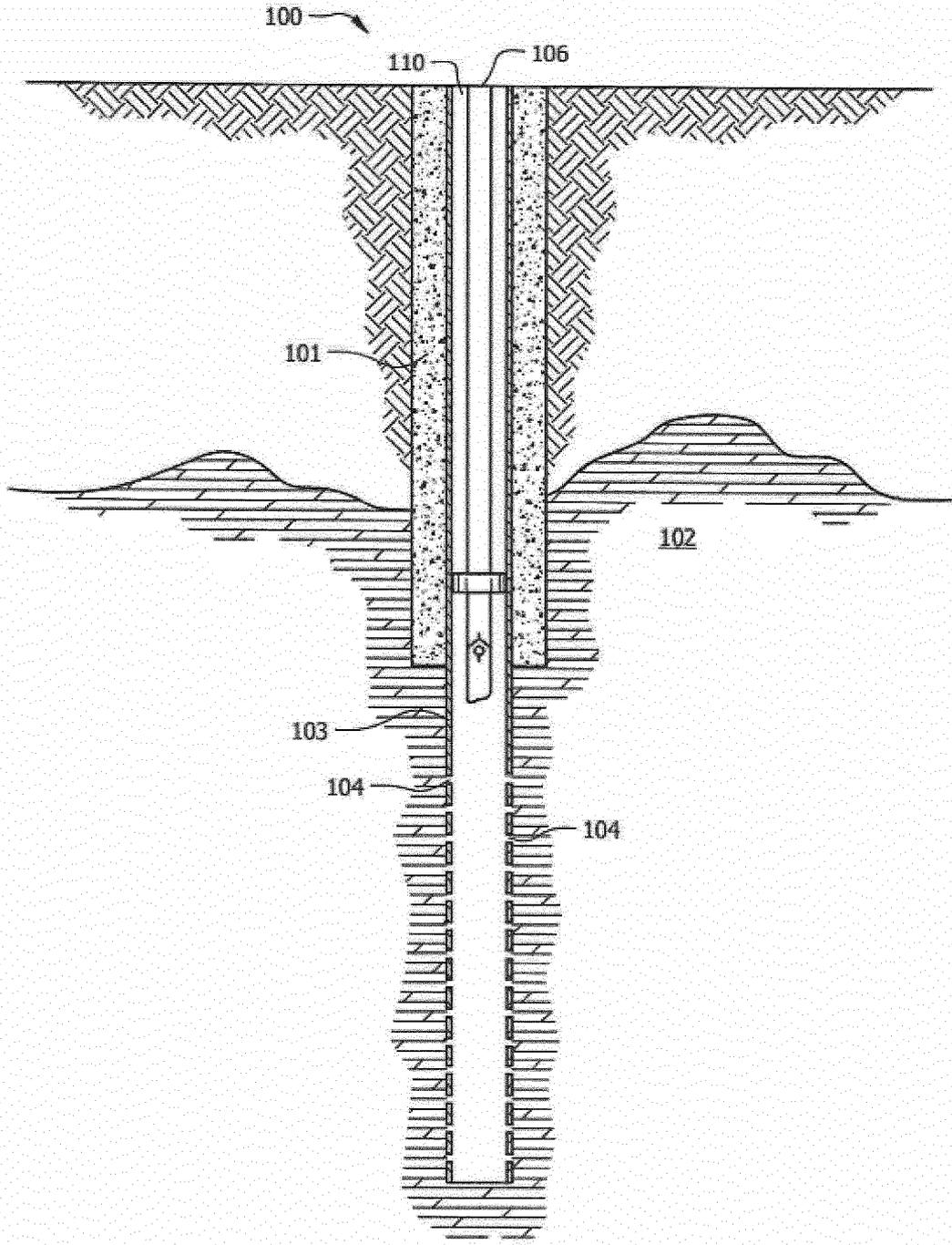
б) введения раствора в скважину в указанной первой скважине, при этом указанный раствор вызывает экзотермическую реакцию с указанным щелочным металлом;

в) разрушения горячей породы в результате указанной экзотермической реакции с образованием трещин.

