

Область техники

Изобретение относится к усовершенствованию добычи флюидов из скважин, пробуренных в подземных пластах. Более конкретно, оно относится к способу увеличения способности трещин отводить жидкость из пластов. В частности, оно относится к расклиненным трещинам, в которых имеются туннели ("червоточины"), идущие от поверхностей трещины в пласт, и к способам создания таких трещин.

Уровень техники

Течение флюидов через пористые среды, например добыча флюидов из скважин, определяется тремя главными факторами: размером пути потока флюидов, проницаемостью пути потока флюидов и движущей силой.

Часто бывает необходимо стимулировать выход флюидов из подземных пластов, когда производительность скважин не удовлетворительна. Перебои в добыче обычно обусловлены неподходящим или поврежденным путем для флюидов для потока из пласта к стволу скважины. Это может быть из-за того, что сам пласт имеет недостаточную пористость и/или недостаточную проницаемость или из-за того, что пористость и/или проницаемость у ствола скважины уменьшились (или нарушились) во время бурения, и/или заканчивания, и/или добычи. Существуют два основных подхода к интенсификации добычи: стимулирование матрицы и разрыв пласта. Стимуляцию матрицы выполняют путем закачивания флюида (например, кислоты или растворителя) для растворения и/или диспергирования веществ, которые ухудшают производительность скважины в песчаниках или для создания новых неповрежденных каналов между стволом скважины и карбонатным пластом. При стимуляции матрицы флюиды закачивают под давлением ниже давления разрыва пласта. Стимуляцию матрицы, которую обычно называют кислотной обработкой матрицы, когда стимулирующим флюидом является кислота, обычно используют только для обработки области вблизи ствола скважины. При кислотной обработке матрицы используемую кислоту (для карбонатов обычно соляную кислоту) закачивают под давлением достаточно низким, чтобы не допустить разрывов пласта. Необходимо учитывать особенности скважины и пласта (такие как температура и состав пласта) и регулировать параметры обработки (такие как сила кислоты и скорость закачивания) таким образом, чтобы образовались основные туннели, которые пронизывают зону, ближайшую к стволу скважины.

Когда кислоту закачивают в пласт, например карбонатный (известняковый или доломитовый), под давлением ниже давления разрыва, кислота течет преимущественно в области с самой высокой растворимостью или в области с самой высокой проницаемостью (т.е. области с самыми большими порами, пустотами или естественными трещинами). Реакция кислоты в области с высокой растворимостью или высокой проницаемостью в идеале вызывает образование больших хорошо проводящих поток каналов, называемых "туннелями", которые расположены приблизительно перпендикулярно к трещине. Создание туннелей связано со скоростью химической реакции кислоты с породой. Высокие скорости реакции, которые наблюдаются между обычными концентрациями неизмененных неорганических кислот, таких как HCl, и карбонатами благоприятствуют образованию туннелей. Кислоты, которые обычно используют для кислотной обработки, обладают высокой реакционной способностью в условиях коллектора и склонны образовывать ограниченное число каналов. Низкая скорость реакции способствует образованию нескольких туннелей небольшого диаметра. Однако если обработка не планируется должным образом, туннели не образуются. Вместо этого, например, если ток кислоты слишком мал, кислота реагирует с пластом равномерно, что обычно называют сплошным растворением, растворяя всю породу вблизи ствола скважины и не проникая глубоко в пласт, создавая там пути потока. Желательно образование туннелей при кислотной обработке матрицы.

При образовании трещин, с одной стороны, флюид закачивают в пласт под давлением выше, чем давление, при котором порода пласта будет разъединяться. Это создает сильно расширенный путь потока. Однако когда давление сбрасывается, трещина обычно закрывается и новый путь потока не сохраняется, если только оператор не обеспечивает некоторый механизм, с помощью которого трещину сохраняют открытой. Для этого обычно имеется два пути. При обычном расклиненном гидроразрыве, флюид, который используется для генерации или распространения трещины, является вязким и несет твердый расклинивающий агент, который захватывается трещиной, когда давление сбрасывается, предотвращая смыкание трещины. В кислотном разрыве, также известном как кислотная обработка, трещину генерируют или впоследствии обрабатывают кислотой. В данном случае, однако, параметры обработки ранее были отрегулированы так, что образование туннелей не имело места. Вместо этого, цель ранее состояла в том, чтобы разъесть поверхности трещины характерным образом. Затем, когда давление сбрасывается, трещина не закрывается полностью, так как характерное разъедание создает выступы между поверхностями таким образом, что они больше не соответствуют друг другу и получаются пустоты, из которых вещество удалено. В идеале характерное разъедание образует каналы для потока, в большинстве случаев проходящие вдоль поверхностей трещины от ствола скважины к концу трещины, что увеличивает добычу. При кислотном разрыве образование туннелей нежелательно, так как в способах, использовавшихся ранее, оно не происходит во многих точках вдоль трещины, а происходит, главным образом, только там, где кислота легче всего или прежде всего контактирует с пластом. Это наиболее типично для участков вблизи ствола скважины, хотя если имеются естественные высокопроводящие жилы, изломы, пустоты, и

т.п., могут быть другие области с высокой интенсивностью туннелей. За счет этого увеличивается количество кислоты, которое требуется (потери кислоты, которые по-другому используются для разъедания проводящих каналов), и увеличивается скорость закачивания, которая необходима, чтобы распространять трещину и сохранять трещину открытой. Таким образом, когда имеются туннели у ствола скважины при кислотном гидроразрыве, требуются большие количества кислоты и высокие скорости закачивания, чтобы флюид, который проникает далеко в трещину, если трещина вообще может образоваться, был по-прежнему достаточно кислым для реагирования с поверхностями трещины. Указанная ситуация обостряется тем, что даже хотя скорость закачивания, как видно в устье скважины, может быть высокой, скорость вытекания флюида из трещины (влияющая на скорость, с которой свежая кислота достигает той точки) может быть очень низкой, так как площадь поверхности трещины быстро увеличивается по мере распространения трещины.

При добыче из стимулируемой скважины, степень доступного пути потока является функцией размера и формы трещины и, конкретно, эффективной площади поверхности трещины.

Проницаемость пути потока представляет собой эффективную проницаемость трещины после смыкания, т.е. является проницаемостью упаковки расклинивающего агента или проницаемостью выеденных кислотой каналов. Движущей силой является характерное давление между флюидом в пласте и флюидом в скважине. Эта движущаяся сила изменяется вдоль длины трещины. Оптимальной трещиной является трещина с большой эффективной площадью поверхности и высокой эффективной проницаемостью. Так как это относится к максимизации добычи эквивалентный эффект даст больший эффективный радиус ствола скважины. Следовательно, требуется только небольшое падение давления, чтобы обеспечить высокую скорость потока флюида из пласта в скважину.

Ранее единственным способом создания трещины с высокой эффективной площадью поверхности для потока флюидов из пласта в трещину было генерирование трещины, которая была или высокой (предполагая вертикальную трещину), или длинной (расширяющейся далеко от ствола), или то и другое, и лучшим способом генерирования трещины, имеющей высокую эффективную проницаемость, был способ, использующий расклинивающий агент. Расклиненные трещины, имеющие туннели, тянущиеся от поверхности трещин в пласт, и способы формирования таких трещин были бы очень желательны, так как они имели бы высокую эффективную площадь поверхностей и скважины имели бы высокоэффективные радиусы ствола.

