Область техники

Настоящее изобретение относится к способу и системе для сокращения нежелательных отложений вещества в трубопроводах при транспортировке холодных потоков жидких углеводородов, содержащих, в частности, парафин и/или асфальтены. Однако эта концепция также может применяться в отношении многих других компонентов, содержащихся в нефти, газе или пластовой воде, и образующих твердые вещества или отложения при падении температуры, например, помимо прочего, газовых гидратов, смол, нафтенатов, нафтенатов металлов, алифатических и ароматических углеводородов, фуллеренов, любых солей (минерального осадка) пластовой воды или образующих любые комбинации между собой и/или с парафинами и асфальтенами. Такие компоненты ниже иногда будут именоваться "осадком". Концепция изобретения также может применяться для сокращения проблем коррозии в трубах или перерабатывающем оборудовании за счет связывания свободной воды, например, в газовых гидратах. В способе и системе по настоящему изобретению указанные потоки транспортируются по системе обработки и транспортировки, включающей трубопровод.

Уровень техники

В настоящее время в нефтегазовой промышленности наблюдается тенденция к разработке новых шельфовых месторождений с многочисленными подводными колоннами-надставками, приемными концентраторами, полевыми центрами или береговыми комплексами для окончательной переработки. Такие работы часто требуют более эффективного использования уже существующей инфраструктуры. Одним из препятствий для осуществления проектов такого рода для удаленных скважин является несовершенная и очень дорогая технология решения проблем, связанных с фазовыми переходами во флюидах и возможностью возникновения отложений в трубопроводах.

Хладотекучесть с транспортировкой суспензии отвердевших компонентов представляется привлекательным решением, но оно влечет за собой существенные проблемы, вызванные явлениями, возникающими в потоке низкотемпературного флюида. Решения на основе хладотекучести также могут быть очень важными для разработки многих береговых месторождений и для транспортировки на большие расстояния полностью или частично переработанных жидких углеводородов.

Транспортировка многофазного потока углеводородов из скважины на расстояния, превышающие современные, имеет стратегическое значение для будущих разработок глубоководных месторождений и, кроме того, позволит экономично эксплуатировать многие боковые спутниковые месторождения и проводить разведку на средних глубинах. Современная технология решения проблем, связанных, например, с отложением парафина или асфальтенов или других твердых веществ, часто основана на добавлении значительных количеств ингибирующих реагентов. Это оказывает большое влияние на экономичность системы и часто ухудшает локальную или глобальную экологическую обстановку. Альтернативно, трубопроводы для транспортировки углеводородов могут требовать тщательной изоляции или активного подогрева (обе операции запредельно дороги), может потребоваться проведение регулярных операций по внутренней очистке трубопроводов скребками, либо рядом с местом добычи придется осуществлять переработку большого количества флюида, что потребует применения сложных систем морских платформ или крупных перерабатывающих установок для наземных разработок.

Одной из серьезных проблем, связанных с хладотекучестью, является присутствие во многих нефтяных или газоконденсатных системах парафина и/или асфальтенов и/или других осаждающихся твердых веществ (т.е. "осадков"). Когда теплая нефть и/или конденсат, например, из пластового резервуара или любого другого источника теплых углеводородов остывает и/или понижается давление, нефть или конденсат могут стать пересыщенными осадками, которые начинают выпадать в форме отложений, например, на стенках трубы или остаются в форме суспензии твердых частиц/кристаллов в нефтяном или конденсатном флюиде. В некоторых ситуациях они могут образовывать гель в фазе нефти или конденсата. Отложения осадков в трубопроводах могут привести к снижению добычи (например, полностью заблокировав трубопровод), нарушению бесперебойности системы, а также могут привести к повышению расходов за счет упущенной выгоды и дополнительных трудозатрат, например, на регулярную очистку трубопроводов скребками.

Когда осадки выпадают в нефтяной или конденсатной фазе в форме небольших кристаллов или частиц, они могут уноситься углеводородным флюидом, не создавая отложений или пробок. Обычно этому способствуют реагенты, добавляемые в нефтяной или конденсатный флюид до его охлаждения до температуры кристаллизации осадков, либо отложения после их образования удаляют механически. Из лабораторных экспериментов хорошо известно, что повышенное перенасыщение способствует кристаллизации более мелких частиц осадка в объеме нефтяной или конденсатной фазы.

В патенте США № 3846279 описан способ получения парафиновых суспензий путем использования ректификационной колонны и заполненного водой реактора для получения суспензии частиц парафина, которую можно транспортировать до содержания частиц парафина в несущей нефти 50 мас.%. В патенте США № 3910299 применяется, по существу, та же процедура, но циркуляционным охлаждающим кожухом вместо водяной бани. Заявляется, что после процесса можно транспортировать в форме суспензии до 80 мас.% парафиновой фракции. Оба этих патента основаны на применении ректификационной колонны перед оборудованием для получения частиц парафина. В патентах США №№ 4697426 и 4702758 исполь-

зуется импульсное охлаждение путем расширения газа дросселированием или на расширительных турбинах соответственно, для быстрого образования кристаллов парафина, которые, как утверждается, после этого можно транспортировать как суспензию. В патенте США № 6070417 описан процесс, в котором флюид, в котором могут образоваться твердые отложения, циркулирует по теплообменнику, где большой температурный градиент на стенках теплообменника способствует образованию на них отложений. Скребок, выполненный с возможностью непрерывной циркуляции по теплообменнику, счищает эти твердые отложения, обеспечивая их выведение, например, в трубопровод на выходном конце теплообменника. Тот же самый принцип предлагается для парафиновых отложений Амином и др. (SPE paper 62947, ATCE Dallas, Texas, 1-4 Oct., 2000, 9 pp).

В канадском патенте № 1289497 приводится способ, где небольшое количество охлажденной нефти или конденсата, содержащего большое количество суспендированных небольших частиц или кристаллов парафина, добавляют к нефти или конденсату, содержащим парафин, при температуре выше точки кристаллизации парафинов. Из-за высокой точки плавления образующегося парафина, находящиеся в суспензии частицы парафина служат ядрами или центрами его осаждения, когда нефть или конденсат после этого медленно охлаждают до температуры ниже точки кристаллизации парафина. Охлажденная нефть, содержащая набольшие частицы или кристаллы парафина, может быть получена путем отбора и охлаждения небольшой части содержащих парафин нефти или конденсата до того, как она будет возвращена в теплые содержащие парафин нефть или конденсат. Управление образованием парафина путем регулирования скорости или степени охлаждения основного флюида нефти или конденсата, как заявляется в канадском патенте № 1289497, является непрактичным или неэкономичным.

