



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2009118926/03, 19.10.2007

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
19.10.2007

Приоритет(ы):

(30) Конвенционный приоритет:
20.10.2006 US 60/853,096
20.04.2007 US 60/925,685

(43) Дата публикации заявки: 27.11.2010 Бюл. № 33

(45) Опубликовано: 20.05.2012 Бюл. № 14

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: US 6981548 B2, 03.01.2006. RU 2349745 C2, 20.03.2009. US 3332480 A, 25.07.1967. US 2002/0062052 A, 23.05.2002.

(85) Дата начала рассмотрения заявки РСТ на национальной фазе: 20.05.2009

(86) Заявка РСТ:
US 2007/081910 (19.10.2007)

(87) Публикация заявки РСТ:
WO 2008/051833 (02.05.2008)

Адрес для переписки:

109012, Москва, ул. Ильинка, 5/2, ООО
"Союзпатент", М.Н.Стручкову

(72) Автор(ы):

ДЕ РУФФИНЬЯК Эрик Пьер (NL),
МИЛЛЕР Дэйвид Скотт (US),
ПИНГО-АЛМАДА Моника М. (NL)

(73) Патентообладатель(и):

ШЕЛЛ ИНТЕРНЭШНЛ РИСЕРЧ
МААТСХАППИЙ Б.В. (NL)

(54) ПРОЦЕСС ПОЭТАПНОГО НАГРЕВАНИЯ В ШАХМАТНОМ ПОРЯДКЕ ПЛАСТОВ, СОДЕРЖАЩИХ УГЛЕВОДОРОДЫ

(57) Реферат:

Изобретение относится к добыче углеводородов, водорода и/или других продуктов из различных подземных пластов, таких как пласты, содержащие углеводороды. Обеспечивает повышение эффективности добычи углеводородов. Сущность изобретения: способ включает этапы, на которых: с помощью одного или нескольких первых нагревателей, расположенных в двух или более первых участках пласта, подводят тепло к двум или более первым участкам так, что подведенное тепло придает подвижность

первым углеводородам, находящимся в двух или более первых участках; добывают по меньшей мере некоторое количество подвижных первых углеводородов с помощью добывающих скважин, расположенных в двух или более вторых участках пласта, при этом первые и вторые участки расположены согласно шаблону в виде шахматной доски, причем в указанном шаблоне по меньшей мере один из первых участков по существу окружен тремя или более вторыми участками, а по меньшей мере один из вторых участков по существу окружен тремя или более первыми

участками; при этом к части по меньшей мере одного из вторых участков, которая расположена близко к по меньшей мере одной добывающей скважине, подвижными первыми углеводородами подводят тепло, причем теплоту от первых нагревателей не передают указанной части посредством теплопроводности; одним или несколькими вторыми нагревателями, расположенными во вторых участках, подводят тепло во вторые участки с целью дополнительного их

нагрева; причем обработку по шаблону в виде шахматной доски начинают в центре участка или рядом с ним и перемещают наружу по спиральной последовательности с оставлением опорных участков, которые не нагревают или нагревают меньшим количеством тепла для противостояния опорными участками геомеханическому перемещению, сдвигу и/или напряжениям в пласте. 13 з.п. ф-лы, 7 ил.

RU 2 4 5 1 1 7 0 C 2

RU 2 4 5 1 1 7 0 C 2



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(21)(22) Application: **2009118926/03, 19.10.2007**

(24) Effective date for property rights:
19.10.2007

Priority:

(30) Convention priority:
20.10.2006 US 60/853,096
20.04.2007 US 60/925,685

(43) Application published: **27.11.2010 Bull. 33**

(45) Date of publication: **20.05.2012 Bull. 14**

(85) Commencement of national phase: **20.05.2009**

(86) PCT application:
US 2007/081910 (19.10.2007)

(87) PCT publication:
WO 2008/051833 (02.05.2008)

Mail address:

109012, Moskva, ul. Il'inka, 5/2, OOO
"Sojuzpatent", M.N.Struchkovu

(72) Inventor(s):

DE RUFFIN'JaK Ehrik P'er (NL),
MILLER Dehjvid Skott (US),
PINGO-ALMADA Monika M. (NL)

(73) Proprietor(s):

ShELL INTERNEhShNL RISERCh
MAATSKhAPPIJ B.V. (NL)

(54) PROCESS OF INCREMENTAL HEATING OF HYDROCARBON CONTAINING FORMATION IN CHESS-BOARD ORDER

(57) Abstract:

FIELD: oil and gas production.

SUBSTANCE: method includes stages, in the course of which with the aid of one or several primary heaters located in two or more first formation areas the heat is supplied to two or more first areas so that supplied heat makes the first hydrocarbons move that are located in two or more first areas; at least some quantity of movable first hydrocarbons is mined with the aid of producing wells located in two or more second areas of formation, note that the first and second areas are arranged according to the chess-board pattern. Note that according to the said pattern, at least, one of the first areas is surrounded by three or more second areas, and, at least, one of the second areas is surrounded by three or more first areas; note that

part of, at least, one of the second areas that is close to, at least, one producing well receives heat by movable first hydrocarbons, note that the heat from the primary heaters is not supplied to the said part by thermal conductivity; the heat is supplied to the second areas with the aim of their additional heating by means of one or more second heaters arranged in the second areas; note that chess-board pattern processing is begun in the centre of the area or near it and then is moved spirally outside remaining the support areas that are not heated or heated with less amount of heat to resist geo-mechanical movement, shift and/or strain in the formation.

EFFECT: increase of hydrocarbons production efficiency.

14 cl, 7 dwg

Область техники, к которой относится изобретение

Изобретение в целом относится к способам и системам, предназначенным для добычи углеводородов, водорода и/или других продуктов из различных подземных пластов, таких как пласты, содержащие углеводороды. Некоторые варианты осуществления изобретения касаются обработки пластов в ходе управляемых или поэтапных процессов.

Уровень техники

Углеводороды, добываемые из подземных пластов, часто используются в качестве энергетических ресурсов, сырья и потребительских товаров. Озабоченность по поводу истощения углеводородных ресурсов и ухудшения общего качества добываемых углеводородов привела к разработке способов более эффективной добычи, обработки и/или использования доступных углеводородных ресурсов. Для извлечения углеводородных материалов из подземных пластов могут быть использованы процессы *in situ*. Для того чтобы легче извлекать углеводородный материал из подземного пласта, может потребоваться изменение химических и/или физических свойств углеводородного материала. Изменения химических и физических свойств могут включать в себя реакции *in situ*, в результате которых получают извлекаемые флюиды, изменения состава, изменения растворяющей способности, изменения плотности, фазовые превращения и/или изменения вязкости углеводородного материала пласта. Флюид может представлять собой, помимо прочего, газ, жидкость, эмульсию, суспензию и/или поток твердых частиц, характеристики которого аналогичны характеристикам потока жидкости.

Нагреватели, предназначенные для нагревания пласта при осуществлении процесса *in situ*, могут быть размещены в стволах скважин. Примеры процессов *in situ*, использующих нагреватели, которые размещены в стволе скважины, показаны в документах US 2634961 (Ljungstrom), US 2732195 (Ljungstrom), US 2780450 (Ljungstrom), US 2789805 (Ljungstrom), US 2923535 (Ljungstrom) и US 4886118 (Van Meurs et al.)

Как отмечено выше, прилагаются значительные усилия, направленные на разработку способов и систем экономически целесообразной добычи углеводородов, водорода и/или других продуктов из пластов, содержащих углеводороды. Существует необходимость в улучшенных способах и системах добычи углеводородов, водорода и/или других продуктов из различных пластов, содержащих углеводороды, в которых будет уменьшен подвод энергии в пласт и которые будут обрабатывать эти пласты более эффективно.

Раскрытие изобретения

Описанные варианты осуществления изобретения относятся, в общем, к системам, способам и нагревателям для обработки подземных пластов. Также описанные варианты осуществления изобретения, в общем, относятся к нагревателям, содержащим новые компоненты. Такие нагреватели могут быть выполнены с использованием описанных систем и способов.

В некоторых вариантах осуществления изобретения предлагается одна или несколько систем, способов и/или нагревателей. В некоторых вариантах осуществления изобретения системы, способы и/или нагреватели используются для обработки подземного пласта.

В некоторых вариантах осуществления изобретения предложен способ обработки пласта, содержащего углеводороды, с использованием шаблона в виде шахматной доски, включающий этапы, на которых: с помощью одного или нескольких первых нагревателей, расположенных в двух или более первых участках пласта, подводят

тепло к двум или более первым участкам так, что подведенное тепло придает подвижность первым углеводородам, находящимся в двух или более первых участках; добывают по меньшей мере некоторое количество подвижных первых углеводородов с помощью добывающих скважин, расположенных в двух или более вторых участках пласта, при этом первые и вторые участки расположены согласно шаблону в виде шахматной доски, в указанном шаблоне по меньшей мере один из первых участков по существу окружен тремя или более вторыми участками, а по меньшей мере один из вторых участков по существу окружен тремя или более первыми участками; при этом к части по меньшей мере одного из вторых участков, которая расположена близко к по меньшей мере одной добывающей скважине, подвижные первые углеводороды подводят тепло, причем теплота от первых нагревателей не передается указанной части посредством теплопроводности; и один или несколько вторых нагревателей, расположенных во вторых участках, подводят теплоту во вторые участки с целью дополнительного их нагревания.