В патенте США № 3768564 излагается способ, в котором нерасклиненным трещинам дают возможность закрыться перед продолжительным контактом с кислотой. Каналы для потока разъедаются, пока трещину поддерживают в открытом состоянии, затем они расширяются только после того, как трещине позволяют закрыться. В патенте США № 3842911 описано применение расклинивающих агентов в указанном способе. В патенте описано образование трещины и введение расклинивающего агента в трещину с последующим полным закрытием трещины с расклинивающим агентом и затем закачиванием кислоты в условиях, при которых трещина остается закрытой, давая возможность создания каналов для потока на относительно большом расстоянии от ствола скважины. В патенте США № 4245702 описан способ гидроразрыва и кислотной обработки скважины с применением расклинивающих агентов, который особенно подходит для применения в относительно твердых пластах. В патенте США № 3642068 описано создание трещин с помощью вязкой среды с последующим доступом расклинивающего агента в трещину. Агент сдвигается в удаленное место в трещине с помощью кислоты, которая разъедает те части стенок трещины, которые находятся вблизи ствола скважины. Затем трещину закрывают. Образование туннелей не предлагается ни в одном из указанных способов разрыва.

Сущность изобретения

Один из вариантов осуществления настоящего изобретения состоит в пути потока в подземном пласте с пробуренной скважиной, который имеет одну или более расклиненных трещин с одним или несколькими первичными туннелями, вытянутыми по направлению от трещины или трещин в пласт. В еще одном варианте осуществления изобретения эти первичные каналы имеют вторичные каналы (туннели), выходящие из них. В любом из этих вариантов осуществления изобретения трещина имеет увеличенную эффективную площадь поверхности для притока флюидов в трещину из пласта.

Еще один вариант осуществления изобретения представляет собой способ формирования таких путей потока проведением последовательных стадий закачивания вязкого флюида-носителя, содержащего расклинивающий агент, со скоростью и под давлением, достаточными для разрыва пласта, предоставления возможности трещине закрыться и затем закачивания флюида, растворяющего пласт, со скоростью и под давлением, недостаточными для разрыва пласта. Особенно в карбонатных пластах флюид, растворяющий пласт, предпочтительно представляет собой самодивертирующую кислоту, аминополикарбоную кислоту, такую как гидроксипропантрикарбоную кислоту, или смесь аминополикарбоную кислоты, такую как тринатрий гидроксипропантрикарбоную кислоту, рН которой предпочтительно доведен до величины около 4 с помощью соляной кислоты, или смесь аминополикарбоную кислоты и соли аминополикарбоную кислоты. В песчаниках флюид, растворяющий пласт, обычно содержит фтористо-водородную кислоту или предшественник фтористо-водородной кислоты и необязательно содержит фосфонат. На стадии закачивания вязкого флюида-носителя, содержащего расклинивающий агент,

концевое экранирование трещины может необязательно быть индуцировано и деэмульгатор может необязательно быть включен во флюид. В еще одном варианте осуществления изобретения стадию закачивания флюида, растворяющего пласт, со скоростью и давлением, недостаточными для разрыва пласта, осуществляют в целях ремонта и коррекции, т.е. ее применяют в отношении ранее созданной трещины, из которой возможно пытались добывать или добывали флюиды.

Еще один вариант осуществления изобретения представляет собой способ создания таких путей потока, которые имеют повышенную эффективную площадь поверхности для притока флюида из пласта в трещину, обусловленную наличием туннелей на расстоянии от ствола скважины, в которые полимерный вязкий носитель-флюид, содержащий расклинивающий агент, закачивают со скоростью и давлением, достаточными для разрыва пласта, затем полимерный вязкий носитель-флюид, содержащий расклинивающий агент, нагнетают со скоростью и давлением, достаточными для того, чтобы сохранять трещину открытой (и необязательно распространять трещину), а затем трещине дают возможность закрыться. Концевое экранирование может необязательно быть индуцировано на первой стадии, несущей расклинивающий агент, и любой из флюидов-носителей может необязательно содержать деэмульгатор. В карбонатах растворяющий пласт вязкий флюид-носитель представляет собой предпочтительно вязкоэластичный флюид на основе поверхностно-активных веществ, и наиболее предпочтительно самодивертирующую (самоудаляющуюся) кислоту. В песчаниках вязкий флюид-носитель, растворяющий пласт, представляет собой предпочтительно фтористо-водородную кислоту или предшественник фтористо-водородной кислоты и необязательно содержит фосфонат.

Еще один вариант осуществления изобретения представляет собой способ создания таких путей потока, в которых растворяющий пласт вязкий флюид сначала закачивают со скоростью и под давлением, достаточными для разрыва пласта, затем закачивают вязкий флюид-носитель, содержащий расклинивающий агент, со скоростью и под давлением, достаточными для удерживания трещины в открытом состоянии, затем трещине дают закрыться. Особенно в карбонатах вязкий флюид-носитель, растворяющий пласт, предпочтительно содержит самодивертирующую кислоту, аминополикарбоновую кислоту, такую как гидроксизтилэтилендиаминтриуксуную кислоту, соль аминополикарбоновой кислоты, такую как тринатрий гидроксизтилэтилендиамин триацетат, pH которой предпочтительно доведен соляной кислотой до примерно 4, или смесь аминополикарбоновой кислоты и соли аминополикарбоновой кислоты. В песчаниках вязкий флюид-носитель, растворяющий пласт, обычно содержит фтористо-водородную кислоту или предшественник фтористо-водородной кислоты и необязательно содержит фосфонат. Любой растворяющий пласт вязкий флюид, вязкий флюид-носитель или оба флюида могут содержать деэмульгатор.

Еще один вариант осуществления изобретения представляет собой способ создания таких путей потока, в которые сначала закачивают вязкий флюид-носитель, содержащий расклинивающий агент, со скоростью и под давлением, достаточными для разрыва пласта, затем флюид, растворяющий пласт, закачивают со скоростью и под давлением, достаточными, чтобы поддерживать трещину открытой, и затем трещине дают закрыться. Особенно в карбонатах растворяющий пласт флюид предпочтительно представляет собой самодивертирующую кислоту, аминополикарбоновую кислоту, такую как гидроксизтилэтилендиаминтриуксуную кислоту, соль аминополикарбоновой кислоты, такую как тринатрий гидроксизтилэтилендиаминтриацетат, pH которой предпочтительно доведен соляной кислотой до около 4, или смесь аминополикарбоновой кислоты и соли аминополикарбоновой кислоты. В песчаниках флюид, растворяющий пласт, обычно содержит фтористо-водородную кислоту или предшественник фтористо-водородной кислоты и необязательно содержит фосфонат. Концевое экранирование может необязательно индуцироваться на стадии с расклинивающим агентом, и деэмульгатор может необязательно быть включен в вязкий флюид-носитель. Стадия закачивания вязкого флюида-носителя (необязательно содержащего деэмульгатор), содержащего расклинивающий агент, со скоростью и под давлением, достаточными, чтобы сохранять трещину открытой, может быть включена после стадии закачивания растворяющего пласта флюида и до того, как дать возможность трещине закрыться.