В патенте Великобритании № GB 2358640 описан способ и система для транспортировки при повышенном давлении потока жидких углеводородов, содержащих воду. Согласно этому способу поток жидких углеводородов, содержащих воду, при температуре выше точки кристаллизации гидратов смешивают с охлажденным потоком жидких углеводородов, содержащих частицы газового гидрата. В точке смешивания вода из потока теплого флюида смачивает сухие частицы гидрата в охлажденном потоке флюида. Температура в потоке флюида после точки смешивания находится на уровне ниже точки кристаллизации газовых гидратов. Смоченные водой сухие частицы гидрата в потоке флюида, благодаря пересыщению, быстро преобразуются в сухой гидрат, без образования отложений гидратов, например, на стенке трубы. Охлажденный поток флюида, содержащий сухие частицы гидрата, получают путем рециркуляции достаточного количества охлажденного потока флюида. Количество потока охлажденного флюида, которое нужно подвергнуть рециркуляции, определяют по охлаждению, требуемому для получения температуры смешивания, близкой к точке кристаллизации гидратов.

Сущность изобретения

Согласно первому аспекту настоящего изобретения предлагается способ транспортировки потока жидких углеводородов, содержащих любой парафин, любые асфальтены, другие осаждающиеся твердые вещества и их комбинации («осадки») через систему для обработки и транспортировки, включающую трубопровод, отличающийся тем, что поток жидких углеводородов подают в реактор, где его смешивают с первым потоком флюида, имеющим температуру ниже температуры кристаллизации осадков и содержащим частицы или кристаллы, действующие как центры и/или зародыши роста для указанных осадков, при этом первый поток флюида обеспечивает переохлаждение потока углеводородов, обеспечивая выпадение осадков из потока жидких углеводородов, и направляют истекающий поток углеводородов из реактора в трубопровод для транспортировки.

В одном варианте в качестве первого потока флюида используют поток флюида из предшествующего процесса. Первым потоком флюида может быть нефть или конденсат.

В другом варианте степень переохлаждения регулируют при помощи количества первого потока флюида. Альтернативно, степень переохлаждения можно контролировать при помощи теплообменника, установленного между источником углеводородов и реактором. Далее истекающий поток углеводородов из реактора можно охлаждать в теплообменнике для полного выпадения осадков.

В другом варианте первого аспекта настоящего изобретения осаждение контролируют путем частичной изоляции или активного нагревания реактора и любого последующего теплообменника.

Вышеуказанными другими осаждающимися твердыми веществами могут быть любые газовые гидраты, смолы, нафтенаты, нафтенаты металлов, алифатические и ароматические углеводороды, фуллерены и соли(минералы) из пластовой воды.

В реактор можно добавлять реагенты, являющиеся по меньшей мере одним из зародышеобразующих агентов для парафина, асфальтенов, гидрата, осадка и других осаждающихся твердых веществ, деэмульгаторы или эмульгаторы, ингибиторы коррозии или любые типы реагентов, необходимых для транспортировки или хранения указанного потока углеводородов. Эти реагенты предпочтительно добавляют только при пуске.

Способ согласно первому аспекту настоящего изобретения применяют на морском дне или на берегу в холодном климате или при температуре окружающей среды, способствующей возникновению проблем с отложением твердых веществ в поточной системе. Далее в одном варианте используют неизоли-

рованную трубу (голую стальную трубу) в качестве теплообменника, когда температура окружающей среды достаточно низка.

Согласно второму аспекту настоящего изобретения предлагается система для обработки и транспортировки потока жидких углеводородов, содержащих любой парафин, любые асфальтены, другие осаждающиеся твердые вещества и их комбинации («осадки»), отличающаяся тем, что система содержит реактор, соединенный с источником углеводородов для получения указанного потока, и добавляющее устройство для добавления первого потока флюида, содержащего частицы или кристаллы, и имеющего температуру ниже температуры кристаллизации осадков в реакторе, и трубопровод для дальнейшей транспортировки потока от реактора.

Система также может включать второе добавляющее устройство для добавления в реактор реагентов. Далее между источником углеводородов и реактором может быть установлен теплообменник для регулирования степени переохлаждения. Теплообменник также может быть установлен между реактором и трубопроводом. Внутренняя поверхность реактора и теплообменника предпочтительно должна быть покрыта репеллентом конкретного осадка или материалом, являющимся репеллентом отложений широкого спектра действия.

Между теплообменником и трубопроводом также можно установить сепаратор и линию, ведущую от сепаратора к реактору, при этом указанная линия снабжена насосом, выполненным с возможностью обеспечивать рециркуляцию части потока из сепаратора обратно в реактор, чтобы эта часть служила указанным первым потоком флюида. В линии последовательно с насосом может быть установлен по меньшей мере один холодильник.

Предпочтительно по меньшей мере одним холодильником является неизолированная голая стальная труба.

В предпочтительном варианте реактор и любой последующий теплообменник частично изолированы или активно подогреваются для регулирования отложений.

В способе по настоящему изобретению парафин и/или асфальтены и/или другие осаждающиеся твердые вещества (т.е. «осадки») выпадают в виде небольших кристаллов или частиц в нефти или конденсате, содержащем такие осадки, когда теплый поток флюида из нефти или конденсата, содержащий такие не отвердевшие осадки, смешивают с охлажденным потоком флюида из нефти или конденсата, содержащего небольшие частицы или кристаллы парафина или асфальтенов, или любые другие небольшие кристаллы или частицы. Кристаллы или частицы в охлажденном потоке флюида действуют как зародыши или центры роста для образования осадков в смешанном потоке флюида. Температура в потоке флюида после смешивания должна быть столь низкой, чтобы обеспечить некоторую степень пересыщения для кристаллизации рассматриваемых осадков. Это увеличивает скорость образования осадков на частицах, присутствующих в потоке флюида, уменьшает размер вновь формируемых частиц или кристаллов осадков и предотвращает или минимизирует отложение осадков например, на стенке подводной трубы, благодаря уменьшению градиента температуры на стенке трубы. Частицы, не являющиеся кристаллами парафина и/или асфальтенов, могут давать тот же эффект снижения отложений на стенках, поскольку они являются конкурирующими поверхностями для процесса отложения. Охлажденный поток флюида из нефти или конденсата, содержащий небольшие кристаллы или частицы парафина или асфальтенов или любые другие небольшие кристаллы или частицы, может подвергаться рециркуляции из смешанного потока флюида или может быть любым предшествующим потоком флюида.