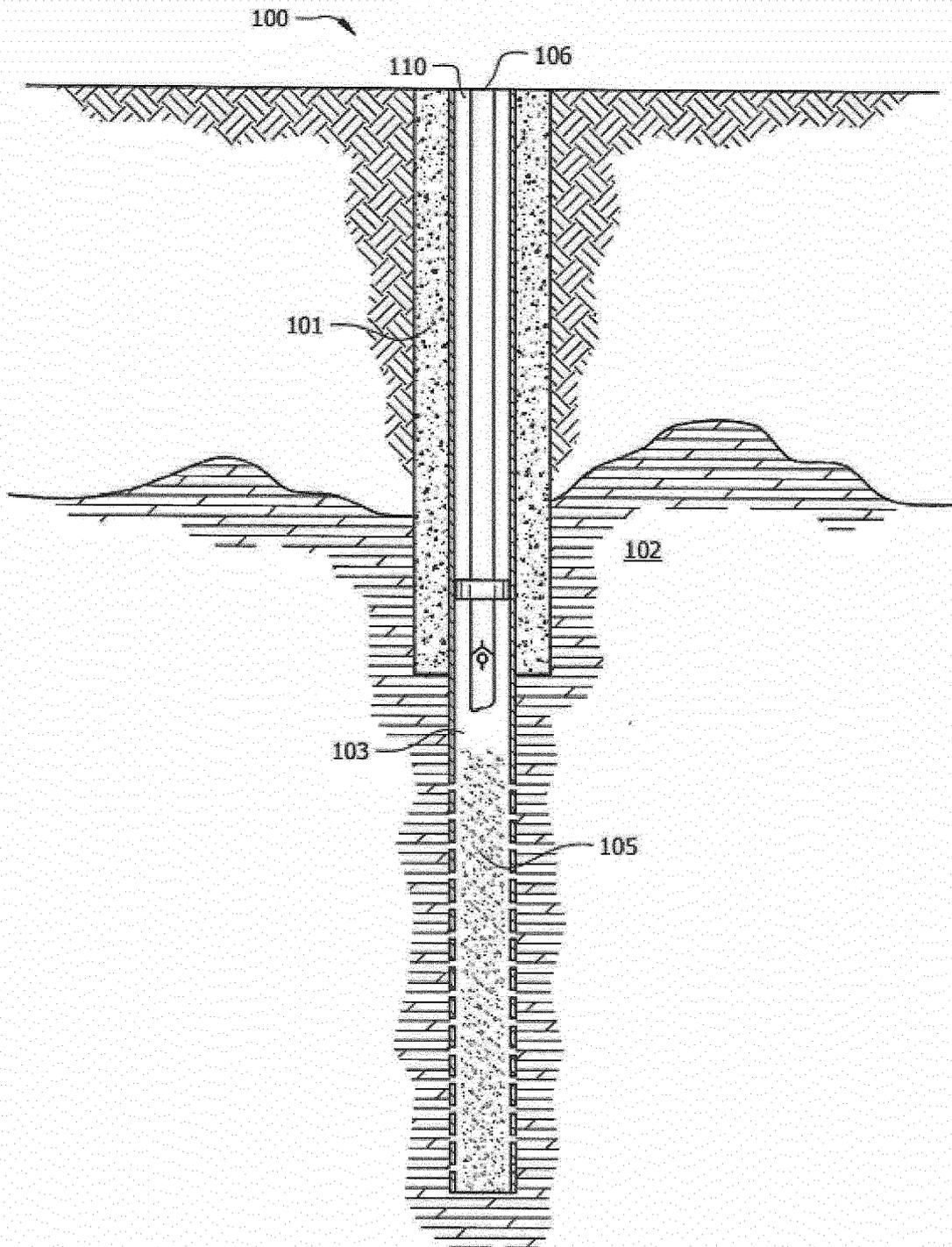
13. Способ по п. 12, в котором указанная первая скважина содержит выпускной участок, причем указанный выпускной участок проходит в зону горячей породы.