В других вариантах осуществления изобретения признаки конкретных вариантов осуществления изобретения могут быть совмещены с признаками других вариантов осуществления изобретения. Например, признаки одного варианта осуществления изобретения могут быть совмещены с признаками любого другого варианта осуществления изобретения.

В других вариантах осуществления изобретения обработка подземного пласта осуществляется с использованием любых описанных здесь способов, систем или нагревателей.

В других вариантах осуществления изобретения к описанным конкретным вариантам осуществления изобретения могут быть добавлены дополнительные признаки.

Краткое описание чертежей

Достоинства настоящего изобретения будут ясны специалистам в рассматриваемой области после прочтения подробного описания, содержащего ссылки на приложенные чертежи.

На фиг.1 показаны этапы нагревания пласта, содержащего углеводороды; на фиг.2 схематически показан вариант выполнения части системы тепловой обработки *in situ*, предназначенной для обработки пласта, содержащего углеводороды; на фиг.3 - вариант осуществления процесса поэтапного нагревания *in situ* и добычи, причем указанный процесс предназначен для обработки пласта битуминозных песков, вид сбоку;

на фиг.4 - вариант прямоугольного шаблона в виде шахматной доски, предназначенного для реализации процесса поэтапного нагревания *in situ* и добычи, вид сверху;

на фиг.5 - вариант кольцеобразного шаблона, предназначенного для реализации процесса поэтапного нагревания *in situ* и добычи, вид сверху;

на фиг.6 - вариант кольцеобразного шаблона в виде шахматной доски, предназначенного для реализации процесса поэтапного нагревания *in situ* и добычи, вид сверху;

на фиг.7 - вариант с несколькими прямоугольными шаблонами в виде шахматной доски, расположенными в области обработки и предназначенными для реализации процесса поэтапного нагревания *in situ* и добычи, вид сверху.

Хотя изобретение не исключает различные модификации и альтернативные формы, далее для примера на чертежах показаны и подробно описаны конкретные варианты

осуществления изобретения. Чертежи могут быть выполнены не в масштабе. Тем не менее, необходимо понимать, что чертежи и подробное описание не ограничивают изобретение конкретной описанной формой, а, наоборот, изобретение подразумевает все модификации, эквиваленты и альтернативы, не выходящие за рамки объема

настоящего изобретения, который определен в прилагаемой формуле изобретения.

Осуществление изобретения

Последующее описание в основном относится к системам и способам обработки углеводородов в пластах. Такие пласты обрабатывают с целью добычи углеводородных продуктов, водорода и других продуктов.

«Крекинг» называется процесс, включающий в себя расщепление и воссоединение молекул органических веществ с целью получения большего количества молекул, чем присутствовало изначально. При крекинге осуществляется ряд реакций, сопровождающихся перемещением атомов водорода между молекулами. Например, лигроин может подвергаться реакции термического крекинга с целью получения этана и Н%.

«Давление флюида» - это давление, порождаемое флюидом в пласте.

«Литостатическое давление» (иногда называемое «литостатическим напряжением») представляет собой давление в пласте, равное весу вышележащей горной породы на единицу площади. «Гидростатическое давление» представляет собой давление в пласте, причиной которого является столб воды.

«Пласт» включает в себя один или несколько слоев, содержащих углеводороды, один или несколько неуглеводородных слоев, покрывающий слой и/или подстилающий слой. «Углеводородными слоями» называются слои пласта, которые содержат углеводороды. Углеводородные слои могут содержать неуглеводородные материалы и углеводородные материалы. «Покрывающий слой» и/или «подстилающий слой» содержат один или несколько различных типов непроницаемых материалов. Например, покрывающий и/или подстилающий слои могут представлять собой скалу, сланцевую глину, алевроитоглинистую породу или плотную карбонатную горную породу, не пропускающую влагу. В некоторых вариантах осуществления процессов тепловой обработки *in situ* покрывающий и/или подстилающий слои могут включать в себя углеводородосодержащий слой или углеводородосодержащие слои, которые сравнительно непроницаемы и не подвергаются воздействию температур в процессе тепловой обработки *in situ*, в результате которой характеристики углеводородосодержащих слоев покрывающего и/или подстилающего слоев значительно изменяются. Например, подстилающий слой может содержать сланцевую глину или алевроитоглинистую породу, но при осуществлении процесса тепловой обработки *in situ* подстилающий слой не нагревают до температуры пиролиза. В некоторых случаях покрывающий слой и/или подстилающий слои могут быть до некоторой степени проницаемыми.

«Пластовыми флюидами» называются флюиды, присутствующие в пласте, и они могут содержать флюид, полученный в результате пиролиза, синтез-газ, подвижные углеводороды и воду (пар). Пластовые флюиды могут содержать углеводородные флюиды, а также неуглеводородные флюиды. Под «подвижными флюидами» понимают флюиды пласта, содержащего углеводороды, которые способны течь в результате тепловой обработки пласта. «Добытыми флюидами» называются флюиды, извлеченные из пласта.

«Источник тепла» представляет собой любую систему, подводящую теплоту к по меньшей мере части пласта, теплота передается в основном в результате

радиационного теплообмена и/или посредством теплопроводности. Например, источник тепла может содержать электрические нагреватели, такие как изолированный проводник, удлиненный элемент и/или проводник, расположенный в трубе. Также источник тепла может содержать системы, вырабатывающие теплоту в результате горения топлива вне пласта или в нем. Эти системы могут быть внешними горелками, забойными газовыми горелками, беспламенными распределенными камерами сгорания и природными распределенными камерами сгорания. В некоторых вариантах осуществления изобретения теплота, подведенная к одному или нескольким источникам тепла или выработанная в них, может подводиться от других источников энергии. Другие источники энергии могут непосредственно нагревать пласт, или энергия может сообщаться передающей среде, которая непосредственно или косвенно нагревает пласт. Ясно, что один или несколько источников тепла, которые передают теплоту пласту, могут использовать различные источники энергии. Таким образом, например, для заданного пласта некоторые источники тепла могут подводить теплоту от резистивных нагревателей, некоторые источники тепла могут обеспечивать нагревание благодаря камере сгорания, а другие источники тепла могут подводить теплоту из одного или нескольких источников энергии (например, энергия от химических реакций, солнечная энергия, энергия ветра, биомасса или другие источники возобновляемой энергии). Химическая реакция может включать в себя экзотермические реакции (например, реакцию окисления). Также источник тепла может включать в себя нагреватель, который подводит теплоту в зону, расположенную рядом с нагреваемым местом, таким как нагревательная скважина, или окружающую это место.

«Нагреватель» - это любая система или источник тепла, предназначенная для выработки теплоты в скважине или рядом со стволом скважины. К нагревателям относят, помимо прочего, электрические нагреватели, горелки, камеры сгорания, в которых в реакцию вступает материал пласта или материал, добываемый в пласте, и/или их комбинации.

«Тяжелые углеводороды» представляют собой вязкие углеводородные флюиды. К тяжелым углеводородам могут относиться вязкие углеводородные флюиды такие, как тяжелая нефть, битум и/или асфальтовый битум. Тяжелые углеводороды могут содержать углерод и водород, а также более низкие концентрации серы, кислорода и азота. Также в тяжелых углеводородах может присутствовать незначительное количество дополнительных элементов. Тяжелые углеводороды можно классифицировать по плотности в градусах АНИ (Американского нефтяного института). В основном плотность тяжелых углеводородов в градусах АНИ составляет менее примерно 20°. Например, плотность тяжелой нефти в градусах АНИ составляет 10-20°, а плотность битума в градусах АНИ в целом составляет менее примерно 10°. Вязкость тяжелых углеводородов в целом составляет более примерно 100 сантиПуаз при 15°C. Тяжелые углеводороды могут содержать ароматические и другие сложные циклические углеводороды.

Под «углеводородами» обычно понимают молекулы, образованные в основном атомами углерода и водорода. Углеводороды также могут содержать другие элементы, такие как, например, галогены, металлические элементы, азот, кислород и/или серу. Углеводородами являются, например, кероген, битум, пиробитум, масла, природные минеральные воски и асфальтиты. Углеводороды могут располагаться в природных вмещающих породах в земле или рядом с ними. Вмещающими породами, помимо прочего, являются осадочные горные породы, пески, силицилиты,

карбонатные горные породы, диатомиты и другие пористые среды. «Углеводородные флюиды» - это флюиды, содержащие углеводороды. Углеводородные флюиды могут содержать, увлекать с собой или быть увлеченными неуглеводородными флюидами, такими как водород, азот, угарный газ, диоксид углерода, сероводород, вода и аммиак.

Под «процессом переработки *in situ*» понимается процесс нагревания пласта, содержащего углеводород, от источников тепла, при этом указанный процесс направлен на повышение температуры по меньшей мере части пласта выше температуры пиролиза с целью получения в пласте флюида, являющегося результатом пиролиза.

Под «процессом тепловой обработки *in situ*» понимается процесс нагревания пласта, содержащего углеводороды, с помощью источников тепла, направленный на повышение температуры, по меньшей мере, части пласта выше температуры, в результате которой получается подвижный флюид, происходит легкий крекинг и/или пиролиз материала, содержащего углеводороды, так что в пласте вырабатываются подвижные флюиды, флюиды, являющиеся результатом легкого крекинга, и/или флюиды, являющиеся результатом пиролиза.