Поток теплых жидких углеводородов, содержащих не отвердевшие парафин и асфальтены и/или другие осаждающиеся твердые вещества, вводят в реактор, где он смешивается с охлажденным потоком углеводородов, содержащих небольшие кристаллы или частицы парафина или асфальтенов или любые другие небольшие кристаллы или частицы, который также вводят в этот реактор. Истекающий поток углеводородов из реактора можно охлаждать в теплообменнике до температуры окружающей среды для обеспечения выпадения всех осадков до того, как поток будет направлен в трубопровод для транспортировки в пункт назначения, или подвергать частичной рециркуляции в этот реактор. В определенных условиях реактор и часть последующего трубопровода могут быть изолированы или активно подогреваться для регулирования температурного градиента между флюидами и окружающей средой для сведения к минимуму тенденции к образованию отложений.

Поток теплых жидких углеводородов, содержащих не отвердевшие осадки, может поступать из одной скважины или более, или от любой установки по переработке углеводородов, и может находиться под повышенным давлением. Основными примерами областей применения этой концепции будут подводная добыча и транспортировка нефти, или наземная транспортировка при температурных условиях, способствующих осаждению, или транспортировка переработанной нефти от перерабатывающих установок к другим местам назначения (экспортные нефтепроводы). Иногда, особенно при пуске или при возникновении каких-то отложений, например парафина, асфальтенов или минералов и/или других твердых осадков, желательно добавлять в поток перед реактором некоторые реагенты.

Охлажденный поток жидких углеводородов (т.е. «первый поток флюида»), содержащий небольшие кристаллы или частицы парафина, или асфальтенов, или любые другие небольшие кристаллы или частицы, который подается в реактор, может быть предшествующим потоком флюида или охлажденным, под-

вергающимся рециркуляции потоком флюида от истекающего потока углеводородов, выходящего из вышеупомянутого реактора.

Способ особенно применим в тех случаях, когда транспортировка происходит при относительно низкой температуре, как в наземных системах в холодном климате, так и на дне моря. Когда окружающая среда является довольно холодной, применяемым теплообменником может быть неизолированная труба. Когда температура окружающей среды достаточно низка, это решение обеспечит удовлетворительное охлаждение без необходимости в дополнительном хладагенте.

Описана система для обработки и транспортировки потока углеводородов, содержащих парафин, и/или асфальтены, и/или другие осаждающиеся твердые вещества. Система содержит следующие элементы, перечисленные в направлении потока и соединенные друг с другом так, что углеводороды могут проходить через всю систему: средство для соединения с источником углеводородов, реактор и трубопровод. Линия, которая является предшествующей линией или которая ведет от разделяющего устройства (сепаратора) к реактору, снабжена насосом, выполненным с возможностью подвергать рециркуляции материал от разделяющего устройства обратно в реактор. Насос может относиться к любому типу, пригодному для работы при скоростях и давлениях, требуемых для решения конкретной задачи.

Внутренняя часть системы, в частности, внутренняя часть реактора, может быть покрыта материалом, являющимся репеллентом отложений. В некоторых случаях может оказаться полезным добавлять в поток углеводородов различные реагенты, в частности, во время пуска и во время изменений в режиме работы. Система, соответственно, может содержать средство для добавления в поток реагентов. Аналогично, внешняя часть реактора может быть полностью или частично изолирована, или реактор может оснащаться любым средством для активного подогрева для регулирования переноса тепла между флюидами и окружающей средой.

Настоящее изобретение устраняет многие дорогостоящие и/или вредные для окружающей среды аспекты, обеспечивая осаждение твердых веществ в пригодной для транспортировки форме и без существенных отложений. Твердые частицы могут осаждаться в периоды остановки системы, однако, без побудительных сил для агломерации или отложения (обычно это градиенты температур и концентраций) легко редиспергируются при последующем пуске системы. Таким образом, твердые вещества перестают быть проблемой без применения реагентов или другого «внешнего вмешательства».

Наибольший выигрыш с точки зрения безопасности человека или с точки зрения экологии заключается в том, что на морских нефтепромыслах можно устранить новые структуры, выходящие на поверхность, за счет возможности прямой подводной добычи углеводородов с берега, с мелководья или с принимающей платформы с их имеющимися мощностями. При таком типе безопасных операций не требуется присутствие людей, выполняющих операции в море на больших глубинах. Кроме того, настоящее изобретение является экологически безопасным, поскольку устраняется или сокращается применение многих химических добавок. Операционные преимущества прежде всего созданы существенным сокращением риска закупоривания. Это значит, что огромное количество закачивающих и управляющих систем становятся ненужными для любого типа применения настоящего изобретения. Успешное использование хладотекучести означает упрощение и повышение стабильности операций в системах, не требующих обслуживания и находящихся в тепловом равновесии с окружающей средой. Все вышеперечисленные факторы способствуют тому, чтобы использование хладотекучести стало экономически привлекательным решением. Кроме того, представляется очевидным, что хладотекучесть может стать решающим фактором, позволяющим осуществлять проекты - в смысле превращения удаленных и/или боковых спутниковых месторождений в экономически эффективные. Так называемая «связка» добывающих скважин с существующей инфраструктурой в настоящее время ограничена довольно короткими расстояниями и хладотекучесть поможет существенно расширить «охват» от существующих установок. Совершенно очевидно, что отказ от мощных систем подогрева или изоляции сокращает издержки, что расширяет коммерческий потенциал и полезность настоящего изобретения.

Краткое описание чертежей

Ниже следует описание вариантов настоящего изобретения со ссылками на прилагаемые чертежи, где

фиг. 1 - схема системы обработки осадков согласно первому варианту настоящего изобретения;

фиг. 2 - схема системы обработки осадков согласно второму варианту настоящего изобретения;

фиг. 3 - схема системы обработки осадков согласно третьему варианту настоящего изобретения;

фиг. 4 - схема системы обработки осадков согласно четвертому варианту настоящего изобретения;

фиг. 5 - схема системы обработки осадков согласно пятому варианту настоящего изобретения.

Подробное описание

На всех чертежах одинаковыми позициями обозначены одинаковые элементы.