14. Способ по п. 13, в котором указанная выпускная часть содержит перфорации.

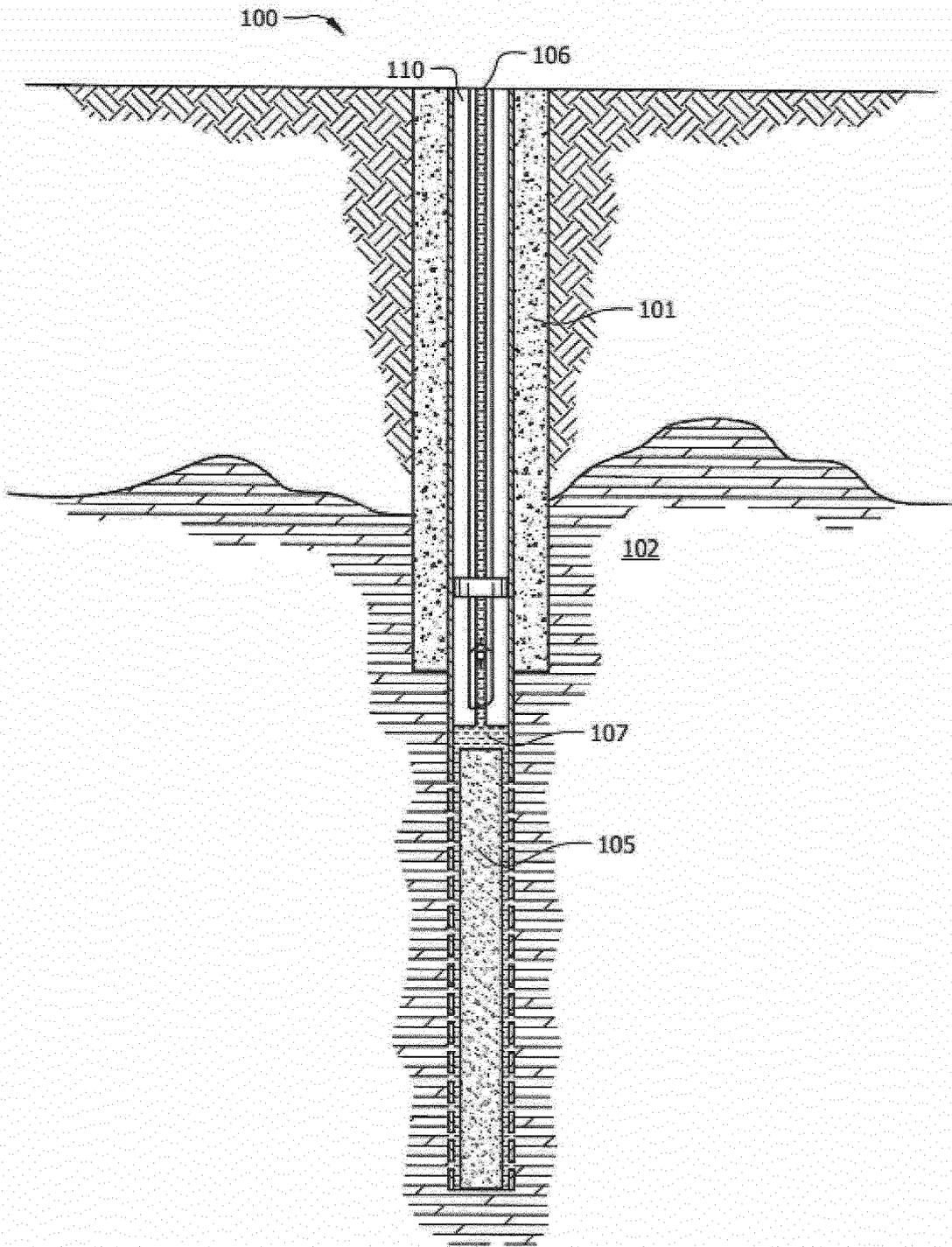
15. Способ по п. 13, в котором щелочной металл осаждают в указанную выпускную часть.