Еще один вариант осуществления изобретения представляет собой способ создания таких путей потока, в которых вязкий флюид-носитель, растворяющий пласт, содержащий расклинивающий агент, закачивают со скоростью и под давлением, достаточными, чтобы вызвать образование трещин, и трещинам дают возможность закрыться. Концевое экранирование может необязательно быть индуцировано и вязкий флюид-носитель, растворяющий пласт, может необязательно содержать деэмульгатор. В карбонатах вязкий флюид-носитель, растворяющий пласт, представляет собой предпочтительно вязкоэластичный флюид на основе поверхностно-активных веществ, а наиболее предпочтительно самодивертирующую кислоту. В песчаниках вязкий флюид-носитель, растворяющий пласт, предпочтительно содержит фтористо-водородную кислоту или предшественник фтористо-водородной кислоты и необязательно содержит фосфонат.

Еще один вариант осуществления изобретения представляет собой способ увеличения эффективной площади поверхности для притока флюидов из существующего естественного разлома, который уже связан со скважиной или трещиной, в которую закачивают вязкий флюид-носитель, растворяющий пласт, со скоростью и под давлением, недостаточными, чтобы вызвать разрыв пласта. В карбонатах растворяющий

пласт вязкий флюид-носитель представляет собой предпочтительно вязкоэластичный флюид на основе поверхностно-активных веществ, а наиболее предпочтительно самодивертирующую кислоту. В песчаных растворяющий пласт вязкий флюид-носитель предпочтительно содержит фтористо-водородную кислоту или предшественник фтористо-водородной кислоты и необязательно содержит фосфонат. Растворяющий пласт вязкий флюид-носитель может необязательно содержать расклинивающий агент и/или деэмульгатор.

Краткое описание чертежей

На фиг. 1 схематично показана обычная трещина;

на фиг. 2 схематично показана трещина, в которой имеются первичные или вторичные каналы ("туннели").

Подробное описание предпочтительных вариантов осуществления изобретения

Принципы и способы, описанные ниже, применяют к минералам любого типа, хотя они будут обсуждаться на примерах карбонатов и песчаников. Пласты, которые как полагают, являются карбонатами, могут содержать некоторое количество песчаника и наоборот. Также, когда авторы описывают ситуации, в которых кислота взаимодействует с первым веществом, с которым она приводится в контакт, авторы будут описывать место протекания реакции, как реакция "вблизи ствола скважины", хотя, разумеется, могут быть ситуации, в которых место, где большая часть кислоты первой контактирует с пластом находится далеко, например, когда имеются естественные жилы с очень высокой проводимостью, или трещины, или пустоты. В данной ситуации выражение "вблизи ствола скважины" следует понимать как означающее, прежде всего, в локализованной области, легче всего доступной для кислоты.

Многочисленные исследования способа образования туннелей при стимуляции матрицы (например, при кислотной обработке) показывают, что модель растворения, создаваемая потоком кислоты, происходит по одному из трех механизмов (а) сплошного растворения, при котором большая часть кислоты расходуется вблизи плоскости забоя; (b) образования туннелей, в которых растворение быстрее происходит на концах небольшого числа микроканалов (т.е. туннелей) с высокой проводимостью, чем на стенках скважины; и (с) равномерного растворения, в котором множество пор расширяются, что обычно происходит при кислотной обработке песчаника. Сплошное растворение происходит, когда кислота расходуется на поверхности пласта. В этом случае проникание активной кислоты обычно ограничивается несколькими сантиметрами ствола скважины. Равномерное растворение происходит, когда кислота реагирует в соответствии с законами течения жидкости через пористую среду. В этом случае максимальное проникание активной кислоты будет равно объемному прониканию закачиваемой кислоты. Равномерное растворение является также предпочтительным первичным механизмом разъедания проводящих каналов на поверхностях трещины при кислотном гидроразрыве, что будет рассматриваться ниже. Цели процесса обработки кислотой достигаются наиболее эффективно, когда проницаемость вблизи ствола скважины увеличивается на наибольшую глубину наименьшим объемом кислоты. Это имеет место в механизме (b), указанном выше, когда реализуется модель образования туннелей.

Механизм растворения, который реализуется, зависит от потока кислоты. Поток кислоты представляет собой объем кислоты, который протекает через данную область в течение данного промежутка времени. Сплошное растворение происходит при относительно низком потоке, туннели образуются при потоке промежуточной величины, и равномерное растворение происходит при сильном потоке. Резкого перехода из одного режима в другой не происходит. По мере увеличения потока кислоты сплошное растворение изменяется и переходит в режим, при котором создаются туннели большого диаметра. Дальнейшее увеличение потока дает более узкие туннели, которые распространяются дальше для данного объема закачиваемой кислоты. В итоге поток кислоты продолжает увеличиваться, появляется все больше и больше разветвленных туннелей, что приводит к режиму, ограничивающему потерю флюида и менее эффективному использованию кислоты. Данное явление отрицательно влияет на эффективность стимуляции матрицы, особенно на скорость, с которой разветвленные туннели образуют вторичные каналы; имеется много каналов, но они не достигают большой глубины. В конце концов, тогда наблюдается механизм практически равномерного растворения. Таким образом, наиболее эффективным способом кислотной обработки матрицы является способ, который будет создавать туннели с минимальными разветвлениями и характеризуется применением наименьших объемов кислоты для распространения туннелей на данное расстояние.

Образование туннелей представляет собой предпочтительный способ растворения для кислотной обработки матрицы, например, карбонатных пластов, так как он эффективно образует каналы с высокой проводимостью. Следовательно, оптимизация формирования туннелей является ключевым моментом в успехе таких обработок. Закачивание потока кислоты, близкого к оптимальному или выше оптимального потока, является решающим фактором для обеспечения успешной кислотной обработки карбоната из-за риска сплошного растворения, которое может произойти в результате более медленного закачивания кислоты. Другими словами, закачивание кислоты с высокой скоростью будет обычно способствовать успешной кислотной обработке матрицы, и закачивание кислоты с оптимальной скоростью потока обеспечивает наиболее эффективную кислотную обработку матрицы. Однако оптимум является сложной функцией свойств пласта, свойств кислоты и условий кислотной обработки, например температуры, так

что не существует простых правил для определения того, какие скорости являются лучшими. Сложность возникает непосредственно из наличия набора механизмов растворения, создаваемых взаимодействием кислоты с карбонатами. Когда скорость потока кислоты низка, распространение туннелей затруднено из-за медленной конвекции кислоты, и скорость распространения туннелей определяется равновесием между конвекцией и молекулярной диффузией. Когда скорость потока кислоты достаточно высока, распространение туннелей ограничено главным образом скоростью реакции, и рост туннелей определяется равновесием между реакцией на поверхности и молекулярной диффузией.

При кислотном гидроразрыве, с другой стороны, во многих случаях глубина стимуляции (длина трещины) обычно ограничена быстрым расходом (сплошное растворение) кислоты у ствола скважины и потерями кислоты через поверхности трещины (обычно ссылаются на утечку флюида или потери флюида). Утечка флюида представляет собой динамический процесс, на который существенным образом влияет формирование туннелей, которые образуются в пористых стенках трещины. При кислотном гидроразрыве эти туннели всегда считают вредным фактором, так как они образуются близко к стволу скважины и отклоняют флюид от трещины, при этом расходуются большие количества кислоты и не получают повышения проводимости трещины.