На фиг. 1 показан первый вариант настоящего изобретения. Теплая нефть/конденсат, содержащая растворенные парафин и/или асфальтены и/или другие осаждающиеся твердые вещества (далее именуемые «осадки»), которая может иметь повышенное давление, приходит от источника 1 углеводородов, для смешивания в реакторе 4 с холодным потоком флюида, содержащим небольшие частицы или кристаллы и приходящим от добавляющего устройства 7. Частицами или кристаллами могут быть любые из нескольких осадков из углеводородного флюида (например, карбонаты или другие образующие осадки

соединения, соли, парафин, асфальтены или газовые гидраты), другие твердые вещества от предшествующих процессов (например, песок из пластового резервуара углеводородов, или частицы ржавчины, возникшие в результате коррозии), или любые частицы, специально добавленные в систему для облегчения зародышеобразования, или любые частицы, созданные в результате добавления реагентов для облегчения их получения.

В реакторе 4 теплый поток флюида почти немедленно охлаждается до температуры ниже точки кристаллизации осадков (переохлаждается или пересыщается). Частицы и кристаллы в холодном потоке флюида затем действуют как точки зародышеобразования и участки роста для образования осадков из теплого потока флюида. Степень переохлаждения для образования осадков в реакторе 4 достигается путем добавления достаточного количества холодного потока флюида через добавляющее устройство 7. Нежелательного засорения или образования отложений в реакторе 4 можно, необязательно, избежать при помощи локального покрытия всех поверхностей репеллентом парафина/асфальтенов или покрытием-репеллентом отложений широкого спектра действия. Дополнительно можно использовать изоляцию или подогрев реактора 4.

Полученный поток флюида из реактора 4 затем направляют в трубопровод 6 и транспортируют до любой перерабатывающей установки или хранилища (например, на морскую платформу, или на береговой перерабатывающий комплекс) или полностью или частично передают для последующего применения по настоящему изобретению в качестве холодного потока флюида.

Во втором варианте, показанном на фиг. 2, флюид из реактора 4 охлаждают до температуры, почти равной температуре окружающей среды, в теплообменнике 5 для того, чтобы при необходимости завершить образование осадков из теплого потока флюида 1 до входа в трубопровод 6. Теплообменник 5 может быть неизолированной трубой или холодильником любого типа, который может быть даже интегрирован с реактором 4 и/или трубопроводом 6.

В третьем варианте (фиг. 3), любые желательные реагенты добавляют непосредственно в реактор 4 через второе добавляющее устройство 2. Рассматриваемыми реагентами могут быть зародышеобразующие агенты для парафина/асфальтенов/гидрата/минералов и/или других осаждающихся твердых веществ предпочтительно только при пуске, деэмульгаторы/эмульгаторы или требующиеся реагенты любого другого типа (например, ингибиторы коррозии) для транспортировки или хранения указанного флюида. Применяемые реагенты 2 не должны наносить вред окружающей среде и, как правило, должны использоваться только при первом пуске системы.

В четвертом варианте (фиг. 4) настоящего изобретения теплую нефть/конденсат из источника 1, содержащую растворенные осадки, которая может иметь повышенное давление, необязательно смешивают с любыми желаемыми реагентами 2 в смешивающем устройстве 3. Рассматриваемыми реагентами могут быть зародышеобразующие агенты для парафина/асфальтенов/гидрата/минералов и/или других осаждающихся твердых веществ предпочтительно только при пуске, деэмульгаторы/эмульгаторы или требующиеся реагенты любого другого типа (например, ингибиторы коррозии) для транспортировки или хранения указанного флюида. Применяемые реагенты 2 не должны наносить вред окружающей среде и по существу должны использоваться только при пуске системы. Использование смешивающего устройства 3 является предпочтительным по сравнению с третьим вариантом, если реагенты в основном предназначены только для взаимодействия с содержимым теплого потока флюида 1 или для упрощения конструкции или снижения стоимости реактора 4.

Поток флюида от смешивающего устройства 3 подается в реактор 4, где он смешивается с холодным (имеющим температуру ниже точки кристаллизации осадков) потоком флюида от предшествующего процесса (поток флюида 6 от предыдущей системы по настоящему изобретению или от любого другого соответствующего предшествующего процесса). Этот холодный флюид является нефтью/конденсатом, содержащим небольшие частицы или кристаллы. Этими частицами или кристаллами могут быть парафин или асфальтены или любой один или более из нескольких осадков из углеводородного флюида (например, карбонаты или другие осаждающиеся соединения, соли или газовые гидраты), прочие осадки от предшествующих процессов (например, песок из пластового резервуара углеводородов или частицы ржавчины, образованные коррозией), или любые частицы, добавленные в систему специально для облегчения зародышеобразования, или любые частицы, созданные путем добавления реагентов для облегчения их получения.

В реакторе 4 теплый поток флюида 1 почти немедленно охлаждается до температуры ниже точки кристаллизации осадков (переохлаждается или пересыщается). Частицы и кристаллы в холодном потоке флюида 7 затем действуют как точки зародышеобразования и участки роста для образования осадков из теплого потока флюида 1. Степень переохлаждения для образования осадков в реакторе 4 достигается добавлением достаточного количества холодного потока флюида 7. Нежелательное засорение или образование отложений в реакторе 4 можно необязательно предотвратить путем локального покрытия всех поверхностей репеллентом парафина/асфальтенов или покрытием-репеллентом отложений широкого спектра действия. Дополнительно можно использовать изоляцию или подогрев реактора 4.

Флюид из реактора 4 охлаждают до температуры, почти равной температуре окружающей среды, в теплообменнике 5 для того, чтобы при необходимости завершить образование осадков из теплого потока

флюида до входа в трубопровод 6. Теплообменник 5 может быть неизолированной трубой или холодильником любого типа, который может быть даже интегрирован с реактором 4 и/или трубопроводом 6.

Поток флюида в трубопроводе 6 может транспортироваться на любую перерабатывающую установку или в хранилище (например, на морскую платформу или береговой перерабатывающий комплекс) на любое практически достижимое расстояние, или полностью или частично передаваться на последующий процесс по настоящему изобретению в качестве холодного потока флюида 7.

