СПОСОБ СЖИЖЕНИЯ ГАЗООБРАЗНОГО ОБОГАЩЕННОГО МЕТАНОМ СЫРЬЯ С ПОЛУЧЕНИЕМ СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА

Область техники

Настоящее изобретение относится к способу сжижения газообразного обогащенного метаном сырья с получением сжиженного продукта.

Предшествующий уровень техники

Сжиженный продукт обычно называется сжиженным природным газом . Способ сжижения включает следующие операции :

(а) подачу газообразного обогащенного метаном сырья при повышенном давлении в первую трубу основного теплообменника со стороны ее теплого конца , охлаждение , сжижение и переохлаждение газообразного обогащенного метаном сырья испаряющимся охладителем с получением сжиженного потока , удаление сжиженного потока из основного теплообменника у его холодного конца и пропускание сжиженного потока в хранилище в виде сжиженного продукта ;

(б) удаление испарившегося охладителя из корпуса основного теплообменника у его теплого конца ;

(в) сжатие испарившегося охладителя , по крайней мере , в одном компрессоре для охладителя с получением охладителя высокого давления;

(г) частичную конденсацию охладителя высокого давления и разделение частично сконденсированного охладителя на жидкую тяжелую фракцию охладителя и газообразную легкую фракцию охладителя ;

(д) переохлаждение тяжелой фракции охладителя во второй боковой трубе основного теплообменника с получением потока переохлажденного

тяжелого охладителя , введение потока тяжелого охладителя при пониженном давлении в корпус основного теплообменника в его средней точке и обеспечение возможности испарения потока тяжелого охлаждения в кожухе ; и

(е) охлаждение , сжижение и переохлаждение , по крайней мере , части легкой фракции охладителя в третьей трубе основного теплообменника с получением потока переохлажденного легкого охладителя, введение потока легкого охладителя при пониженном давлении в корпус основного теплообменника у его холодного конца и обеспечение возможности испарения легкого охладителя в корпусе ; и

(ж) управление процессом сжижения с использованием технологического контроллера процесса для определения регулирующих действий одновременно в отношении набора воздействуемых параметров для оптимизации , по крайней мере, одного набора параметров в процессе регулирования , по крайней мере , одного набора регулируемых переменных .

В патенте Австралии № AU -B-75 223/87 описан такой способ . Известный способ регулирования имеет различную стратегию для трех случаев , а именно , (1) когда выработка сжиженного продукта происходит со скоростью ниже желательной скорости , последняя должна быть увеличена путем регулирования состава охладителя с учетом разности температур у холодного конца основного теплообменника ; (2) когда выработка сжиженного продукта происходит со скоростью выше желательной скорости , последнюю следует уменьшить путем снижения давления всасывания компрессора для охладителя ; и (3) когда выработка осуществляется с желательной скоростью , общая (полная) производительность оборудования должна быть оптимизирована путем поддержания материально-производственного запаса охладителя в заданных пределах . В случаях (1) и (2) материально-производственный запас , состав и степень сжатия охладителя должны быть оптимизированы с учетом общей производительности .

Когда выработка осуществляется с желательной скоростью , оптимизация начинается с проверки материально-производственного запаса охладителя . Затем последовательно настраиваются на достижение наивысшей производительности следующие связанные с охладителем переменные : отношение массовых расходов тяжелой и легкой фракций охладителя , содержание азота в охладителе и отношение $C_3 : C_2$. Затем настраивается на достижение наивысшей производительности степень сжатия охладителя в компрессоре(ах) для охладителя .Последней операцией оптимизации является настраивание скорости компрессора(ов) для охладителя .

Когда другие важные параметры , как например, разность температур у холодного или теплого торца основного теплообменника опускаются ниже или превышают заданные значения или приравниваются к значениям диапазона тревожной сигнализации , процесс автоматического регулирования прерывается .

Недостатком известного способа регулирования является то, что он требует постоянного регулирования состава охладителя для оптимизации выработки . К недостаткам также относится то, что оптимизацию проводят последовательно и процессом автоматического регулирования нельзя управлять в ситуации , когда , например , разность температур у теплого конца основного теплообменника выходит из заданного диапазона значений .

Раскрытие существа изобретения

Для преодоления этих недостатков способ сжижения газобразного богатого метаном сырья с получением сжиженного продукта согласно настоящему изобретению отличается тем , что технологиче- ский контроллер процесса базируется на модели прогнозированного регулирования , при котором набор воздействуемых параметров включает массовый расход тяжелой фракции охладителя , массовый расход легкой фракции охладителя и массовый расход богатого метаном сырья , набор регулируемых пере-

менных включает разность температур у теплого торца основного теплообменника , которая представляет собой разность между температурами жидкости в первой трубе и жидкости у стенки корпуса основного теплообменника у его теплого торца , и разность температур у средней точки основного теплообменника , которая представляет собой разность между температурами жидкости в первой трубе и жидкости у стенки корпуса в средней точки основного теплообменника , и набор оптимизируемых параметров включает выработку сжиженного продукта .

В описании и в формуле изобретения выражение " оптимизация переменных" используется для ссылки на максимизацию или минимизацию переменной и на поддержание переменной у заданного значения .

Модель прогнозируемого регулирования или модель , основанная на прогнозируемом регулировании , является хорошо известной методикой , смотри , например, Perry`s Chemical Engineers` Hand- book, 7th Edition , стр. от 8-25 до 8-27 . Ключевой характеристикой модели прогнозируемого регулирования является то, что дальнейшее поведение процесса прогнозируется с использованием модельных или имеющихся измерений регулируемых переменных . Выходные данные технологического контроллера процесса рассчитываются таким образом , чтобы оптимизировать показатель рабочего режима , представляющий собой линейную или квадратичную функцию прогнозируемых ошибок и расчитанных дальнейших регулирующих ходов . В каждом случае пробоотбора контрольные расчеты повторяют и модернизируют прогнозы на основании текущих измерений . Подходящей моделью является модель , включающая набор моделей эмпирических переходных характеристик , определяющих влияние переходных характеристик, воздействуемых параметров на регулируемые переменные .