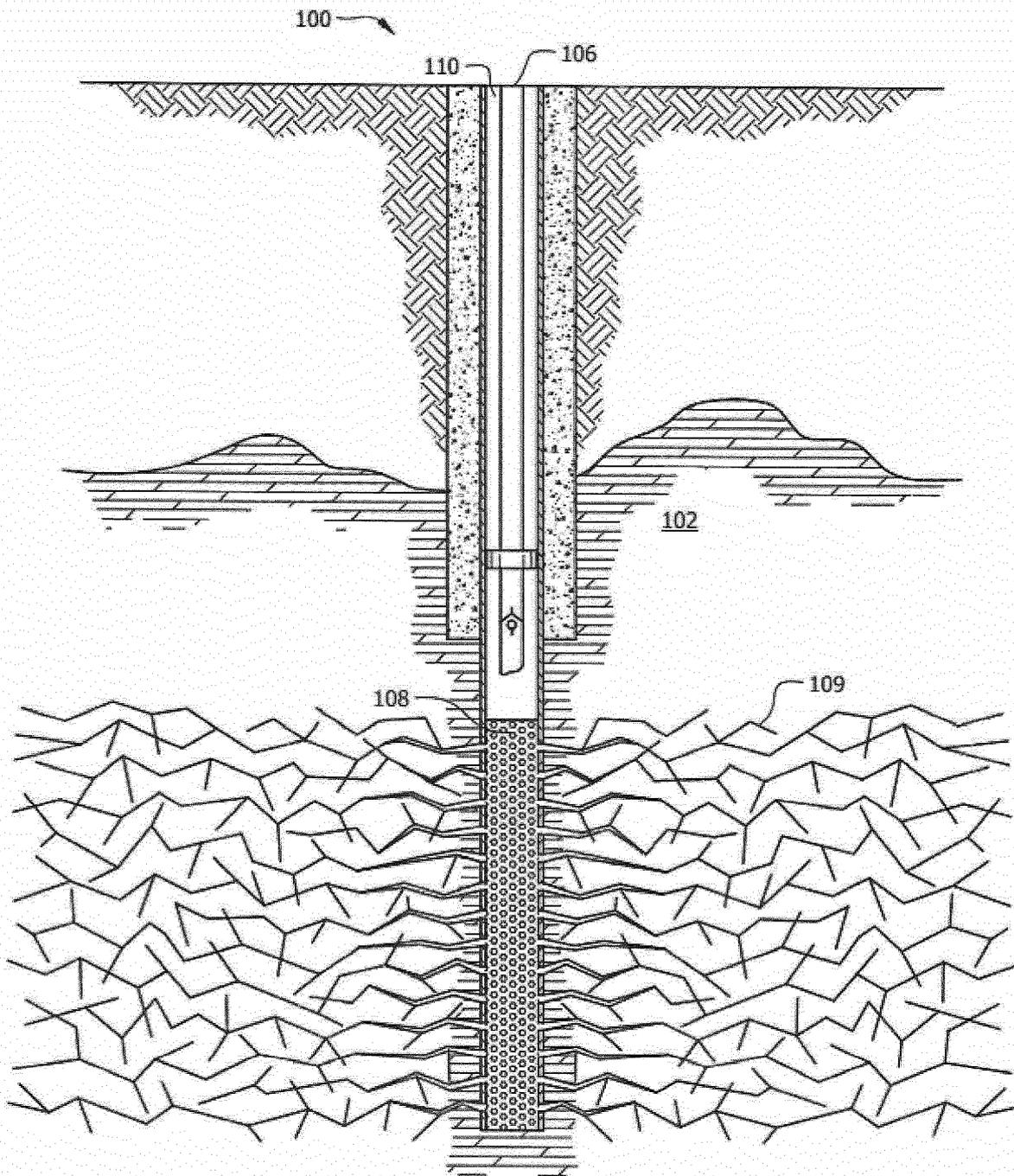
ФИГ. 1