«Пиролизом» называется разрушение химических связей под действием теплоты. Например, пиролиз может включать в себя превращение химического соединения в одно или несколько других веществ с помощью только тепла. Чтобы вызвать пиролиз, теплота может передаваться участку пласта.

«Флюидами, являющимися результатом пиролиза» или «продуктами пиролиза», называются флюиды, по существу полученные во время процесса пиролиза углеводородов. Флюид, полученный в результате реакций пиролиза, может смешиваться в пласте с другими флюидами. Эта смесь будет считаться флюидом, являющимся результатом пиролиза или продуктом пиролиза. Здесь под «зоной пиролиза» понимается объем пласта (например, сравнительно проницаемого пласта, такого как пласт битуминозных песков), в котором происходит или происходила реакция, направленная на образование флюида, являющегося результатом пиролиза.

«Богатыми слоями» в пласте, содержащем углеводороды, являются тонкие слои (обычно толщиной примерно от 0,2 м до 0,5 м). Насыщенность богатых слоев составляет примерно 0,150 л/кг или больше. Насыщенность некоторых богатых слоев составляет примерно 0,170 л/кг или больше, примерно 0,190 л/кг или больше или примерно 0,210 л/кг или больше. Насыщенность бедных слоев составляет примерно 0,100 л/кг или меньше, и обычно эти слои толще богатых слоев. Насыщенность и расположение слоев определяют, например, отбором керна и последующим исследованием керна методом Фишера, плотностным или нейтронным каротажем или другими методами каротажа. Начальная теплопроводность богатых слоев может быть меньше начальной теплопроводности других слоев пласта. Обычно теплопроводность богатых слоев меньше теплопроводности бедных слоев в 1,5-3 раза. Кроме того, коэффициент теплового расширения богатых слоев больше коэффициента теплового расширения бедных слоев пласта.

«Наложением теплоты» называется передача теплоты из двух или нескольких источников тепла выбранному участку пласта, так что источники тепла влияют на температуру пласта, по меньшей мере, в одном месте между источниками тепла.

Под «тепловыми трещинами» понимаются трещины, созданные в пласте из-за расширения или сжатия пласта и/или флюидов в пласте, что в свою очередь вызвано увеличением/уменьшением температуры пласта и/или флюидов пласта и/или увеличением/уменьшением давления флюидов в пласте, которое является следствием

нагревания.

«Толщиной» слоев называется толщина поперечного разреза слоя, при этом плоскость сечения перпендикулярна поверхности слоя.

Под «обогащением» понимается улучшение качества углеводородов. Например, обогащение тяжелых углеводородов может приводить к увеличению плотности тяжелых углеводородов в градусах АНИ.

Под термином «ствол скважины» понимается отверстие в пласте, выполненное бурением или введением трубы в пласт. Поперечное сечение ствола скважины может быть по существу круглым или каким-либо другим. Когда говорится об отверстии в пласте, термины «скважина» и «отверстие» могут быть заменены термином «ствол скважины».

С целью добычи многих различных продуктов углеводороды в пласте могут быть обработаны разными способами. В определенных вариантах осуществления изобретения углеводороды в пластах обрабатывают поэтапно. На фиг.1 изображены этапы нагревания пласта, содержащего углеводороды. На фиг.1 также показан пример зависимости количества («Y») нефтяного эквивалента в баррелях на тонну (ось y) пластовых флюидов, добытых из пласта, от температуры («Т») нагретого пласта в градусах Цельсия (ось x).

При проведении этапа 1 нагревания происходит десорбция метана и испарение воды. Нагревание пласта на этапе 1 может быть выполнено настолько быстро, насколько возможно. Например, когда пласт, содержащий углеводороды, изначально нагрет, углеводороды в пласте десорбируют адсорбированный метан.

Десорбированный метан можно добывать из пласта. Если далее нагревать пласт, содержащий углеводороды, то вода из пласта, содержащего углеводороды, испарится. В некоторых содержащих углеводороды пластах вода может занимать от 10% до 50% порового объема пласта. В других пластах вода занимает большую или меньшую часть порового объема. Обычно вода в пласте испаряется при температуре от 160°C до 285°C при абсолютных давлениях от 600 кПа до 7000 кПа. В некоторых вариантах осуществления изобретения выпаренная вода изменяет смачиваемость пласта и/или увеличивает давление в пласте. Изменения смачиваемости и/или увеличенное давление могут влиять на протекание реакций пиролиза или других реакций в пласте. В определенных вариантах осуществления изобретения выпаренную воду добывают из пласта. В других вариантах осуществления изобретения выпаренную воду используют для извлечения пара и/или дистилляции в пласте или вне пласта. Извлечение воды из пласта и увеличение порового объема пласта увеличивает пространство для хранения углеводородов в поровом объеме.

В определенных вариантах осуществления изобретения после этапа 1 нагревания проводят дальнейшее нагревание пласта, так что температура в пласте достигает (по меньшей мере) температуры начала пиролиза (такой, как температура на нижнем крае температурного диапазона этапа 2). На протяжении этапа 2 углеводороды в пласте могут подвергаться пиролизу. Диапазон температур пиролиза изменяется в зависимости от типа углеводородов в пласте. Диапазон температур пиролиза может составлять от 250°C до 900°C. Диапазон температур пиролиза для получения нужных продуктов может составлять только часть всего диапазона температур пиролиза. В некоторых вариантах осуществления изобретения диапазон температур пиролиза для получения нужных продуктов может составлять от 250°C до 400°C или от 270°C до 350°C. Если температура углеводородов в пласте растет медленно в диапазоне от 250°C до 400°C, то получение продуктов пиролиза может, по существу, завершиться

при приближении значения температуры к 400°C. Средняя температура углеводородов может расти со скоростью меньше 5°C в день, меньше 2°C в день, меньше 1°C в день или меньше 0,5°C в день, находясь в диапазоне температур пиролиза, необходимых для получения нужных продуктов. Нагревание пласта, содержащего углеводород, несколькими источниками тепла может установить перепады температур вокруг источников тепла, благодаря которым температура углеводородов в пласте медленно поднимается в диапазоне температур пиролиза.

Скорость увеличения температуры в диапазоне температур пиролиза для получения нужных продуктов может влиять на качество и количество пластовых флюидов, добываемых из содержащего углеводороды пласта. Медленное увеличение температуры в диапазоне температур пиролиза с целью получения нужных продуктов может препятствовать подвижности в пласте молекул с большими цепями. Медленное увеличение температуры в диапазоне температур с целью получения нужных продуктов может ограничить реакции между подвижными углеводородами, в результате которых могут получаться нежелательные продукты. Медленное увеличение температуры пласта в диапазоне температур пиролиза с целью получения нужных продуктов может позволить добывать из пласта высококачественные углеводороды, с высокой плотностью, измеряемой в градусах АНИ. Медленное увеличение температуры пласта в диапазоне температур пиролиза с целью получения нужных продуктов может позволить извлекать большое количество углеводородов, присутствующих в пласте, в качестве углеводородного продукта.

В некоторых вариантах осуществления изобретения тепловой обработки *in situ*, вместо того чтобы медленно нагревать в нужном диапазоне температур, до нужной температуры нагревают часть пласта. В некоторых вариантах осуществления изобретения нужная температура составляет 300°C, 325°C или 350°C. В качестве нужной температуры могут быть выбраны другие значения температуры. Наложение теплоты от источников тепла позволяет сравнительно быстро и эффективно установить в пласте нужную температуру. Можно регулировать подведение энергии в пласт из источников тепла с целью поддержания, по существу, нужного значения температуры в пласте. По существу, нужное значение температуры нагретой части пласта поддерживают до тех пор, пока реакция пиролиза не ослабнет так, что добыча нужных пластовых флюидов из пласта не станет экономически невыгодной. Части пласта, подвергаемые реакции пиролиза, могут включать в себя области, температура которых находится в диапазоне температур пиролиза благодаря теплопередаче только от одного источника тепла.

В определенных вариантах осуществления изобретения из пласта добывают пластовые флюиды, включая флюиды, полученные в результате пиролиза. По мере увеличения температуры пласта может уменьшаться количество конденсирующихся углеводородов в добытых пластовых флюидах. При высоких температурах из пласта может добываться в основном метан и/или водород. При нагревании содержащего углеводороды пласта по всему диапазону температур пиролиза, при приближении к верхнему пределу диапазона температур пиролиза, из пласта могут добываться только небольшие количества водорода. После исчерпания всего доступного водорода обычно из пласта может добываться минимальное количество флюидов.

После пиролиза углеводородов в пласте все еще может присутствовать большое количество углерода и некоторое количество водорода. Значительная часть углерода, остающегося в пласте, может быть добыта из пласта в виде синтез-газа. Получение синтез-газа может происходить во время этапа 3 нагревания, изображенного на фиг.1.

Этап 3 может включать в себя нагревание содержащего углеводороды пласта до температуры, достаточной для получения синтез-газа. Например, синтез-газ может вырабатываться в диапазоне температур примерно от 400°C до примерно 1200°C; примерно от 500°C до примерно 1100°C или примерно от 550°C до примерно 1000°C.

5 Когда флюид для получения синтез-газа вводят в пласт, температура нагретой части пласта определяет состав синтез-газа, получаемого в пласте. Полученный синтез-газ можно извлекать из пласта через добывающую скважину или добывающие скважины.