Авторы изобретения показали, что выгодно создавать расклиненные трещины, в которых имеются туннели на поверхностях трещины, удаленные от ствола скважины. Их создают во время стимулирующей обработки или во время или после стадии расклинивания с соответствующим регулированием и уравниванием скорости реакции, скорости диффузии и скорости закачивания (что регулирует конвекцию) для данного закачиваемого реакционноспособного флюида, растворяющего пласт, и для данных температуры, давления и состава пласта. Путем регулирования скорости закачивания и реакционной способности флюида достигается эффективность реакционноспособного флюида, растворяющего пласт, в создании нужным образом расположенных туннелей и стимуляция оптимизируется. Специалисты в области кислотной обработки матрицы и кислотного гидроразрыва получают данные, взаимосвязи и модели реакций реакционноспособных флюидов с минералами пластов. Указанные данные, взаимосвязи и модели использовались ранее, чтобы не допустить образования каналов при кислотном гидроразрыве и сделать максимальным образование туннелей при кислотной обработке матрицы. Примеры представлены в патентной заявке США № 10/065,441, которая имеет того же патентовладельца, что и настоящая заявка, и в патенте США № 6196318. Указанные данные, взаимосвязи и модели можно использовать вместо того, чтобы выбирать флюиды и готовить проекты работ по ускорению формирования туннелей в расклиненных трещинах.

При генерации туннелей в поверхностях расклиненных трещин сталкиваются с некоторыми из таких же проблем, такими как разъедание поверхности трещин во время кислотного разрыва. Так, следует позаботиться о том, чтобы все или большая часть реакций кислоты не происходили слишком близко к скважине. Известно в данной области техники, что для того, чтобы достичь максимальной эффективности процесса кислотного разрыва часто желательно максимально увеличить время, в течение которого трещина подвергается действию кислоты, в то же время экономически обоснованно ограничивать количество используемой кислоты. Однако в ранее использовавшихся методиках кислотного разрыва, при максимальном времени воздействия кислоты часто получают результаты хуже ожидаемых. Например, когда кислотную обработку с гидроразрывом пласта осуществляют сначала созданием трещины в пласте и затем при продолжении закачивания кислоты в трещину с высокой скоростью и под давлением в одну или несколько стадий поверхности трещины, примыкающие к скважине, разъедаются большим количеством кислоты в течение относительно длительного периода времени; и все же поверхности трещины, самые отдаленные от скважины, могут иметь недостаточный контакт с кислотой даже после закачивания большого количества кислоты. В некоторых пластах чем дальше кислота разъедает породу, прилегающую к скважине, тем более вероятно, что поверхности породы станут более мягкими или чрезмерно разъедены кислотой, так что при закрытии поверхности будут давить друг на друга, эффективно разрушая или ограничивая каналы потока, созданные вблизи скважины. В других пластах, которые взаимодействуют медленнее, время контакта кислоты и эффективное проникновение кислоты в трещину может быть недостаточным, чтобы обеспечить дополнительные каналы потока на расстоянии, не близком к скважине.

Хотя авторы применяли и продолжают применять термины "кислотная обработка" и "кислотный гидроразрыв", так как они так укоренились в промышленности, вместо термина "кислота" авторы будут часто использовать термин "флюид, растворяющий пласт", потому что кислоты представляют собой не только реакционноспособные флюиды, которые будут растворять минерал пласта. В некоторых оптимизированных способах образования расклиненных трещин, имеющих туннели, проходящие от поверхностей трещины вдали от ствола скважины, кислоты не являются оптимальными реакционноспособными флюидами. Последние достижения в составах флюидов, растворяющих пласт, связаны с теоретическим обоснованием образования туннелей. Авторы конкретизируют далее, но кроме известных гелеобразных кислот, эмульгированных кислот и кислот, содержащих ретарданты, которые используют или неорганические, или органические кислоты, или смеси этих обычных кислот, теперь разработаны новые нетради-

ционные реакционноспособные флюиды, в которых применяют, главным образом, системы хелатообразователей, и показано, что они генерируют туннели в карбонатных пластах месторождений, когда оптимизирован весь процесс воздействия на пласт. Примеры нетрадиционных флюидов, растворяющих пласт, включают аминополикарбоновые кислоты и их соли, которые иногда называют "некислотными реакционноспособными растворами" или NARS, когда они представляют собой основные соли. Кроме того, новые самодивертирующие туннелеобразующие кислотные системы, которые являются вязкоэластичными поверхностно-активными системами, вязкость которых резко меняется в зависимости от pH, также доступны для такого применения, что могло бы увеличить образование туннелей из поверхности трещин.

Реакционная способность флюида, растворяющего пласт, может быть выбрана (например, с применением компьютерных программ по имитации гидроразрыва и/или кислотной обработки), исходя из скорости потока и параметров пласта и флюида. Реакционную способность флюида, растворяющего пласт, можно регулировать изменяя скорость реакции, скорость массопереноса или обе. Например, скорость реакции можно уменьшить путем изменения типа флюида, растворяющего пласт, путем изменения вида флюида от раствора к эмульсии, путем прибавления соответствующих солей (которые изменяют константы равновесия реакции на поверхности), или путем повышения pH флюида, растворяющего пласт. Скорость реакции также можно уменьшить, изменяя физические условия обработки (например, уменьшая скорость закачивания потока и/или давление закачивания или охлаждая флюид, растворяющий пласт, используя внешние и внутренние средства охлаждения (например, закачивание с длительным этапом закачки жидкости с набивкой или с добавлением азота или другого газа, который инертен в данном способе).

Вообще для создания расклиненных трещин с туннелями на их поверхностях вдали от ствола скважины, простые неорганические кислоты, такие как HCl, HF или смеси HCl и HF будут слишком реакционноспособны и будут расходоваться слишком близко к скважине. Обычно необходимо использовать менее реакционноспособный флюид, растворяющий пласт.

Неограничивающими примерами будут органические кислоты (такие как уксусная или муравьиная кислоты, реакционную способность которых можно дополнительно регулировать включением различных количеств ацетата натрия или формиата натрия соответственно), хелатообразователи, такие как аминополикарбоновые кислоты (такие как этилендиаминтетрауксусная кислота или гидроксипентаметилэтилендиаминтриуксусная кислота (HEDTA), реакционную способность которых можно дополнительно регулировать их частичным или полным превращением в натриевые, калиевые или аммониевые соли или регулированием pH (например, с помощью HCl), или медленно действующие неорганические кислоты (такие как гелеобразная или эмульгированная HCl, реакционную способность которой можно дополнительно регулировать манипулируя выбором и концентрацией поверхностно-активного вещества и соотношением вода/масло).