В пятом варианте настоящего изобретения (фиг. 5) система используется для однократного применения этого способа или является первый ступенью в последовательности ступеней системы. Теплая нефть/конденсат, содержащая парафин/асфальтены и/или другие осаждающиеся твердые вещества, которая может приходить от источника 1 при повышенном давлении, необязательно предварительно охлаждается в теплообменнике 11 и после этого необязательно смешивается с любыми желаемыми реагентами 2 в смешивающем устройстве 3. Смешивающее устройство для реагентов 3 может быть исключено, если до реактора 4 не требуется введение никаких реагентов или, если любые желаемые реагенты 2 можно вводить непосредственно в реактор 4. Такая ситуация возникает, когда любые желательные реагенты предназначены не только для взаимодействия с содержимым потока флюида 1.

Поток флюида из смешивающего устройства 3 транспортируется в реактор 4, где он смешивается с холодным (при температуре ниже точки кристаллизации осадков) потоком флюида от разделяющего устройства 8. Этот холодный флюид содержит небольшие частицы или кристаллы. Этими частицами или кристаллами могут быть любой один или более из нескольких осадков из флюида углеводородов (например, карбонаты или другие образующие осадки соединения, соли, парафин, асфальтены или газовые гидраты), другие твердые вещества от предшествующих процессов (например, песок из пластового резервуара углеводородов или частицы ржавчины, возникшие в результате коррозии) или любые другие частицы, созданные путем добавления реагентов для облегчения их получения.

В реакторе 4 теплый поток флюида почти немедленно охлаждается до температуры ниже точки кристаллизации осадков (переохлаждается или пересыщается). Частицы и кристаллы в холодном потоке 7 флюида затем действуют как точки зародышеобразования и участки роста для образования осадков из теплого потока флюида. Степень переохлаждения для образования осадков в реакторе 4 достигается добавкой достаточного количества холодного потока флюида 7. Нежелательного засорения или образования отложений в реакторе 4 можно, необязательно, избежать путем локального покрытия всех поверхностей репеллентом парафина/асфальтенов или покрытием-репеллентом отложений широкого спектра действия. Дополнительно, можно использовать изоляцию или подогрев реактора 4.

Флюид из реактора 4 можно охлаждать до температуры, почти равной температуре окружающей среды, в теплообменнике 5 для того, чтобы обеспечить полноту образования осадков из теплого потока флюида до входа в трубопровод 6. Теплообменник 5 может быть неизолированной трубой или холодильником любого типа, который может быть даже интегрирован с реактором 4 и/или трубопроводом 6.

В сепараторе или в разделяющем устройстве 8 поток флюида отделяется от основного потока и направляется в трубопровод 6. При непрерывном режиме работы поток флюида 6, включающий парафин и асфальтены и/или другие осаждающиеся твердые вещества, будет эквивалентен потоку флюида 1. Оставшийся поток флюида из разделяющего устройства 8 подвергается рециркуляции по линии 10 посредством насоса 9 обратно в реактор 4. Разделяющим устройством 8 может быть любое подходящее разделяющее устройство или сепаратор. Аналогично, насосом 9 может быть любой подходящий насос. В линию 10 можно включить один или более холодильник либо до, либо после насоса 9 предпочтительно в форме обнаженной неизолированной стальной трубы, которая обменивается теплом с окружающей средой.

Поток флюида в трубопроводе 6 может транспортироваться на установку для переработки или для хранения или полностью или частично транспортироваться в последующую систему по настоящему изобретению как холодный поток флюида 7.

Далее следует более общее обсуждение настоящего изобретения.

Основным принципом настоящего изобретения является смешивание горячего углеводородного флюида, содержащего, по меньшей мере, парафин, и/или асфальтены, и/или другие осаждающиеся твердые вещества (т.е. «осадки»), с достаточным количеством холодного углеводородного флюида, который содержит небольшие частицы или кристаллы парафина, асфальтенов или любых других подходящих центров зародышеобразования и/или роста кристаллов. Размер частиц и кристаллов должен быть меньше 5 мм в диаметре, предпочтительно менее 1 мм в диаметре. В точке смешивания получаемая температура должна находиться в области переохлаждения (температуры и давления) для образования осадков. Для нефтяных или конденсатных систем это подразумевает, что поток теплого флюида перед смешиванием с потоком холодного флюида может иметь температуру от 40 до 200°C, предпочтительно от 40 до 80°C. Холодный флюид обычно имеет температуру, равную или близкую к температуре окружающей среды, которая на морском дне обычно составляет от -2 до +20°C, предпочтительно между -2 и +6°C, в зависимости от глубины и географического положения. Температура в смешанном потоке должна быть на 10-40 K, предпочтительно на 20-30 K ниже (переохлаждение) средней температуры кристаллизации парафина и асфальтенов в потоке теплого флюида. Для других осаждающихся твердых веществ температуры

переохлаждения или пересыщения могут быть другими. Основной и главный вариант настоящего изобретения заключается в подаче в реактор 4 потока 1 теплого углеводорода, содержащего растворенные парафин и асфальтены и/или другие осаждающиеся твердые вещества, и холодного потока 7 с частицами для создания достаточного охлаждения и для создания центров кристаллизации и/или роста кристаллов, чтобы их можно было далее транспортировать по трубопроводу 6. Все другие описанные детали системы и альтернативные варианты, приведенные в примерах и в настоящем тексте, являются необязательными и используются только в соответствии с конкретными потребностями системы и в любой желаемой комбинации. Изменения также не ограничены упомянутыми здесь вариантами - специалисты легко поймут, что в изобретение могут быть внесены различные изменения и модификации, не выходящие за пределы объема настоящего изобретения, определенного в прилагаемой формуле.

Теплообменник 5 может быть помещен после реактора 4 для охлаждения истекающего потока флюида до его транспортировки по трубопроводу 6 на перерабатывающую установку или в хранилище. Этот теплообменник обычно является частью трубопровода 6, которая, также, как правило, состоит из голой стальной трубы, расположенной, например, на дне моря. Назначением теплообменника является главным образом обозначение мест, в которых могут осаждаться парафин, и/или асфальтены, и/или другие осаждающиеся твердые вещества из-за понижения температуры в истекающем потоке флюида. Если в этом месте ожидается появление отложений, можно заранее принять защитные меры, например, нанесение на все поверхности теплообменника покрытия, являющегося репеллентом отложений, или изоляция теплообменника, либо можно применить любые способы обработки, например, очистку трубы скребками или подогрев. Если часть истекающего потока флюида из реактора 4 должна быть охлаждена и возвращена в реактор 4 как поток холодного флюида 7, охлаждение может осуществляться в теплообменнике 5, расположенном до разделяющего устройства 8, или полностью или частично в теплообменнике в линии 10. Теплообменник в линии 10 может размещаться между разделяющим устройством 8 и насосом 9 или между насосом 9 и реактором 4 или выполняться как интегрированная часть разделяющего устройства 8, насоса 9 или реактора 4. Предпочтительно этот теплообменник является частью линии 10 и состоит из голой стальной трубы.