Полная энергоемкость флюидов, добываемых из содержащего углеводороды пласта, может оставаться сравнительно постоянной на всем протяжении процесса пиролиза и получения синтез-газа. При протекании пиролиза при сравнительно низких температурах значительная часть добываемого флюида может представлять собой конденсирующиеся углеводороды, которые отличаются высокой энергоемкостью. Тем не менее, при более высоких температурах пиролиза меньшая часть пластового флюида может представлять собой конденсирующиеся углеводороды. Из пласта может добываться больше неконденсирующихся пластовых флюидов. Энергоемкость на единицу объема добываемого флюида может немного уменьшаться при получении преимущественно неконденсирующихся пластовых флюидов. При получении синтез-газа энергоемкость на единицу объема для полученного синтез-газа значительно уменьшается по сравнению с энергоемкостью флюида, полученного в результате пиролиза. Тем не менее, объем полученного синтез-газа во многих примерах значительно увеличивается, компенсируя тем самым уменьшенную энергоемкость.

На фиг.2 схематично показан вариант части системы тепловой обработки *in situ*, предназначенной для обработки содержащего углеводороды пласта. Система тепловой обработки *in situ* может содержать барьерные скважины 100. Барьерные скважины используют для образования барьера вокруг области обработки. Барьер препятствует течению флюида в область обработки и/или из нее. Барьерные скважины включают в себя, помимо прочего, водопонижающие скважины, скважины создания разрежения, коллекторные скважины, нагнетательные скважины, скважины для заливки раствора, замораживающие скважины или их комбинации. В некоторых вариантах осуществления изобретения барьерные скважины 100 представляют собой водопонижающие скважины. Водопонижающие скважины могут удалять жидкую воду и/или препятствовать проникновению жидкой воды в часть пласта, которую будут нагревать, или в нагреваемый пласт. В варианте осуществления изобретения по фиг.2 показаны барьерные скважины 100, расположенные только вдоль одной стороны источников 102 тепла, но обычно барьерные скважины окружают все источники 102 тепла, используемые или планируемые к использованию для нагревания области обработки пласта.

Источники 102 тепла расположены в по меньшей мере части пласта. Источники 102 тепла могут представлять собой нагреватели, такие как изолированные проводники, нагревательные устройства с проводником в трубе, беспламенные горелки, беспламенные распределенные камеры сгорания и/или природные распределенные камеры сгорания. Источники 102 тепла могут также представлять собой нагреватели других типов. Источники 102 тепла подводят теплоту, по меньшей мере, к части пласта с целью нагревания углеводородов в пласте. Энергия может подаваться к источнику 102 тепла по линиям 104 питания. Линии 104 питания могут конструктивно различаться в зависимости от типа источника тепла или источников тепла, используемых для нагревания пласта. Линии 104 питания для источников тепла могут передавать электричество для электрических нагревателей, могут транспортировать

топливо для камер сгорания или могут перемещать жидкий теплоноситель, циркулирующий в пласте. В некоторых вариантах осуществления изобретения электричество для процесса тепловой обработки *in situ* может поставляться атомной электростанцией или атомными электростанциями. Использование атомной энергии
5 может позволить уменьшить или полностью исключить выбросы диоксида углерода в ходе процесса тепловой обработки *in situ*.

Добывающие скважины 106 используются для извлечения пластового флюида из пласта. В некоторых вариантах осуществления изобретения добывающая
10 скважина 106 может содержать источник тепла. Источник тепла, расположенный в добывающей скважине, может нагревать одну или несколько частей пласта в самой добывающей скважине или рядом с ней. В некоторых вариантах осуществления процесса тепловой обработки *in situ* количество теплоты, подводимой к пласту от добывающей скважины, на метр добывающей скважины меньше количества теплоты,
15 подводимой к пласту от источника тепла, который нагревает пласт, на метр источника тепла.

В некоторых вариантах осуществления изобретения источник тепла в добывающей скважине 106 позволяет извлекать из пласта паровую фазу пластовых флюидов.

Подвод теплоты к добывающей скважине или через добывающую скважину может:
20 (1) препятствовать конденсации и/или обратному потоку добываемого флюида, когда такой добываемый флюид перемещается в добывающей скважине близко к покрывающему слою, (2) увеличить подвод теплоты в пласт, (3) увеличить темп добычи для добывающей скважины по сравнению с добывающей скважиной без
25 источника тепла, (4) препятствовать конденсации соединений с большим количеством атомов углерода (C6 и больше) в добывающей скважине и/или (5) увеличить проницаемость пласта у добывающей скважины или рядом с ней.

Подземное давление в пласте может соответствовать давлению флюида в пласте.

30 Когда температура в нагретой части пласта увеличивается, то давление в нагретой части может увеличиваться в результате увеличенной выработки флюидов и испарения воды. Управление скоростью извлечения флюидов из пласта может позволить управлять давлением в пласте. Давление в пласте может быть определено в нескольких различных местах, например, рядом с добывающими скважинами или в
35 них, рядом с источниками тепла или в них или в контрольных скважинах.

В некоторых содержащих углеводороды пластах добыча углеводородов из пласта сдерживается до тех пор, пока по меньшей мере некоторое количество углеводородов пласта не подвергнется пиролизу. Пластовый флюид можно добывать из пласта
40 тогда, когда его качество соответствует выбранному уровню. В некоторых вариантах осуществления изобретения выбранный уровень качества представляет собой плотность в градусах АНИ, которая составляет, по меньшей мере, примерно 20°, 30° или 40°. Прекращение добычи до тех пор, пока по меньшей мере часть углеводородов не подверглась пиролизу, может увеличить переработку тяжелых углеводородов в
45 легкие углеводороды. Прекращение добычи в начале может минимизировать добычу тяжелых углеводородов из пласта. Добыча значительных объемов тяжелых углеводородов может потребовать дорогого оборудования и/или уменьшения срока эксплуатации производственного оборудования.

50 После достижения температур пиролиза и возобновления добычи из пласта давление в пласте можно изменять для изменения и/или управления составом добываемых пластовых флюидов с целью регулирования процента конденсирующегося флюида относительно неконденсирующегося флюида в

пластовом флюиде и/или с целью регулирования плотности в градусах АНИ добываемого пластового флюида. Например, уменьшение давления может привести к добыче большей доли конденсирующегося компонента флюидов. Конденсирующийся компонент флюидов может содержать больший процент олефинов.

В некоторых вариантах осуществления процесса тепловой обработки *in situ* давление в пласте может поддерживаться достаточно высоким для содействия добыче пластового флюида с плотностью более 20° в градусах АНИ. Поддержание повышенного давления в пласте может препятствовать оседанию пласта во время тепловой обработки *in situ*. Поддержание повышенного давления может способствовать добыче паровой фазы флюидов из пласта. Добыча паровой фазы из пласта может позволить уменьшить размеры коллекторных труб, используемых для транспортировки флюидов, добытых из пласта. Поддержание повышенного давления может уменьшить или исключить необходимость сжатия пластовых флюидов на поверхности с целью транспортировки флюидов по трубам до установок обработки.

Как ни удивительно, но поддержание повышенного давления в нагретой части пласта может позволить добывать большие количества углеводородов улучшенного качества и со сравнительно малой молекулярной массой. Давление может поддерживаться таким, что добытый пластовый флюид содержит минимальное количество соединений, в которых углеродное число превышает выбранное углеродное число. Выбранное углеродное число может составлять самое большее 25, 20, 12 или 8. Некоторые соединения с большим углеродным числом могут быть в пласте захвачены паром и могут быть извлечены из пласта с паром. Поддержание повышенного давления в пласте может препятствовать захвату паром соединений с большим углеродным числом и/или полициклических углеводородных соединений. Соединения с большим углеродным числом и/или полициклические углеводородные соединения могут оставаться в пласте в жидкой фазе в течение значительных периодов времени. Эти значительные периоды времени могут предоставлять достаточное количество времени для пиролиза соединений с целью получения соединений с меньшим углеродным числом.

Пластовый флюид, извлекаемый из добывающих скважин 106, может быть перекачан по коллекторному трубопроводу 108 до обрабатывающих установок 110. Также пластовые флюиды могут быть добыты из источников 102 тепла. Например, флюид может быть добыт из источника 102 тепла с целью регулирования давления в пласте рядом с источниками тепла. Флюид, добытый из источников 102 тепла, может быть перекачан по трубе или трубопроводу до коллекторного трубопровода 108, или добытый флюид может быть перекачан по трубе или трубопроводу непосредственно к обрабатывающим установкам 110. Обрабатывающие установки 110 могут содержать блоки сепарации, блоки проведения реакций, блоки обогащения, топливные ячейки, турбины, контейнеры для хранения и/или другие системы и блоки, предназначенные для обработки добытых пластовых флюидов. В обрабатывающих установках, по меньшей мере, из части углеводородов, добытых из пласта, можно получать транспортное топливо. В некоторых вариантах осуществления изобретения транспортное топливо может представлять собой реактивное топливо, такое как JP-8.