Хелатообразователи, пригодные для данного изобретения, представляют собой многочисленный класс веществ. Класс хелатообразователей включает, например, аминополикарбоновые кислоты и фосфоновые кислоты и их натриевые, калиевые и аммониевые соли. HEDTA и HEIDA (гидроксипентаметилэтилендиуксусная кислота) применимы в настоящем способе; свободные кислоты и их соли Na, K, NH_4^+ (и соли Ca) растворимы в сильной кислоте, а также при высоком pH, поэтому их легче использовать при любом pH и в сочетании с любыми другими реакционноспособными флюидами (например, HCl). Другие представители аминополикарбоновых кислот, в том числе EDTA, NTA (нитрилтриуксусная кислота), DTPA (диэтилентриаминпентауксусная кислота) и CDTA (циклогексиленидиаминтетрауксусная кислота) также подходят. При низких значениях pH эти последние кислоты и их соли могут быть менее растворимы. Примеры подходящих фосфоновых кислот и их солей включают ATMP: аминотри(метилфосфоновую кислоту); HEDP: 1-гидроксипентаметил-1,1-фосфоновую кислоту; HDTMPA: гексаметилендиаминтетра(метилфосфоновую кислоту); DTPMPA: диэтилендиаминпентаметилфосфоновую кислоту и 2-фосфобутан-1,2,4-трикарбоновую кислоту. Все эти фосфоновые кислоты доступны от компании Solutia, Inc., St. Louis, MO, USA, как DEQUEST фосфонаты (DEQUEST - зарегистрированная торговая марка компании Solutia). Такие вещества известны на нефтяных промыслах. Однако при обработках предшествующего уровня техники такие флюиды не вводили в пласт таким образом, чтобы поддерживать оптимальную эффективность формирования туннелей, и они не были так эффективны, как способы настоящего изобретения в создании туннелей в пласте, идущие от поверхностей трещины. Особенно предпочтительными растворителями (дисольверами) на основе хелатообразователей являются такие растворители, которые содержат гидроксипентаметилкарбоновые кислоты, такие как гидроксипентаметилэтилендиаминтриуксусная кислота (HEDTA), гидроксипентаметилдиуксусная кислота (HEIDA) или их смесь, как описано в патенте США № 6436880, который имеет того же патентовладельца, что и настоящая заявка, и который включен в настоящее описание в качестве ссылки. Флюиды, содержащие такие хелатообразователи, можно сделать более вязкими.

Особенно предпочтительными самодивертирующими кислотными системами, способными образовывать туннели, являются системы, изготовленные из растворов некоторых поверхностно-активных веществ, в частности, некоторых бетаинов, необязательно в сочетании со вспомогательными поверхност-

но-активными веществами или низшими спиртами. Примеры описаны в патенте США № 6399546, патентной заявке США № 10/054161 и патентной заявке США № 10/065144, все они имеют того же патентовладельца, что и рассматриваемая заявка, и все включены в настоящее описание в качестве ссылки. Крайне предпочтительная самодивертирующая кислота изготовлена из эрукового амидопропилдиметилбетаина. Указанные самодивертирующие кислотные системы, образующие туннели, обладают важным свойством, которое состоит в том, что они имеют вязкости, подобные вязкости воды, в соответствии с рецептурой (когда они сильнокислые), но их вязкость резко увеличивается по мере того, как увеличивается рН выше величины около 2-2,5, при котором они реагируют.

Для специалистов в данной области очевидно, что в способах по изобретению применяют традиционные способы гидравлического разрыва, использующие расклинивающий агент, соответствующей регулировкой, если она необходима. Одна из предпочтительных обработок для воздействия на трещину по настоящему изобретению обычно начинается с традиционного этапа набивки для создания трещины с последующей последовательностью стадий, в которых вязкий флюид-носитель доставляет расклинивающий агент в трещину по мере того, как трещина развивается. Как правило, в данной последовательности стадий количество расклинивающего агента увеличивается, обычно постепенно. Набивка и флюид-носитель могут быть и обычно являются гелеобразными водными флюидами, такими как вода или рассол, вязкость которых увеличена вязкоэластичным поверхностно-активным веществом или водорастворимым или диспергируемым полимером, таким как гуар, гидроксипропилгуар или им подобные. Набивка и флюид-носитель могут содержать различные добавки. Неограничивающими примерами являются добавки для снижения водоотдачи, сшивающие агенты, стабилизаторы глин и агенты, регулирующие подвижность флюидов, такие как волокна, деэмульгаторы и им подобные при условии, что добавки не влияют на стабильность или действие флюида, растворяющего пласт.

Процедуры для закачивания флюидов, воздействующих на трещину вниз от скважины к трещине подземного пласта хорошо известны. Специалист, который планирует такой гидравлический разрыв пласта является специалистом обычного уровня, которому предназначено данное изложение. Такой специалист имеет в распоряжении множество полезных инструментов для того, чтобы спланировать и осуществить разрыв пласта, одним из них являются компьютерные программы, обычно относящиеся к моделям воздействия на трещину (также известные как модели гидроразрыва, стимуляторов гидроразрыва и модели расположения трещин). Большая часть, если не все, коммерческих обслуживающих компаний, которые предоставляют услуги по гидроразрыву на нефтепромыслах, имеют одну или несколько моделей воздействия на трещины, которые используют их специалисты, проектирующие гидроразрывы. Одна коммерческая модель воздействия на скважину, которая широко используется несколькими обслуживающими компаниями, известна как FracCADETM. Данная коммерческая компьютерная программа представляет собой программу по расчету, прогнозу и мониторингу гидроразрыва, которая была создана компанией Schlumberger, Ltd. Все разнообразные модели воздействия на трещину используют в расчетах информацию, доступную тому, кто проектирует гидроразрыв, которая касается пласта, который подвергается обработке и различных флюидов (и добавок) для гидроразрыва, результатом расчетов по программе является график закачивания, который используют для закачивания в скважину флюидов, воздействующих на разрыв. Текст "Reservoir Stimulation, "Third Edition, Edited by Michael J. Economides and Kenneth G. Nolte, Published by John Wiley & Sons, (2000), представляет собой отличный справочник по гидроразрыву и другим методам обработки скважин; в нем рассматриваются модели воздействия на трещину в главе 5 (стр. 5-28) и в приложении к главе 5 (стр. A-15)), которые включены в данную заявку в качестве ссылок.

В некоторых предпочтительных вариантах осуществления изобретения нет необходимости генерировать длинную трещину в пласте, так как поверхность трещины, доступная для притока флюидов, увеличивается за счет создания туннелей. В таком случае, чтобы сохранить флюиды, гидравлическую мощность, время и деньги, концевое экранирование может быть целесообразным. При концевом экранировании концентрация твердых веществ в конце трещины становится так высока из-за утечки флюида в пласт, что взвесь перестает быть подвижной. Концентрированная взвесь расклинивающего агента закупоривает трещину, предотвращая дополнительный рост трещины в длину. Дополнительное закачивание расклинивающего агента/взвеси флюида в пласт после того, как произошло концевое экранирование, заставляет трещину раздуваться. Трещина растет в ширину, а не в длину, и в трещину вводят расклинивающий агент в больших концентрациях в расчете на площадь поверхности. Работы можно сознательно спланировать таким образом, чтобы увеличить вероятность концевой экранировки, и можно предпринять дополнительные шаги, чтобы индуцировать концевое экранирование, например, способами, описанными в патентных заявках США № 10/214817 и № 10/227690, у обеих заявок тот же патентовладелец, что и у настоящей заявки.

Многие из флюидов, растворяющих пласт, по изобретению, такие как кислоты, будут иметь дополнительные преимущества, являясь деэмульгаторами для полимеров или некоторых поверхностно-активных веществ и/или мицелл в вязкоупругих поверхностно-активных жидкостях (VES). Еще одним преимуществом способа является то, что он позволяет оператору проталкивать активный флюид, растворяющий пласт, дальше и быстрее, так как некоторая часть объема трещины уже занята расклинивающим

агентом. Еще одно преимущество состоит в том, что оператор может закачивать флюид во фракцию с расклинивающим агентом при намного более низком давлении; что является экономическим преимуществом. Это позволяет также осуществлять стадию растворения пласта при скорости потока, оптимальной для формирования туннелей в нужном месте, а не при той скорости потока, которая диктуется необходимостью сохранять трещину открытой.