При повышенном давлении настоящее изобретение может использоваться в комбинации с технологией обработки и транспортировки жидких углеводородов, содержащих воду, которая описана в патенте GB 2358640, если вода присутствует в потоке 1 теплого флюида. В патенте GB 2358640 основным способом является преобразование свободной воды в теплом флюиде в частицы гидрата путем смачивания сухих частиц гидрата в потоке холодного флюида. После смачивания частиц гидрата, свободная вода при переохлаждении преобразуется в гидраты. Эта температура (обычно ниже 20°C) обычно бывает значительно ниже средней температуры, необходимой для осаждения (30-60°C) парафина или асфальтенов и требует дополнительного количества холодного флюида по сравнению с настоящим изобретением. В настоящем изобретении предложенный способ состоит в зародышеобразовании и/или создании центров роста парафина и/или асфальтенов на любых подходящих частицах или точках зародышеобразования в потоке холодного флюида, вместе с охлаждением.

Разделяющее устройство 8 может относиться к любому типу разделяющих механизмов, которые позволяют проводить избирательное отделение наиболее крупных твердых частиц, поскольку они должны быть направлены предпочтительно в поток трубопровода 6 во избежание постоянного наращивания размера частиц. Таким сепаратором может быть, помимо прочего, простой циклон (завихритель потока), где наиболее крупные частицы мигрируют к внешним частям потока и могут быть отобраны оттуда, либо гравитационный сепаратор, где можно использовать разницу в плавучести между частицами разного размера. Для достижения разделения или сепарации можно также использовать любые эффекты сегрегации, вызванные размером частиц и связанные с условиями потока (например, если большие частицы имеют тенденцию к оседанию в сравнительно спокойных условиях потока (которые могут быть созданы, например, путем установки определенного участка трубы большего диаметра, чем остальной трубопровод)).

Настоящее изобретение не указывает на предпочтительный способ работы с полученной суспензией, состоящей из жидких углеводородов и частиц/кристаллов, когда она приходит на этап переработки. Часто может оказаться предпочтительным удалить частицы из суспензии. Это может быть выполнено такими же методами, которые были описаны выше для разделяющего устройства 8, или другим путем. В некоторых случаях может оказаться полезным подогреть флюиды, чтобы повторно растворить твердые парафин, и/или асфальтены, и/или другие осаждающиеся твердые вещества, или этого можно добиться, например, пропуская флюиды через сетчатый фильтр, например, когда они находятся в сепараторе. Или же можно дать твердым частицам осесть (или подняться на поверхность) при хранении или на стадии сепарации, а затем собрать их механически со дна или с поверхности массы флюида. Реализация настоящего изобретения обычно упрощает переработку на конечной стадии, поскольку манипулирование твердыми частицами часто легче реализовать и такое манипулирование является более экономичным чем внедрение любого механизма или системы, предотвращающей осаждение этих твердых частиц в перерабатывающем оборудовании.

Далее следует иллюстрация настоящего изобретения путем приведения примеров, которые демонстрируют полезность и работоспособность изобретения. Эти примеры приведены только для иллюстрации и не ограничивают настоящее изобретение.

Пример 1.

В двух отдельных экспериментах сырая нефть из морского месторождения подвергалась рециркуляции по стальному проточному контуру высокого давления длиной 50 м и с внутренним диаметром 1 дюйм (25,4 мм) в среде с регулируемой температурой.

В проточный контур загружали первоначальный объем примерно 30 литров нефти, которая была быстро охлаждена в отдельном устройстве для образования начальных кристаллов парафина в объемной фазе. Когда флюиды перемещались, только свободно текучая объемная фаза со взвешенными кристаллами парафина заливалась в контур, а гель или отложения исключались, тем самым создавая очень хорошие первоначальные условия текучести. Структурная вязкость нефтяной фазы была оценена в примерно 35 сП.

Когда исходная загрузка циркулировала в контуре с расходом примерно 25 л/мин, начинали закачивать свежую нефть со всем ее парафиновым содержимым, растворенным в некристаллической форме. Закачиваемую нефть подогревали до более 80°C, в течение по меньшей мере 24 ч до закачки в циркулирующую холодную нефть в проточном контуре. Температура горячей нефти перед закачкой составляла 60°C. Горячей нефти давали смешаться с холодными флюидами и закачку проводили порциями примерно по 1 кг и между закачкой большинства порций давали температуре упасть до первоначальной величины (приблизительно 4°C). Расход холодных флюидов регулировали так, чтобы в ходе эксперимента соотношение холодной нефти и горячей нефти находилось в интервале от 0,8:1 до 1,6:1. Отбор холодных флюидов из сепаратора проводился одновременно с закачкой, чтобы удерживать давление, по существу, постоянным на уровне примерно 80 бар избыточного давления. Также в порции дополнительно закачивался пропан и метан для лучшего воспроизведения реальных условий добычи нефти. Всего в ходе двух экспериментов было закачано 264 и 268 л горячей нефти.

Во время экспериментов менялся расход при данной мощности насоса, что указывало на свойства парафиновой суспензии. Имелся переходный период, во время которого концентрация частиц парафина в потоке была очевидно недостаточно высока для того, чтобы они действовали как центры зародышеобразования для всего входящего парафинового содержимого. Во время этого периода расход снижался. Постепенно в объеме все же вновь происходило формирование очень маленьких кристаллов, и в итоге концентрация достигала достаточно высокой величины и возникало достаточно инициаторов образования зародышей, чтобы служить затравочными кристаллами для всего поступающего парафина. Эта суспензия очень маленьких кристаллов легко текла и достаточно быстро восстанавливался высокий расход. Описанные здесь механизмы были подтверждены исследованиями отобранных образцов флюида под микроскопом с регулярными интервалами. Конечный расход после всех закачек и кристаллизации всего парафина был лишь немного ниже первоначального расхода, обнаруживая структурную вязкость примерно в 45 сП.