В определенных вариантах осуществления изобретения для тепловой обработки *in situ* пласта, содержащего углеводороды (например, пласта нефтеносного сланца), используют процесс регулируемого или поэтапного нагревания *in situ* и добычи. В процессе поэтапного нагревания *in situ* и добычи может потребоваться меньший подвод тепла для добычи углеводородов из пласта по сравнению с процессом

непрерывного или дозированного нагревания *in situ*. В некоторых вариантах осуществления изобретения процесс поэтапного нагревания *in situ* и добычи примерно на 30% более эффективен при обработке пласта по сравнению с процессом непрерывного или дозированного нагревания *in situ*. Также в процессе поэтапного нагревания *in situ* и добычи может быть добыто меньше выбросов углекислого газа по сравнению с процессом непрерывного или дозированного нагревания *in situ*. В определенных вариантах осуществления изобретения процесс поэтапного нагревания *in situ* и добычи используют для обработки богатых слоев в пласте нефтеносного сланца. Обработка только богатых слоев может быть более оправданной с экономической точки зрения по сравнению с обработкой как богатых, так и бедных слоев, так как в последнем случае теплота может тратиться впустую на нагревание бедных слоев.

На фиг.3 показан сбоку вариант осуществления процесса поэтапного нагревания *in situ* и добычи, где указанный процесс предназначен для обработки пласта. В определенных вариантах осуществления изобретения нагреватели 112 расположены согласно треугольным шаблонам. В других вариантах осуществления изобретения нагреватели 112 расположены согласно любым другим симметричным или несимметричным шаблонам. Шаблоны, согласно которым расположены нагреватели, могут быть разделены на один или несколько участков 116, 118, 120, 122 и/или 124. Число нагревателей 112 в каждом участке может изменяться в зависимости, например, от свойств пласта или нужной скорости нагревания пласта. Одна или несколько добывающих скважин 106 могут быть расположены в каждом участка 116, 118, 120, 122 и/или 124. В определенных вариантах осуществления изобретения добывающие скважины 106 расположены в центрах участков или рядом с ними. В некоторых вариантах осуществления изобретения добывающие скважины 106 расположены в других частях участков 116, 118, 120, 122 и 124. Добывающие скважины 106 могут быть расположены в других частях участков 116, 118, 120, 122 и/или 124 в зависимости от, например, нужного качества продуктов, добываемых из участков и/или нужного темпа добычи из пласта.

В определенных вариантах осуществления изобретения нагреватели 112 одного из участков включены, в то время как нагреватели других участков остаются выключенными. Например, нагреватели 112 участка 116 могут быть включены, в то время как нагреватели других участков остаются выключенными. Теплота от нагревателей 112 участка 116 может создавать проницаемость, придавать флюидам подвижность и/или подвергать флюиды в участке 116 пиролизу. Пока теплота от нагревателей 112 подводится в участок 116, добывающая скважина 106 в участке 118 может быть открыта для добычи флюидов из пласта. Некоторое количество теплоты от нагревателей 112 участка 116 может быть передано в участок 118 и может «предварительно нагреть» участок 118. Предварительное нагревание участка 118 может создать проницаемость в участке 118, придать подвижность флюидам в участке 118 и позволить добывать флюиды из участка через добывающую скважину 106.

Тем не менее, в определенных вариантах осуществления изобретения часть участка 118, расположенная рядом с добывающей скважиной 106, не нагревается посредством теплопроводности от нагревателей 112 участка 116. Например, наложение теплоты от нагревателей 112 участка 116 не покрывает часть, расположенную близко к добывающей скважине 106 участка 118. Часть, расположенная близко к добывающей скважине 106 участка 118, может быть нагрета

флюидами (такими как углеводороды), текущими к добывающей скважине (например, благодаря конвективной теплопередаче от флюидов).

При добыче флюидов из участка 118 перемещение флюидов из участка 116 в участок 118 передает теплоту между участками. Перемещение горячих флюидов по пласту увеличивает теплопередачу внутри пласта. Благодаря возможности горячих флюидов течь между участками, энергия горячих флюидов используется для нагревания ненагретых участков вместо извлечения теплоты из пласта при добыче горячих флюидов непосредственно из участка 116. Таким образом, перемещение горячих флюидов позволяет подводить меньше энергии при добыче из пласта по сравнению со случаем, когда при добыче из участков теплота от нагревателей 112 подводится в оба участка.

В определенных вариантах осуществления изобретения температуру части, расположенной рядом с добывающей скважиной 106 участка 318, регулируют так, чтобы значение температуры в части составляло, самое большее, выбранное значение температуры. Например, температуру части, расположенной рядом с добывающей скважиной, могут регулировать так, чтобы значение температуры составляло самое большее примерно 100°C, примерно 200°C или примерно 250°C. В некоторых вариантах осуществления изобретения температуру части, расположенной рядом с добывающей скважиной 106 участка 118, регулируют благодаря управлению темпом добычи флюидов через добывающую скважину. В некоторых вариантах осуществления изобретения добыча большего количества флюидов увеличивает теплопередачу по направлению к добывающей скважине и температуру части, расположенной рядом с добывающей скважиной.

В некоторых вариантах осуществления изобретения добычу через добывающую скважину 106 участка 118 уменьшают или прекращают после того, как температура части, расположенной рядом с добывающей скважиной, достигла выбранного значения. Уменьшение или прекращение добычи через добывающую скважину при более высоких температурах удерживает нагретые флюиды в пласте. Удержание нагретых флюидов в пласте сохраняет энергию в пласте и уменьшает подвод энергии, необходимой для нагревания пласта. Выбранное значение температуры, при котором уменьшают или прекращают добычу, может, например, составлять примерно 100°C, примерно 200°C или примерно 250°C.

В некоторых вариантах осуществления изобретения участок 116 и/или участок 118 может быть обработан до включения нагревателей 112 для увеличения проницаемости участков. Например, с целью увеличения проницаемости участков из них может быть отведена вода. В некоторых вариантах осуществления изобретения для увеличения проницаемости участков может быть использовано нагнетание пара или нагнетание других флюидов.

В определенных вариантах осуществления изобретения, после выбранного промежутка времени, включают нагреватели 112 участка 118. Включение нагревателей 112 участка 118 может обеспечить подвод дополнительного количества теплоты в участки 116 и 118 с целью увеличить проницаемость, придать флюидам подвижность и/или подвергнуть пиролизу флюиды в этих участках. В некоторых вариантах осуществления изобретения, когда нагреватели 112 участка 118 включены, добычу в участке 118 уменьшают или прекращают (выключают) и открывают добывающую скважину 106 участка 120 с целью добычи флюидов из пласта. Таким образом, флюид течет в пласте по направлению к добывающей скважине 106 участка 120 и участок 120 нагревается благодаря потоку горячих флюидов, как

описано выше для участка 118. В некоторых вариантах осуществления изобретения при желании добывающая скважина 106 участка 118 может остаться открытой после включения нагревателей в участке. В некоторых вариантах осуществления изобретения добычу в участке 118 уменьшают или прекращают при выбранной

температуре/ как описано выше.

Процесс уменьшения мощности нагревателей или их выключения и смещения добычи в прилегающие участки может быть повторен для следующих участков пласта. Например, после выбранного промежутка времени, нагреватели участка 120 могут быть включены и флюиды могут добывать из добывающей скважины 106 участка 122 и так далее по пласту.

В некоторых вариантах осуществления изобретения нагреватели 112 подводят теплоту в чередующиеся участки (например, участки 116, 120 и 124), а добывают флюиды из участков, которые расположены между нагреваемыми участками (например, из участков 118 и 122). После выбранного промежутка времени, нагреватели 112 в участках, которые не нагревают (участки 118 и 122), включают и при желании флюиды добывают из одного или нескольких из этих участков.

В определенных вариантах осуществления изобретения в процессе поэтапного нагревания *in situ* и добычи используют меньшие расстояния между нагревателями по сравнению с процессами непрерывного или дозированного нагревания *in situ*. Например, в процессе непрерывного или дозированного нагревания *in situ* может быть использовано расстояние между нагревателями, составляющее 12 м, в то время как в процессе поэтапного нагревания *in situ* и добычи используется расстояние между нагревателями, равное примерно 10 м. В процессе поэтапного нагревания *in situ* и добычи может быть использовано меньшее расстояние между нагревателями из-за того, что поэтапный процесс позволяет сравнительно быстро нагревать и расширять пласт.

В некоторых вариантах осуществления изобретения последовательность нагреваемых участков начинается с участков, наиболее удаленных от центра, и перемещается внутрь. Например, в течение выбранного промежутка времени, нагреватели 112 участков 116 и 124 подводят теплоту, а флюиды добывают из участков 118 и 122. После выбранного промежутка времени включают нагреватели 112 участков 118 и 122, и флюиды добывают из участка 120. После другого выбранного промежутка времени, при желании могут быть включены нагреватели 112, расположенные в участке 120.

В определенных вариантах осуществления изобретения участки 116-124 являются участками по существу равного размера. Размер и/или расположение участков 116-124 может изменяться в зависимости от нужной степени нагревания и/или нужного объема добычи из пласта. Например, для процесса поэтапного нагревания *in situ* и добычи с целью определения количества нагревателей в каждом участке, оптимального шаблона расположения участков и/или последовательности включения нагревателей и начала добычи через добывающие скважины может быть использовано моделирование обработки пласта в ходе процесса поэтапного нагревания *in situ* и добычи. Моделирование может объяснить свойства, такие как, например, свойства пласта и нужные свойства и/или качество добываемых флюидов. В некоторых вариантах осуществления изобретения нагреватели 112 на краях обрабатываемых частей пласта (например, нагреватели 112 на левом краю участка 116 или правом краю участка 124) могут быть адаптированы или отрегулированы с точки зрения подвода теплоты и с целью обеспечения нужной тепловой обработки пласта.