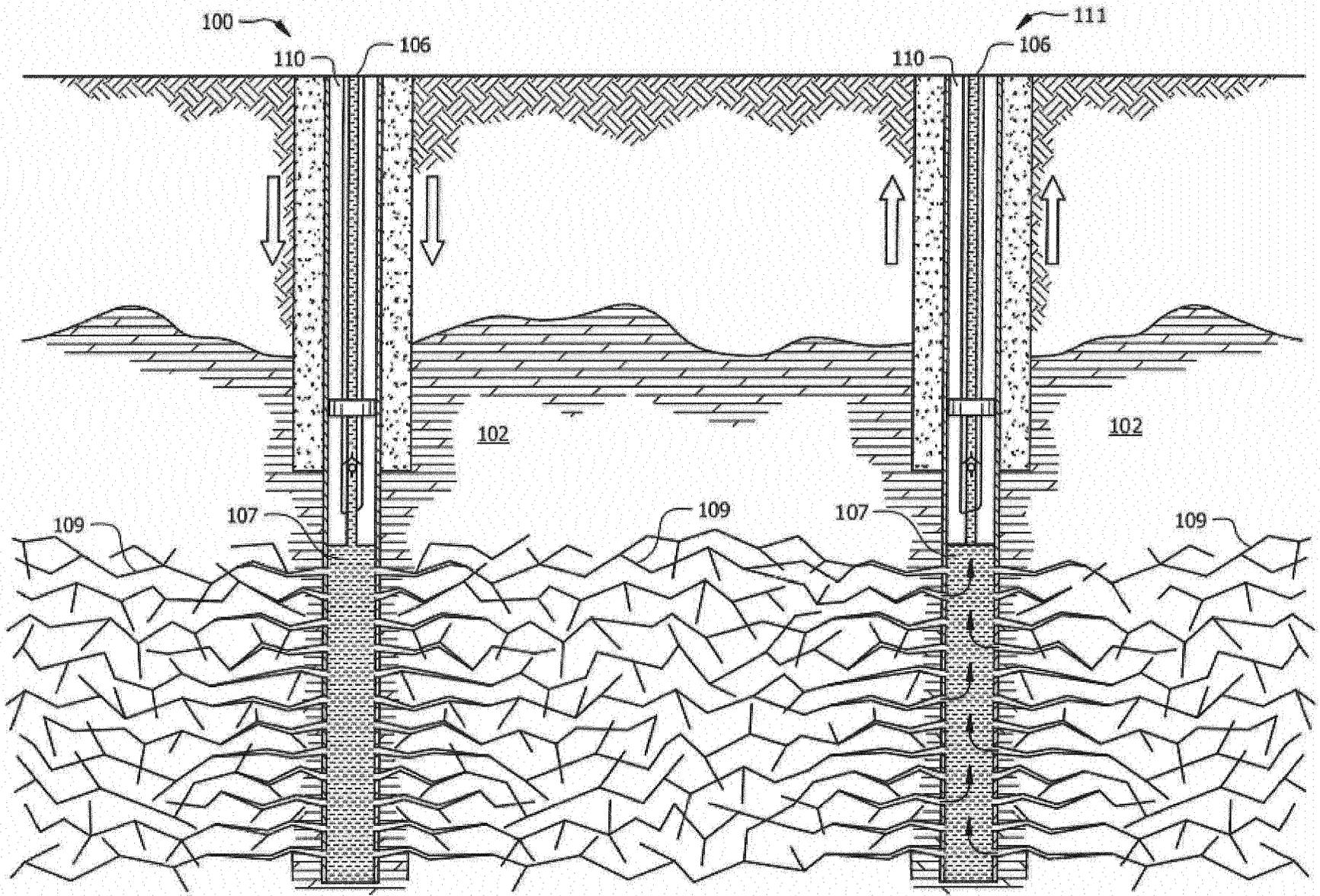
ФИГ. 2



ФИГ. 3



ФИГ. 4



ФИГ. 5