На фиг. 1 схематично показан (не в масштабе) вид сверху (предполагая приблизительно вертикальную трещину) половины трещины [1], проходящей от скважины [2] в пласт. Не показана вторая половина трещины, вытянутая в приблизительно противоположном направлении. Если трещина расклинена, большая часть объема трещины заполнена расклинивающим агентом (не показано). Если трещина получена в результате кислотного гидроразрыва, на поверхности [3] трещины будут разъедены каналы ("червоточины") (не показаны). На фиг. 2 показана трещина, имеющая туннели (первичные каналы) [4], которые проходят от поверхностей трещины в пласт и дополнительные туннели [5] (вторичные каналы), которые отходят от первичных каналов.

В обычных трещинах, таких как трещина, показанная на фиг. 1, путь, доступный для флюидов в пласте на любом поддающемся оценке расстоянии от трещины, для притока в трещину, ограничен площадью поверхности сторон трещины. Флюиды должны протекать через пласт до тех пор, пока они не достигнут трещины, и проницаемость пласта намного ниже, чем проницаемость трещины. Локальная площадь поверхности увеличивается прямо на поверхности трещины по причине характерного разъедания, сплошное растворение или равномерное растворение не уменьшают длину пути, по которому флюиды должны следовать через пласт до тех пор, пока не достигают пути с высокой проницаемостью; т.е. они не увеличивают эффективную площадь поверхности. Однако туннели, представляющие собой каналы с высокой проницаемостью для флюидов, которые тянутся в пласт, действительно способствуют притоку флюидов из пласта в трещину, так как они дают флюидам возможность входить в каналы с высокой проницаемостью, когда они находятся далеко от трещины. Когда имеется несколько вторичных каналов (вторичных туннелей), ответвляющихся от основных каналов (первичных туннелей), возможностей может быть даже больше. Расклиненные трещины с туннелями могут быть созданы во всех типах пластов, например глубоких горячих карбонатных пластах и неглубоких пластах песчаника с высокой проницаемостью. Когда обрабатывают пласты песчаника, флюид, растворяющий пласт, содержит предпочтительно фтористо-водородную кислоту и может содержать фосфонат, такой как на неограничивающем примере фосфонатсодержащий полимер или диэтилентриаминпента(метилфосфоновая кислота).

Конкретные способы формирования туннелей, которые тянутся от поверхностей расклиненной трещины, делятся на две категории: а) способ, в котором формируется закрытая расклиненная трещина и затем образуются туннели, и б) способ, в котором трещина и система каналов образуются до того, как происходит закрытие. Более поздние стадии подхода, при котором образуется закрытая расклиненная трещина и затем формируются туннели, могут также использоваться в ремонтных и коррекционных целях, то есть для улучшения отдачи ранее образованной расклиненной трещины. Можно также использовать любые способы, где уже имеются естественным образом возникшие трещины или пустоты (или и те, и другие, которые далее авторы будут называть "щели") в пластах, которые контактируют со стволом скважины, или непосредственно, или в результате создания гидроразрыва. Следует понимать, что растворяющие пласт флюиды, создающие туннели, и способы по изобретению эффективны при скоростях и давлениях выше или ниже скоростей и давлений образования трещин для любых пластов. Следует также понимать, что когда флюид, растворяющий пласт, закачивают в условиях, оптимальных для создания туннелей, тогда в большинстве случаев, чем дольше продолжается закачивание флюида, тем глубже в пласт проникают туннели и тем лучше будут результаты. В конечном итоге следует понимать, что можно использовать механические и химические отклонители потока (диверторы) для того, чтобы дать возможность используемым флюидам поступать в пласты, представляющие интерес.

Способы формирования расклиненных трещин с туннелями пытались создать ранее, но обычно они оказывались неудовлетворительными, не только потому, что динамика образования туннелей не совсем ясна и доступные компьютерные программы для определения оптимальных планов работ не подходили для данной цели, но также и потому, что некоторые флюиды, растворяющие пласт, были недоступны. Например, даже в случае медленно действующих кислот кислота не будет проникать на всю длину расклиненной скважины. Недавно были разработаны два новых типа флюидов, которые помогают сделать указанные способы возможными, особенно для обработки карбонатов. (Когда обрабатывают пласты из песчаника, флюиды, растворяющие пласт, предпочтительно содержат фтористоводородную кислоту и могут содержать фосфонат, такой как в неограничивающем примере, фосфонатсодержащий полимер или диэтилентриаминпента(метилфосфоновая кислота)).

Два новых типа флюидов, на которые авторы ссылаются выше, подходят для различных температур. При пониженных температурах, например ниже 300°F, необходимо использовать довольно сильный флюид, растворяющий пласт, так что ключ к успеху состоит в том, чтобы обеспечить, чтобы не все туннели образовывались слишком близко к скважине. При более высоких температурах, например выше 300°F, необходим флюид, который не слишком реакционноспособен при низких температурах, но действительно реагирует при более высоких температурах. Авторы обнаружили, что флюиды на основе по-

верхностно-активных веществ, которые обладают низкой вязкостью (приблизительно сравнимую с вязкостью воды в сравнимых условиях), когда они получены в сильной кислоте, но образуют мицеллярные структуры, имеющие высокую вязкость, когда кислота расходуется и pH повышается до около 2-2,5, являются особенно подходящими флюидами при пониженных температурах. Указанные вещества, называемые "вязкоэластичные отклоняющие кислоты", или VDA, обладают дополнительным ценным свойством, которое состоит в том, что они теряют высокую вязкость при контакте с флюидами пласта, любой водой пласта, любым конденсатом или нефтью. Если основным флюидом в пласте является углеводород, который представляет собой газ при давлении поверхности, например метан, имеются доступные деэмульгаторы, которые могут разрушить, или мицеллярную структуру, или само поверхностно-активное вещество. Примеры VDA приведены выше.

Способы будут описаны без обсуждения набивки, хотя должно быть понятно, что набивки обычно используют. Чтобы использовать VDA в способе, в котором образуется закрытая расклиненная трещина и затем формируются туннели, генерируют традиционный гидроразрыв с обычными полимерными агентами, повышающими вязкость во флюиде-носителе. Флюид-носитель может содержать деэмульгаторы, вспомогательные агенты для деэмульгирования и чистящие добавки. Трещине дают возможность закрыться и дают время флюиду для деэмульгирования, если необходимо; трещина может также необязательно быть опять заполнена. На данной стадии трещина содержит расклинивающий агент и любой деэмульгированный флюид трещины или флюид пласта. Затем закачивают VDA с низкой вязкостью и высокой кислотностью под давлением ниже давления в трещине и при скорости потока, рассчитанной таким образом, чтобы способствовать образованию туннелей, особенно сети разветвленных туннелей, с учетом температуры, концентрации VDA и свойств пласта. Авторы не ограничиваются теорией, но считается, что VDA работает в данном способе следующим образом. Первый VDA закачанный флюид создает туннель или сеть туннелей у скважины или вблизи скважины. Однако поскольку кислота расходуется, вязкость VDA в первоначально генерированном туннеле или сети разветвленных туннелей увеличивается и впоследствии закачанная кислота не может течь в туннель, а скорее течет дальше в трещину и инициирует генерирование еще одного туннеля или сети разветвленных туннелей. По мере того, как расходуется кислота, вязкость VDA также возрастает и процесс повторяют постепенно дальше и дальше от ствола скважины до тех пор, пока туннели генерируются во многих точках на поверхности первоначальной трещины. После образования туннелей закачивание VDA прекращают, вязкость VDA в туннелях уменьшается из-за нестабильности, свойственной мицеллам или поверхностно-активному веществу, обусловленной временем и температурой, или из-за деэмульгаторов, включенных в состав первоначальной VDA, или из-за уменьшения давления в устье скважины и разворачивания потока и возможности контакта флюидов пласта с VDA.