В некоторых вариантах осуществления изобретения пласт разделяют на участки согласно шаблону, выполненному в виде шахматной доски, что делается для проведения процесса поэтапного нагревания *in situ* и добычи. На фиг.4 показан сверху вариант прямоугольного шаблона 126 в виде шахматной доски, предназначенного для осуществления процесса поэтапного нагревания *in situ* и добычи. В некоторых вариантах осуществления изобретения нагреватели в участках «А» (участки 116А, 118А, 120А, 122А и 124А) могут быть включены и флюиды добывают из участков «В» (участки 116В, 118В, 120В, 122В и 124В). После выбранного промежутка времени могут быть включены нагреватели, расположенные в участках «В». Размер и/или количество участков «А» и «В» в прямоугольном шаблоне 126, выполненном в виде шахматной доски, могут изменяться в зависимости от таких факторов, как, например, расстояние между нагревателями, нужная скорость нагревания пласта, нужный темп добычи, размер области обработки, геомеханические свойства подземного пласта, состав подземного пласта и/или другие свойства пласта.

В некоторых вариантах осуществления изобретения включают нагреватели, расположенные в участках 116А, и флюиды добывают из участков 116В и/или участков 118В. После выбранного промежутка времени, могут быть включены нагреватели, расположенные в участках 118А, и можно добывать флюиды из участков 118В и/или 120В. После другого выбранного промежутка времени могут быть включены нагреватели, расположенные в участках 120А, и можно добывать флюиды из участков 120В и/или 122В. После другого выбранного промежутка времени могут быть включены нагреватели, расположенные в участках 122А, и можно добывать флюиды из участков 122В и/или 124В. В некоторых вариантах осуществления изобретения могут быть включены нагреватели из участка «В», из которых производилась добыча, в случае, когда включены нагреватели в следующем участке «А». Например, в случае, когда включены нагреватели в участке 118А, могут быть включены нагреватели из участка 116В. Для варианта осуществления процесса поэтапного нагревания *in situ* и добычи, показанного на фиг.4, также могут быть предусмотрены другие альтернативные последовательности включения нагревателей и осуществления добычи.

В некоторых вариантах осуществления процесса поэтапного нагревания *in situ* и добычи пласт разделяют согласно круговому, кольцеобразному или спиральному шаблону. На фиг.5 показан сверху вариант кольцеобразного шаблона, предназначенного для реализации процесса поэтапного нагревания *in situ* и добычи. Участки 116, 118, 120, 122 и 124 могут быть обработаны согласно последовательностям включения нагревателей и осуществления добычи, аналогичным последовательностям, описанным выше для вариантов осуществления изобретения, которые показаны на фиг.3 и 4. Последовательности включения нагревателей и осуществления добычи для варианта осуществления, показанного на фиг.5, могут начинаться с участка 116 (и продолжаться внутрь по направлению к центру) или с участка 124 (и продолжаться наружу по направлению от центра). Старт с участка 116 может дать возможность пласту расширяться при перемещении нагревания к центру кольцеобразного шаблона. Сдвиг пласта может быть минимизирован или сдержан, так как пласту дают возможность расширяться в нагретые и/или прошедшие пиролиз части пласта. В некоторых вариантах осуществления изобретения после обработки центральный участок (участок 124) охлаждают.

На фиг.6 показан сверху вариант кольцеобразного шаблона, выполненного в виде шахматной доски и предназначенного для реализации процесса поэтапного

нагревания *in situ* и добычи. Вариант осуществления изобретения, показанный на фиг.6, разделяет кольцеобразный шаблон варианта осуществления изобретения, изображенного на фиг.5, до получения шаблона, выполненного в виде шахматной доски, причем этот шаблон аналогичен шаблону, выполненному в виде шахматной

5 доски и показанному на фиг.4. Участки 116А, 118А, 120А, 122А, 124А, 116В, 118В, 120В, 122В и 124В, показанные на фиг.6, могут быть обработаны согласно последовательностям включения нагревателей и осуществления добычи, аналогичным последовательностям, описанным выше для варианта осуществления изобретения,

10 который показан на фиг.4.

В некоторых вариантах осуществления изобретения флюиды нагнетают с целью перемещения флюидов между участками пласта. Закачанные флюиды, такие как пар или углекислый газ, могут увеличить подвижность углеводородов и могут увеличить

15 эффективность процесса поэтапного нагревания *in situ* и добычи. В некоторых вариантах осуществления изобретения флюиды нагнетают в пласт после осуществления процесса поэтапного нагревания *in situ* и добычи с целью рекуперации теплоты из пласта. В некоторых вариантах осуществления изобретения флюиды, закачанные в пласт с целью рекуперации теплоты, включают в себя некоторое

20 количество флюидов, добытых из пласта (например, углекислый газ, вода и/или углеводороды, добытые из пласта). В некоторых вариантах осуществления изобретения для добычи растворением *in situ* из пласта используют варианты осуществления изобретения, показанные на фиг.3-6. Горячая вода или другой флюид могут быть использованы для создания проницаемости в пласте при добыче

25 растворением при низких температурах.

В определенных вариантах осуществления изобретения для обработки области обработки пласта используют некоторые прямоугольные шаблоны, выполненные в виде шахматной доски (например, прямоугольный шаблон 126, выполненный в виде

30 шахматной доски и показанный на фиг.4). На фиг.7 показаны сверху несколько прямоугольных шаблонов 126 (1-36) в виде шахматной доски, расположенных в области 114 обработки и предназначенных для реализации процесса поэтапного нагревания *in situ* и добычи. Область 114 обработки может быть окружена барьером 128. Каждый из прямоугольных шаблонов 126 (1-36) в виде шахматной

35 доски может быть обработан индивидуально в соответствии с вариантами осуществления изобретения, описанными выше при описании прямоугольных шаблонов в виде шахматной доски.

В определенных вариантах осуществления изобретения обработка прямоугольных шаблонов 126 (1-36) в виде шахматной доски является многостадийным процессом. Многостадийный процесс может включать в себя начало обработки каждого из

40 прямоугольных шаблонов в виде шахматной доски, при этом каждый из указанных шаблонов обрабатывается последовательно один за другим. Например, обработка второго прямоугольного шаблона в виде шахматной доски (например, начало

45 нагревания второго прямоугольного шаблона в виде шахматной доски) может быть начата после обработки первого прямоугольного шаблона в виде шахматной доски и так далее. Обработка второго прямоугольного шаблона в виде шахматной доски может быть начата в любое время после начала обработки первого прямоугольного

50 шаблона в виде шахматной доски. Время, выбранное для начала обработки второго прямоугольного шаблона в виде шахматной доски, может изменяться в зависимости от таких факторов, как, например, нужная скорость нагревания пласта, нужный темп добычи, геомеханические свойства подземного пласта, состав подземного пласта

и/или другие свойства пласта. В некоторых вариантах осуществления изобретения обработка второго прямоугольного шаблона в виде шахматной доски начинается после добычи из области первого прямоугольного шаблона в виде шахматной доски
 5 выбранного количества флюидов или после увеличения темпа добычи из первого
 прямоугольного шаблона в виде шахматной доски выше выбранного значения или
 падения темпа добычи ниже выбранного значения.

В некоторых вариантах осуществления изобретения последовательность обработки
 10 прямоугольных шаблонов 126 (1-36) в виде шахматной доски направлена на
 минимизацию или сдерживание напряжений в пласте при его расширении. В одном
 варианте осуществления изобретения обработка прямоугольных шаблонов в виде
 шахматной доски продолжается наружу по спирали, как показано стрелками на фиг.7.
 Направленная наружу по спирали последовательность обработки выполняется
 15 последовательно, начиная с обработки прямоугольного шаблона 126-1 в виде
 шахматной доски, затем следует обработка прямоугольного шаблона 126-2 в виде
 шахматной доски, прямоугольного шаблона 126-3 в виде шахматной доски,
 прямоугольного шаблона 126-4 в виде шахматной доски и продолжается до
 обработки шаблона 126-36 в виде шахматной доски. Последовательная обработка
 20 шаблонов в виде шахматной доски по спиральной последовательности, направленной
 наружу, может минимизировать или сдерживать напряжения в пласте при его
 расширении.

Начало обработки в шаблонах в виде шахматной доски в центре области 114
 25 обработки или рядом с ним и перемещение наружу максимизирует начальное
 расстояние от барьеров 128. Наиболее вероятно, что барьер 128 разрушится, когда
 теплота будет подводиться к барьеру или рядом с ним. Начало обработки/нагрева
 у центра области 114 обработки или рядом с ним откладывает нагревание
 30 прямоугольных шаблонов в виде шахматной доски, расположенных рядом с
 барьером 128, до более поздних моментов нагревания области 114 обработки в конце
 добычи из области обработки или близко к указанному концу. Таким образом, если
 произойдет повреждение барьера 128, оно случится после обработки значительной
 части области 114 обработки.

Начало обработки в шаблонах в виде шахматной доски в центре области 114
 35 обработки или рядом с ним и перемещение наружу также создает открытое поровое
 пространство во внутренних частях шаблона, которое перемещается наружу.
 Открытое поровое пространство дает возможность частям пласта, обработка
 которых начнется позже, расширяться внутрь в это открытое поровое пространство и,
 40 например, минимизировать сдвиг в пласте.