По окончании экспериментов внутренности проточного контура были очищены скребками путем протягивания плотно прилегающих резиновых дисков для удаления и сбора любого парафина, который сел на стенках. В обоих экспериментах на участке длиной 4,8 м вниз по потоку от точки закачки, на котором, как считается, происходит большая часть процессов кристаллизации парафина, было обнаружено примерно 1,5 г парафина. Это количество составляет примерно 0,1 мас.% от общего содержания парафина во всей нефти, которая подвергалась рециркуляции и закачивалась в систему.

Сравнительный пример 1a.

Для сравнения проводился эксперимент, аналогичный описанному в примере 1. Основное отличие состояло в том, что 30 л нефти было залито в контур при температуре, когда кристаллизация парафина еще не происходит (при примерно 53°C) и, затем эта нефть охлаждалась во время циркуляции по контуру через область температур выпадения парафинов. В этом эксперименте не присутствовали основные факторы настоящего изобретения, т.е. резкое охлаждение путем смешивания с холодной нефтью, и инициация кристаллизации тем же смешиванием.

Соскабливание отложений после этого теста дало примерно 1 г парафина с того же участка, который исследовался в примере 1. С учетом количества применявшейся нефти это количество парафина в 6,2 раза превышает количество по примеру 1. Некоторые факторы, особенно старение парафинового слоя (он легче срезался и смывался в этом сравнительном тесте) и не столь большой температурный градиент на стенке (снижающий тенденцию к отложениям) указывают, что этот результат является консервативным, т.е. отложения в сравнительном тесте в реальности даже выше по сравнению с примером 1.

Сравнительный пример 1b.

С помощью программного пакета GUTS версии 4.4.2 проводилось компьютерное моделирование отложения парафина в системе, подобной реальному проточному контуру, описанному в примере 1. Этот программный пакет имеет модуль прогнозирования многофазного отложения парафина. Теплообмен и геометрия трубы моделировались по реальному проточному контуру. Входная температура (и, следовательно, результирующая температура) для модели была определена в соответствии с различными отно-

шениями смешивания горячего и холодного потоков, использовавшихся в примере 1. Использовалось давление на входе, равное 70 бар и.д., и расход в 267 г/с. Время моделирования составило 240 ч.

С помощью программного пакета GUTS проводилась оценка отложения парафина, путем учета динамики температуры в реальных экспериментах, сравнения их с моделируемыми скоростями отложений и, наконец, путем интегрирования их пропорционально времени, в течение которого нефть текла при этой температуре.

Ожидаемые отложения по результатам моделирования в одном из экспериментов, описанных в примере 1 (без каких-либо преимуществ настоящего изобретения) в проточном контуре должны составлять 2,4 кг парафинов. Экстраполяция по очищенным скребками секциям показывает, что фактическая величина составляет около между 16 и 90 г. Это демонстрирует выраженное улучшение (по сравнению с результатами моделирования) от применения настоящего изобретения.

Моделирование реальных экспериментов, описанных в сравнительном примере 1а, прогнозирует 12 г парафина на 50 м длины, а реальное количество выплавленного парафина составило примерно 14 г на 50 м длины. Таком образом было продемонстрировано, что модель GUTS и схема ее применения достаточно хорошо представляют процесс отложения парафина в системе без применения настоящего изобретения.

Пример 2.

Поскольку одним из центральных аспектов настоящего изобретения является быстрое охлаждение и получение легко текучей жидкой фазы, исследовалась структурная вязкость той же сырой нефти, которая использовалась в примере 1. Проточный контур в форме колеса с длиной трубы 6,3 м, заполнялся определенным количеством нефти и нагревался до температуры выше 80°C. Затем проводилось как можно более быстрое охлаждение (приблизительно на 40-50°C в час) до 5°C. Проточный контур вращался с окружной скоростью 1 м/с, передавая скорость сдвига примерно 16 $с^{-1}$. Полученная структурная вязкость, измеренная путем соотношения крутящего момента, приложенного к оси вращения проточного контура для поддержания постоянной скорости вращения, составила от 30 до 40 сП.

Сырая нефть, использовавшаяся в примере 1, также тестировалась в том же колесном проточном контуре после использования в экспериментах по примеру 1 и показала такую же структурную вязкость.

Сравнительный пример 2.

Сырая нефть, использовавшаяся в примерах 1 и 2, также подвергалась отраслевому тесту для определения ее вязкого поведения в диапазоне температур. Сырая нефть предварительно нагревалась до 80°C для плавления всех парафиновых частиц и загружалась в вискозиметр при температуре по меньшей мере на 5°C превышающей температуру появления в ней парафина (wax appearance temperature/ WAT). При скорости сдвига 12,2 $с^{-1}$, которая имеет тот же порядок, что и в примере 2, и при скорости охлаждения примерно 2°C в час (что гораздо медленнее, чем в примере 2) вязкость сырой нефти при температуре 5°C составила значительно больше 150 сП. Это ясно доказывает полезный эффект быстрого охлаждения, являющегося частью настоящего изобретения.

Из описания предпочтительных вариантов настоящего изобретения специалистам очевидно, что можно использовать и другие варианты, содержащие концепцию настоящего изобретения. Эти и другие примеры настоящего изобретения, показанные выше, приведены только как иллюстрации и реальный объем настоящего изобретения определяется прилагаемой формулой.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ транспортировки потока жидких углеводородов, содержащих любой парафин, любые асфальтены, другие осаждающиеся твердые вещества и их комбинации (осадки), посредством обрабатывающей и транспортирующей системы, включающей трубопровод, отличающийся тем, что поток жидких углеводородов вводят в реактор, где его смешивают с первым потоком флюида, имеющим температуру ниже точки кристаллизации осадков и содержащим частицы или кристаллы, действующие как центры зародышеобразования и/или роста для указанных осадков, при этом первый поток флюида обеспечивает переохлаждение потока углеводородов, обеспечивая выпадение осадков из потока жидких углеводородов, и подают истекающий поток углеводородов из реактора в трубопровод для транспортировки.

2. Способ по п.1, отличающийся тем, что используют поток флюида от предшествующего процесса в качестве первого потока флюида.

3. Способ по п.2, отличающийся тем, что первым потоком флюида является нефть или конденсат.

4. Способ по п.1, отличающийся тем, что степень переохлаждения регулируют с помощью количества первого потока флюида.

5. Способ по п.1, отличающийся тем, что степень переохлаждения регулируют с помощью теплообменника, установленного между источником углеводородов и реактором.