Флюиды, используемые при высоких температурах, представляют собой хелатообразующие агенты, как описано ниже. Особенно предпочтительными примерами являются растворители на основе хелатообразователей, содержащие гидроксиэтиламинокарбоновые кислоты, такие как гидроксиэтилэтилендиаминтриуксусная кислота (HEDTA), гидроксиэтилиминодиуксусная кислота (HEIDA), или их смесь, как упоминалось выше. Указанные вещества обладают низкой реакционной способностью, низкой вязкостью, но высокой растворяющей способностью. Доступные ранее флюиды, растворяющие пласт, были сильными кислотами, медленно действующими кислотами или органическими кислотами. Причины, по которым сильные кислоты не могут быть использованы, стали совершенно очевидны. Медленно действующие кислоты невозможно применять потому, что они или являются слишком вязкими, или представляют собой эмульсии; ни один из видов флюида нельзя закачать в расклиненную трещину без сильного ухудшения результатов. Для вязких флюидов потребуется высокая гидравлическая мощность и/или их придется закачивать с очень низкой скоростью, чтобы не допустить распространения трещины и/или вытеснения расклинивающего агента с участков трещины, близких к скважине. Кроме возможных осложнений, связанных с высокой вязкостью, будет трудно поддерживать устойчивость эмульсий при высоких температурах и в потоке через упаковку расклинивающего агента. Прибавление смачиваемого нефтью поверхностно-активного вещества к водной кислоте для образования эмульсии с целью создать барьер для миграции кислоты к поверхности породы часто требует непрерывного закачивания нефти во время обработки. Кроме того, указанные системы часто неэффективны при высоких температурах пласта и высоких скоростях потока, так как поглощение поверхностно-активного вещества на породе пласта уменьшается. Эмульгированные кислотные системы также ограничены из-за увеличенного сопротивления трения течению. Органические кислоты не подходят, так как они намного дороже, чем неорганические кислоты, и хотя они имеют пониженную скорость реакции, их реакционная способность также намного ниже - фактически они до конца не реагируют, а устанавливается равновесие с породой пласта. Следовательно, один моль HCl дает один моль доступной кислоты (например, H^+), но один моль уксусной кислоты дает, по существу, меньше чем один моль доступной кислоты. Однако так как описанные вещества на основе хелатообразователей имеют низкую реакционную способность при высокой температуре, низкую вязкость, но высокую растворяющую способность, их можно закачивать в расклиненные трещины со скоростью, необходимой для того, чтобы генерировать туннели без распространения трещин или вытеснения расклинивающего агента.

По тем же причинам указанные два типа флюидов предпочтительны (хотя можно использовать и другие) во второй категории способов формирования расклиненных трещин с туннелями, идущими от поверхностей трещин в пласт: тех способов, в которых трещина и вся система каналов образуются до смыкания трещины. Имеется четыре варианта такого подхода.

Первый вариант, где флюид-носитель на ранних стадиях переноса расклинивающего агента представляет собой обычный водный флюид, загущенный полимером, и флюид-носитель на более поздних стадиях переноса расклинивающего агента представляет собой вязкий флюид, растворяющий пласт. Каждый флюид закачивают под давлением и со скоростью, достаточными для генерирования и распространения трещин. Согласно неограничивающему примеру на ранних стадиях увеличивают вязкость флюида-носителя с помощью гуара или замещенного гуара, содержащего дезэмульгатор, такой как окислитель и/или фермент. Флюид, который не растворяет пласт, используют на этих стадиях для того, чтобы генерировать трещину нужного размера и нужной формы без проблем, с которыми можно столкнуться, если бы флюид-носитель реагировал бы с пластом вблизи ствола скважины. Так как эффективная площадь поверхности трещины будет увеличиваться после образования системы туннелей вдали от ствола скважины, нет необходимости в том, чтобы трещина была длинной и необязательно, чтобы работы планировались таким образом, чтобы происходило концевое экранирование. Флюид-носитель с повышенной вязкостью, растворяющий пласт, на остающихся стадиях представляет собой на неограничивающем примере вязкоэластичную мицеллярную систему на основе поверхностно-активного вещества, содержащую кислоту, или хелатообразователь, или и то, и другое. Вязкость системы зависит от таких факторов, как концентрация поверхностно-активного вещества, окружающие условия (такие как pH, природа и концентрация солей), время, температура и наличие других компонентов, таких как спирты, вспомогательные поверхностно-активные вещества и дезэмульгаторы. Реакционная способность такой системы зависит от некоторых из тех же факторов, а также от природы и концентрации компонента, растворяющего пласт. Природа этих видов зависимости известна и таким образом, относительные скорости, при которых данный флюид-носитель теряет вязкость и реагирует с пластом, регулируют с учетом скорости потока, необходимой для поддержания нужного давления и переноса расклинивающего агента, систему проектируют таким образом, чтобы указанный вязкий флюид-носитель, растворяющий пласт, перемещал расклинивающий агент в трещину и затем реагировал с пластом, создавая туннели, одновременно или впоследствии, теряя вязкость. В особенно предпочтительном варианте осуществления изобретения флюид-носитель, растворяющий пласт, с повышенной вязкостью представляет собой VDA. Как это почти всегда бывает в таком случае опыты в лаборатории и/или компьютерное моделирование используют для оптимизации запланированной работы.

Второй вариант, в котором трещину создают, используя VDA, необязательно содержащую хелатообразователь, который обладает достаточной вязкостью и контролем утечки для создания трещины нужных размеров. Как объяснялось выше при описании подхода, в котором создают закрытую расклиненную трещину и затем формируют туннели, условия регулируют таким образом, чтобы VDA образовывала последовательный ряд туннелей все дальше и дальше от ствола скважины. Это может происходить во время роста трещины или после достижения окончательной длины трещины, то есть скорость закачивания можно уменьшить в некоторой точке так, что потеря флюида из-за образования туннелей, уравновешивается закачиванием для сохранения трещины в открытом состоянии. Затем закачивают фазы-песконосители, загущенные полимерными или VES загустителями, чтобы заполнить трещину расклинивающим агентом. Эту операцию проводят при таком давлении и такой скорости потока, которые позволяют сохранить трещину открытой. Необязательно планировать работы таким образом, чтобы концевое экранирование происходило, как только расклинивающий агент установится так, что трещина будет склонна скорее к расширению, чем к удлинению, или сразу после этого. Распространение трещины и/или образование туннелей может необязательно происходить также во время стадии размещения расклинивающего агента. Данный вариант осуществления изобретения обладает преимуществом, которое заключается в том, что туннели могут быть заполнены расклинивающим агентом.