В некоторых вариантах осуществления изобретения между одним или несколькими
 прямоугольными шаблонами 126 (1-36) в виде шахматной доски остаются опорные
 участки. Опорные участки могут являться участками, которые не нагревают и
 которые обеспечивают опору, противостоящую геомеханическому перемещению,
 45 сдвигу и/или расширяющим напряжениям в пласте. В некоторых вариантах
 осуществления изобретения к опорным участкам может подводиться некоторое
 количество теплоты. Количество теплоты, подведенной к опорным участкам, может
 быть меньше количества теплоты, подведенной внутрь прямоугольных шаблонов 126
 50 (1-36) в виде шахматной доски. В некоторых вариантах осуществления изобретения
 каждый из опорных участков может содержать перемежающиеся нагреваемые и
 ненагреваемые участки. В некоторых вариантах осуществления изобретения из одного
 или нескольких ненагреваемых опорных участков добывают флюиды.

В некоторых вариантах осуществления изобретения один или несколько прямоугольных шаблонов 126 (1-36) в виде шахматной доски отличаются разными размерами. Например, во внешних прямоугольных шаблонах в виде шахматной доски (таких, как шаблоны 126 (21-26) и шаблоны 126 (31-36)) площади шахматных 5 клеток и/или их количество может быть меньше. Уменьшение площади шахматных клеток и/или их количества во внешних прямоугольных шаблонах в виде шахматной доски может уменьшить напряжения расширения и/или геомеханическое перемещение во внешних частях области 114 обработки. Уменьшение напряжения расширения и/или геомеханического перемещения во внешних частях области 114 обработки может 10 минимизировать или сдерживать напряжение расширения и/или напряжение перемещения, действующие на барьер 128.

Из настоящего описания специалистам в рассматриваемой области могут быть ясны дополнительные модификации и альтернативные варианты осуществления 15 различных аспектов настоящего изобретения. Соответственно, это описание рассматривается только с иллюстративной точки зрения и с целью ознакомления специалистов в рассматриваемой области с общим принципом осуществления этого изобретения. Ясно, что показанные и описанные здесь формы изобретения надо 20 рассматривать как предпочтительные в настоящее время варианты осуществления изобретения. Показанные и описанные здесь элементы и материалы могут быть заменены, части и способы могут быть изменены, и некоторые признаки изобретения могут быть использованы независимо, что ясно специалисту в рассматриваемой области после понимания сущности настоящего изобретения. В описанные здесь 25 элементы могут быть внесены изменения, которые не выходят за пределы объема и сущности изобретения, которые описаны в прилагаемой формуле изобретения. Кроме того, ясно, что описанные здесь независимые признаки могут быть объединены в некоторых вариантах осуществления изобретения.

Формула изобретения

1. Способ обработки пласта, содержащего углеводороды, с использованием шаблона в виде шахматной доски, включающий этапы, на которых:

с помощью одного или нескольких первых нагревателей, расположенных в двух 35 или более первых участках пласта, подводят тепло к двум или более первым участкам так, что подведенное тепло придает подвижность первым углеводородам, находящимся в двух или более первых участках;

добывают по меньшей мере некоторое количество подвижных первых 40 углеводородов с помощью добывающих скважин, расположенных в двух или более вторых участках пласта, при этом первые и вторые участки расположены согласно шаблону в виде шахматной доски, причем в указанном шаблоне по меньшей мере один из первых участков, по существу, окружен тремя или более вторыми участками, а по меньшей мере один из вторых участков, по существу, окружен тремя или более 45 первыми участками;

при этом к части по меньшей мере одного из вторых участков, которая расположена близко к по меньшей мере одной добывающей скважине, подвижными первыми углеводородами подводят тепло, причем теплоту от первых нагревателей не 50 передают указанной части посредством теплопроводности;

одним или несколькими вторыми нагревателями, расположенными во вторых участках, подводят тепло во вторые участки с целью дополнительного их нагревания; причем обработку по шаблону в виде шахматной доски начинают в центре участка

или рядом с ним и перемещают наружу по спиральной последовательности с оставлением опорных участков, которые не нагревают или нагревают меньшим количеством тепла для противостояния опорными участками геомеханическому перемещению, сдвигу и/или напряжениям в пласте.

2. Способ по п.1, дополнительно включающий этап, на котором нагревают вторые углеводороды во вторых участках так, что по меньшей мере некоторое количество вторых углеводородов становится подвижным, и добывают по меньшей мере некоторое количество подвижных вторых углеводородов из вторых участков, при этом по меньшей мере некоторому количеству углеводородов среди подвижных вторых углеводородов изначально обеспечивают возможность расположения во вторых участках.

3. Способ по любому из пп.1 и 2, дополнительно включающий этап, на котором передают теплоту вторым участкам благодаря тому, что подвижным первым углеводородам обеспечивают возможность течения из первых участков во вторые участки.

4. Способ по п.1, в котором, по меньшей мере, некоторое количество теплоты подвижными первыми углеводородами конвективно передают части второго участка пласта, расположенной близко к добывающей скважине.

5. Способ по п.1, в котором одним или несколькими первыми нагревателями нагревают первые участки посредством теплопроводности.

6. Способ по п.1, в котором одним или несколькими вторыми нагревателями нагревают вторые участки посредством теплопроводности.

7. Способ по п.1, в котором подведенной теплотой увеличивают проницаемость по меньшей мере одного из первых участков и/или по меньшей мере одного из вторых участков.

8. Способ по п.1, в котором благодаря подведенной теплоте по меньшей мере некоторое количество углеводородов первых участков и/или вторых участков подвергают пиролизу.

9. Способ по п.1, дополнительно включающий этап, на котором отводят воду из по меньшей мере одного из первых участков и/или из по меньшей мере одного из вторых участков до подведения теплоты в пласт.

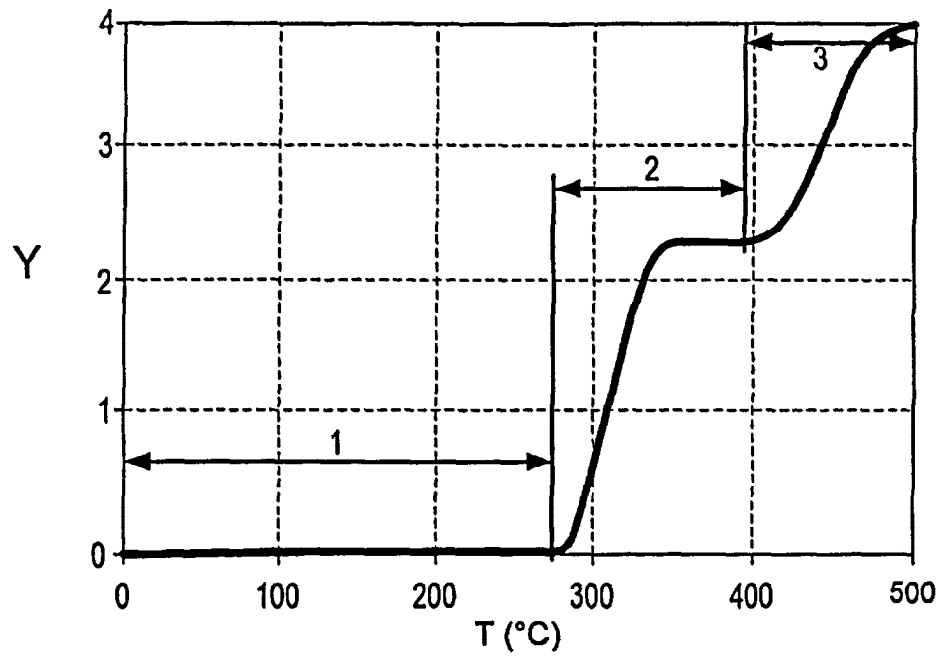
10. Способ по п.1, в котором объем по меньшей мере одного из первых участков составляет примерно от 70% до 130% объема по меньшей мере одного из вторых участков.

11. Способ по п.1, дополнительно включающий этап, на котором накачивают флюид в первые участки с целью перемещения по меньшей мере некоторого количества первых углеводородов во вторые участки.

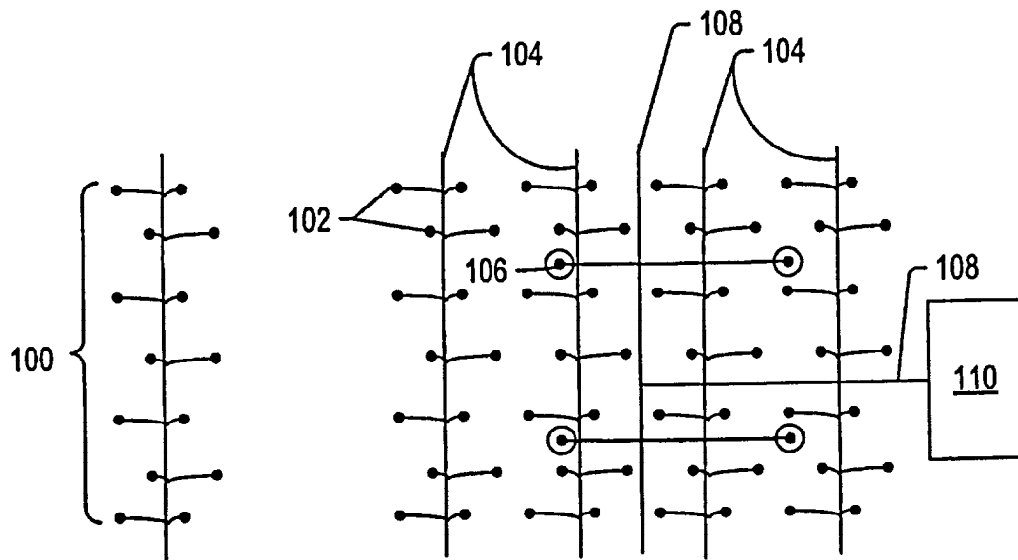
12. Способ по п.1, в котором наложением теплоты от первых нагревателей не покрывают часть по меньшей мере одного из вторых участков, расположенную близко к по меньшей мере одной добывающей скважине.