6. Способ по п.1, отличающийся тем, что истекающий поток углеводородов из реактора охлаждают в теплообменнике для завершения выпадения осадков.

7. Способ по п.1, отличающийся тем, что отложение контролируют путем частичной изоляции или активного подогрева реактора и любого последующего теплообменника.

8. Способ по п.1, отличающийся тем, что другими осаждающимися твердыми веществами являются любые газовые гидраты, смолы, нафтенаты, нафтенаты металлов, алифатические ароматические углеводороды, фуллерены и соли (минералы) из пластовой воды.

9. Способ по одному из пп.1-8, отличающийся тем, что в реактор добавляют реагенты, представляющие собой по меньшей мере один из агентов зародышеобразования для парафина, асфальтенов, гидрата, минералов и прочих осаждающихся твердых веществ, деэмульгаторов или эмульгаторов, ингибиторов коррозии или любых типов реагентов, необходимых для транспортировки или хранения указанного потока углеводородов.

10. Способ по п.9, отличающийся тем, что реагенты добавляют только при пуске.

11. Способ по любому из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что способ применяют на дне моря или на суше в холодном климате, или при температуре окружающей среды, достаточной для возникновения проблем отложения твердых веществ в проточной системе.

12. Способ по любому из пп.1-11, отличающийся тем, что в качестве теплообменника используют неизолированную трубу (голую стальную трубу), когда температура окружающей среды достаточно низка.

13. Система для обработки и транспортировки потока жидких углеводородов, содержащих любой парафин, любые асфальтены, другие осаждающиеся твердые вещества и их комбинации (осадки), отличающаяся тем, что содержит реактор (4), соединенный с источником углеводородов (1) и с добавляющим устройством (7) для добавления в реактор (4) первого потока флюида, содержащего частицы или кристаллы и имеющего температуру ниже температуры кристаллизации осадков, и трубопровод (6) для последующей транспортировки потока от реактора (4).

14. Система по п.13, отличающаяся тем, что содержит второе добавляющее устройство (2) для добавления в реактор (4) реагентов.

15. Система по п.13, отличающаяся тем, что между источником углеводородов (1) и реактором (4) установлен теплообменник (11) для регулирования степени переохлаждения.

16. Система по п.13, отличающаяся тем, что между реактором (4) и трубопроводом (6) установлен теплообменник (5).

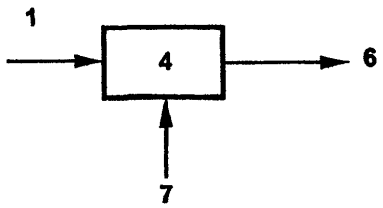
17. Система по п.16, отличающаяся тем, что внутренние поверхности реактора (4) и теплообменника (5) покрыты репеллентом осадков или материалом, являющимся репеллентом отложений широкого спектра действия.

18. Система по п.16, отличающаяся тем, что содержит сепаратор (8), установленный между теплообменником (5) и трубопроводом (6), и линию (10), ведущую от сепаратора (8) в реактор (4), при этом линия снабжена насосом (9), выполненным с возможностью подвергать рециркуляции часть потока от сепаратора (8) обратно в реактор (4) для работы в качестве первого потока флюида.

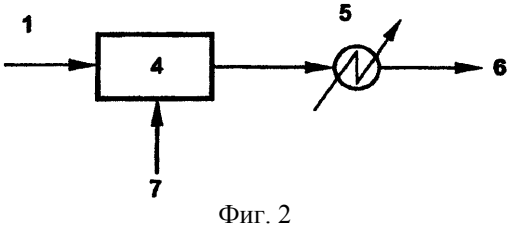
19. Система по п.18, отличающаяся тем, что содержит по меньшей мере один холодильник (3), включенный в линию (10) последовательно с насосом (9).

20. Система по п.19, отличающаяся тем, что указанный по меньшей мере один холодильник является голой стальной неизолированной трубой.

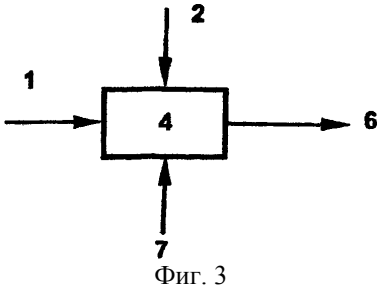
21. Система по п.13, отличающаяся тем, что реактор (4) и любой последующий теплообменник (5) частично изолированы или активно нагреваются для регулирования отложений.



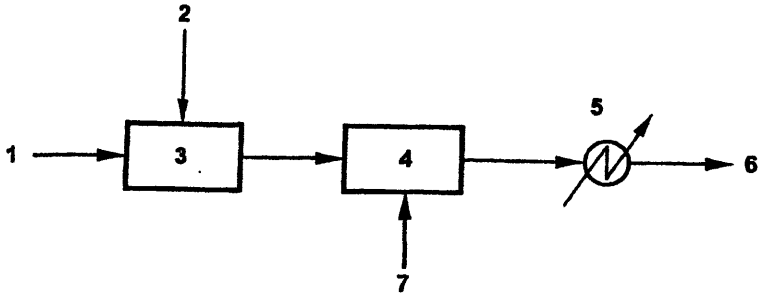
Фиг. 1



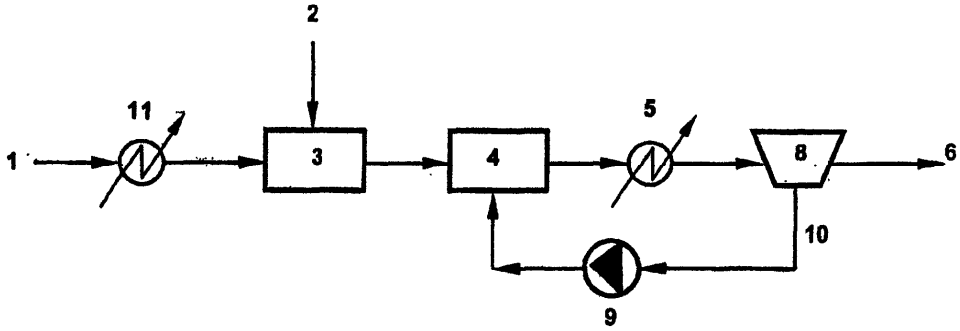
Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5

Евразийская патентная организация, ЕАПВ
Россия, 109012, Москва, Малый Черкасский пер., 2/6