Третий вариант, в котором расклиненную трещину создают обычным загущенным флюидом-носителем на полимерной или VES основе и затем, пока трещину сохраняют открытой, закачивают растворяющий пласт флюид, такой как VDA. Флюид-носитель может содержать дезэмульгатор, или дезэмульгатор можно закачать во флюид, растворяющий пласт. VES, если его используют, представляет собой систему, которая, если она сильно кислая, будет VDA. В данной последовательности VDA дезэмульгирует полимер или VES (любое вещество из них выбрано так, что оно может быть разрушено сильными кислотами), так что VDA может проникать глубоко в расклиненную трещину, и образовывать туннели, как описано выше. Если флюид-носитель не полностью разрушен фронтом флюида, растворяющего пласт, может произойти некоторое распространение трещины (которое могло бы быть выгодным) и некоторое количество расклинивающего агента может быть удалено от ствола скважины. Уменьшающие подвижность агенты, такие как волокна, или применение покрытых смолой расклинивающих агентов могут помочь предотвратить продвижение расклинивающих агентов дальше в трещину, если требуется. Альтернативно, конечную несущую расклинивающий агент загущенную стадию (или стадии) используют для замещения расклинивающего агента на участке трещины вблизи ствола скважины. В наиболее пред-

почтительном варианте осуществления изобретения набивка, флюид-носитель и флюид, растворяющий пласт, все содержат эруковый амидопропилдиметилбетаин.

В конечном счете, расклиненную трещину создают вязким флюидом-носителем, растворяющим пласт, который имеет достаточную вязкость и контроль утечки, чтобы создать расклиненную трещину нужных размеров. Условия можно регулировать таким образом, что утечка некоторого количества вязкого флюида-носителя, растворяющего пласт, будет приводить к образованию туннелей вдоль трещины во время роста трещины, так что необязательно, чтобы продолжалось образование туннелей во время закрытия трещины или после закрытия трещины. Возможно планирование работ так, чтобы происходило концевое экранирование. Данный вариант осуществления изобретения также имеет преимущество, состоящее в том, что туннели можно заполнить расклинивающим агентом.

Все флюиды, закачиваемые в способах по данному изобретению, такие как набивка, вязкий флюид для перемещения расклинивающего агента и флюид, растворяющий пласт, могут содержать различные добавки, хорошо известные для обработки пласта для интенсификации притока (такие как, например, ингибиторы коррозии, вещества для регулирования содержания железа, поверхностно-активные вещества, стабилизаторы глин, буферы, средства против накипи и им подобные), при условии, что добавки не ухудшают требуемое действие флюида и не снижают стабильность флюида. Предполагается в объеме изобретения провести лабораторные испытания или выполнить компьютерное моделирование, чтобы гарантировать, что такие добавки приемлемы.

Хотя способы, описанные в данной заявке, предназначены и чаще всего применяются для добычи углеводородов, их также можно применять в нагнетательных скважинах и для добычи других флюидов, таких как вода или рассол.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ формирования трещины с увеличенной эффективной площадью поверхности для притока флюидов в указанную трещину из подземного пласта, пересеченного пробуренной скважиной, включающий отдельные стадии

- (a) закачивания вязкого флюида-носителя, содержащего расклинивающий агент, и
- (b) закачивания флюида, растворяющего пласт.

2. Способ по п.1, в котором, во-первых, вязкий флюид-носитель, содержащий расклинивающий агент, закачивают со скоростью и давлением, достаточными для разрыва пласта, во-вторых, трещине дают возможность закрыться и, в-третьих, флюид, растворяющий трещину, закачивают со скоростью и давлением, недостаточными для разрыва пласта.

3. Способ по п.1, в котором, во-первых, вязкий флюид-носитель, содержащий расклинивающий агент, закачивают со скоростью и давлением, достаточными для разрыва пласта, и флюид-носитель дополнительно содержит полимер, во-вторых, флюид, растворяющий пласт, закачивают со скоростью и давлением, достаточными, чтобы сохранять трещину открытой, причем растворяющий пласт флюид дополнительно является вязким и содержит расклинивающий агент, в-третьих, пласту дают возможность закрыться.

4. Способ по п.1, в котором, во-первых, флюид, растворяющий пласт, закачивают со скоростью и давлением, достаточными для разрыва пласта, причем растворяющий пласт флюид дополнительно является вязким, во-вторых, вязкий флюид-носитель, содержащий расклинивающий агент, закачивают со скоростью и под давлением, достаточными, чтобы сохранять трещину открытой, и, в-третьих, пласту дают возможность закрыться.

5. Способ по п.1, в котором, во-первых, вязкий флюид-носитель, содержащий расклинивающий агент, закачивают со скоростью и под давлением, достаточными для разрыва пласта, во-вторых, растворяющий пласт флюид закачивают со скоростью и под давлением, достаточными, чтобы сохранять трещину открытой, и, в-третьих, пласту дают возможность закрыться.

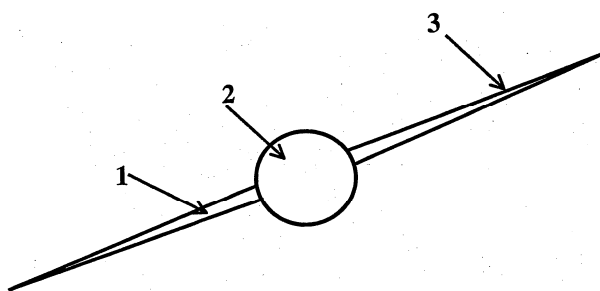
6. Способ по любому из пп.1-5, в котором концевое экранирование трещины индуцируют на стадии закачивания флюида, содержащего расклинивающий агент, со скоростью и под давлением, достаточными для разрыва указанного пласта.

7. Способ по любому из пп.1-6, в котором растворяющий пласт флюид содержит компонент, выбранный из группы, состоящей из самодивертирующей кислоты, фтористо-водородной кислоты, предшественника фтористо-водородной кислоты, соли аминополикарбоновой кислоты и аминополикарбоновой кислоты.

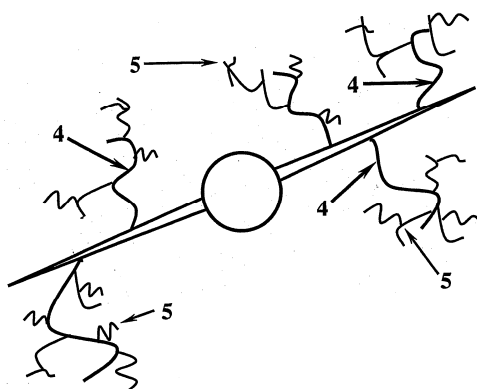
8. Способ по п.7, в котором соль аминополикарбоновой кислоты представляет собой тринатрийгидроксиэтилэтилендиаминтриацетат с рН, доведенным до примерно 4 соляной кислотой, и аминополикарбоновая кислота представляет собой гидроксипропилэтилендиаминтриуксусную кислоту.

9. Способ по любому из пп.1-8, в котором вязкий флюид-носитель содержит вязкоэластичное поверхностно-активное вещество.

10. Способ по любому из пп.1-9, в котором флюид, растворяющий пласт, содержит вязкоэластичное поверхностно-активное вещество.



Фиг. 1



Фиг. 2



Евразийская патентная организация, ЕАПВ

Россия, 109012, Москва, Малый Черкасский пер., 2/6