13. Способ по п.1, дополнительно включающий этап, на котором регулируют температуру части по меньшей мере одного из вторых участков, расположенной близко к по меньшей мере одной добывающей скважине, так что температура равна самое большее примерно 200°C.

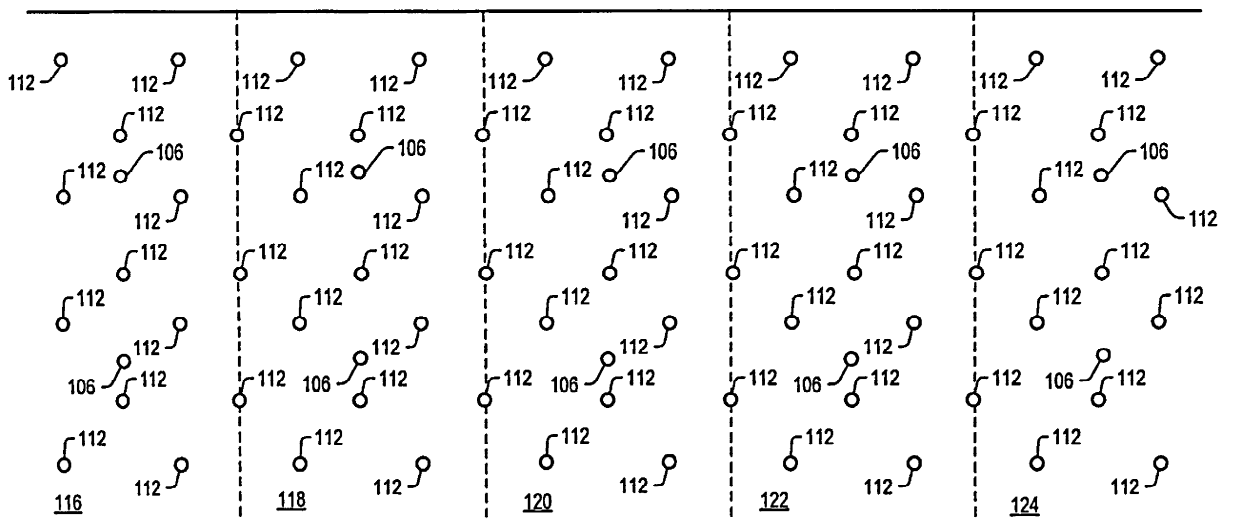
14. Способ по п.1, дополнительно включающий этап, на котором уменьшают или прекращают добычу в по меньшей мере одной добывающей скважине в по меньшей мере одном из вторых участков тогда, когда температура в части, расположенной близко к добывающей скважине, достигает значения, примерно равного 200°C.



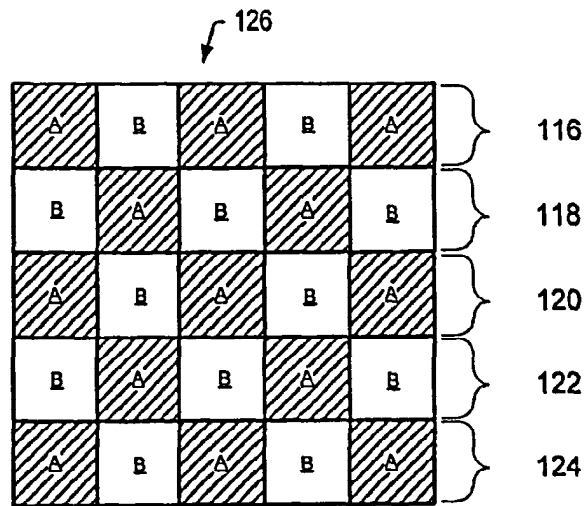
Фиг. 1



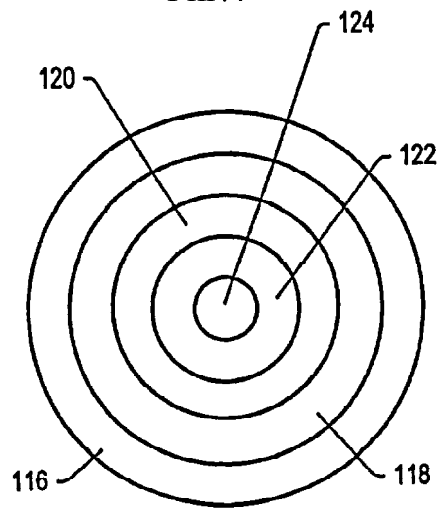
Фиг. 2



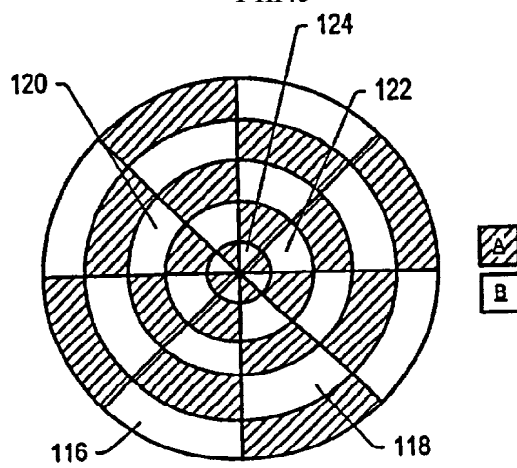
Фиг. 3



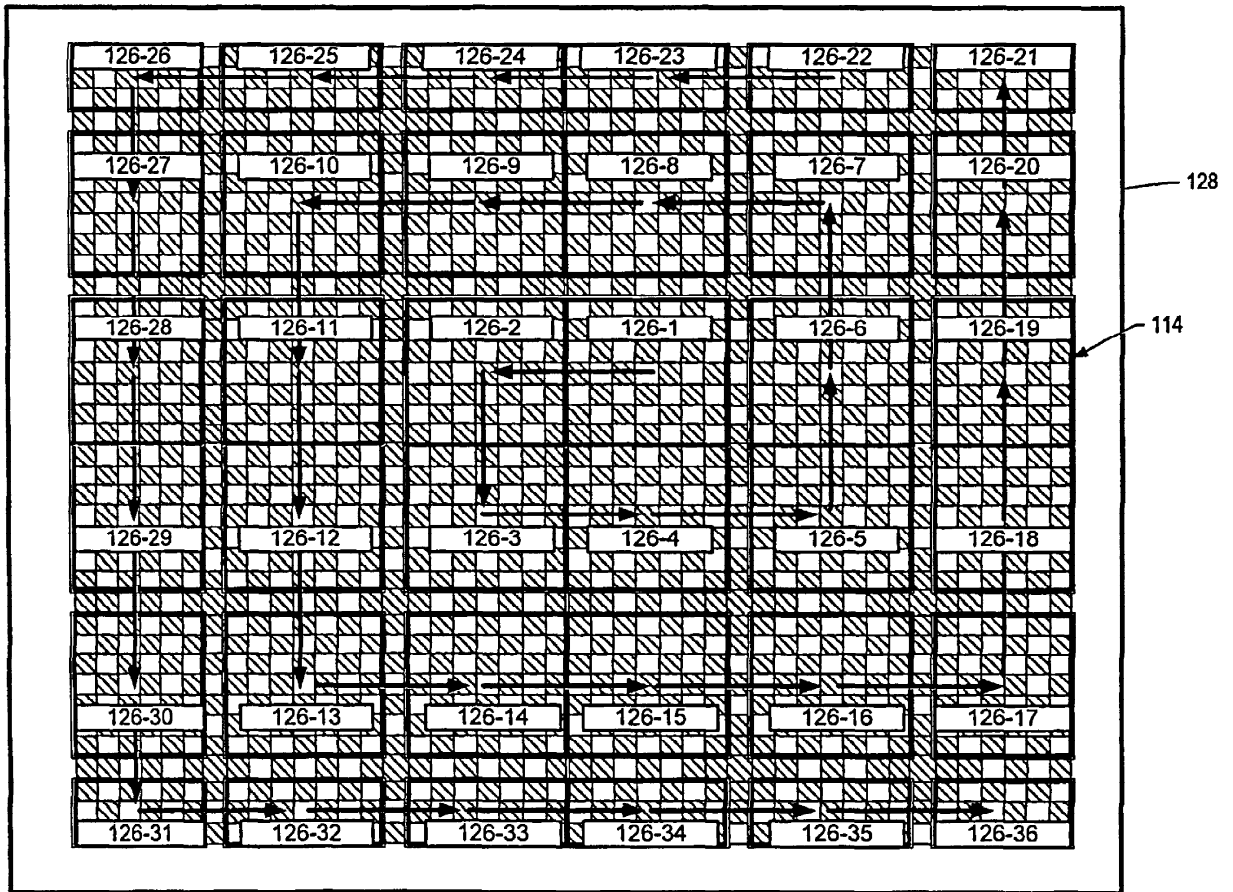
Фиг.4



Фиг.5



Фиг.6



Фиг. 7