Оптимальное значение оптимизируемого параметра может быть получено из операции раздельной оптимизации , или оптимизируемая переменная может быть включена в функцию рабочего режима.

Перед применением модели прогнозируемого регулирования сначала определяют влияние шаговых изменений воздействумых параметров на оптимизируемые переменные и на регулируемые переменные .В результате этого получают набор коэффициентов переходных характеристик . Этот набор коэффициентов переходных характеристик образует базу модели прогнозируемого регулирования процесса сжижения .

В процессе нормальной работы прогнозируемые значения регулируемых переменных регулярно расчитываются для множества дальнейших регулирующих ходов . Для этих последующих регулирующих ходов регулярно рассчитывается показатель рабочего режима . Показатель рабочего режима включает два выражения , а именно, первое выражение , представляющее собой сумму прогнозируемых погрешностей для каждого регулирующего хода по всем последующим регулирующим ходам , и второе выражение , представляющее собой сумму изменений воздействуемых параметров для каждого регулирующего хода по всем последующим регулирующим ходам . Для каждой регулируемой переменной прогнозируемая погрешность представляет собой разность между прогнозируемым значением регулируемой переменной и эталонным значением регулируемой переменной . Прогнозируемые погрешности умножаются на весовой коэффициент , и изменения воздействуемых параметров для регулирующего хода умножаются на коэффициент пропуска хода . Рассмотренный индекс к.п.д является линейной функцией .

Альтернативно , выражения могут быть суммой возведенных в квадрат выражений , и в этом случае показатель рабочего режима является квадратичной функцией .

Кроме того , могут быть наложены ограничения на воздействуемые параметры , на изменения воздействуемых параметров и на регулируемые переменные . Это выражается в отдельном наборе уравнений , которые решаются одновременно с минимизацией показателя рабочего режима .

Оптимизация может проводиться двумя путями : одним путем является проведение оптимизации раздельно , за пределами оптимизации показателя рабочего режима , и вторым путем является оптимизация в пределах показателя рабочего режима.

Когда оптимизация осуществляется раздельно , оптимизируемые параметры включены в качестве регулируемых переменных в прогнозируемую погрешность для каждого регулирующего хода , и в результате оптимизации получают эталонные значения регулируемых переменных .

Альтернативно , когда оптимизация осуществляется в пределах расчета показателя рабочего режима , это приводит к третьему выражению для показателя рабочего режима с подходящим весовым коэффициентом . В этом случае эталонные значения регулируемых переменных являются значениями заданного установившегося режима , которые остаются постоянными .

Показатель рабочего режима минимизируется с учетом ограничений с получением значений воздействуемых параметров для последующих регулирующих ходов . Однако выполняется только следующий регулирующий ход . Затем снова начинается расчет показателя рабочего режима для последующих регулирующих ходов .

Модели с коэффициентами переходных характеристик и уравнения , необходимые для модели прогнозируемого регулирования , являются частью компьютерной программы , осуществляемой при регулировании процесса сжижения . Компьютерная пограмма , загружаемая с такой программой , которая может управлять моделью прогнозируемого регулирования , называется продвинутым технологическим контроллером . Поскольку

компьютерные программы продаются , авторы не намерены подробно обсуждать такие программы . Настоящее изобретение больше направлено на выбор переменных .

Далее изобретение будет описано посредством примеров со ссылкой на приложенные чертежи , на которых :

Фиг.1 схематически изображает технологическую диаграмму установки для сжижения природного газа ; и

Фиг.2 схематически изображает цикл охлаждения пропана .

Рассмотрим Фиг.1. Установка для сжижения природного газа содержит , по крайней мере, основной теплообменник 1 с теплым концом 3 , холодным концом 5 и средней точкой 7 .Стенка основного теплообменника 1 ограничивает корпус 10 . В корпусе 10 размещены первая труба 13 , проходящая от теплого конца 3 к холодному концу 5 , вторая труба 15 , проходящая от теплого конца 3 к средней точке 7 , и третья труба 16 , проходящая от теплого конца 3 к холодному концу 5 .

В процессе нормальной работы газообразное , богатое метаном сырье подается при повышенном давлении через подводящий трубопровод 20 в первую трубу 13 основного теплообменника 1 у его теплого конца 3 . Сырье , проходящее через первую трубу 13 , охлаждается , сжижается и переохлаждается охладителем , испаряющимся в корпусе 10 . Полученный сжиженный поток удаляется из основного теплообменника 1 у его холодного конца 5 через трубопровод 23 . Сжиженный поток проходит в хранилище , где он хранится как сжиженный продукт .

Испарившийся охладитель удаляется из корпуса 10 основного теплообменника 1 у его теплого конца 3 через трубопровод 25 . В компрессорах для охладителя 30 и 31 испарившийся охладитель сжимается с получением охладителя высокого давления , который удаляется через трубопровод 32 .

Первый компрессор для охладителя 30 приводится в действие подходящим двигателем , например , газовой турбиной 35 , имеющей вспомога-

тельный двигатель 36 для запуска , и второй компрессор для охладителя 31 приводится в действие подходящим двигателем , например , газовой турбиной 37 , имеющей вспомогательный двигатель (не показан) . Между двумя компрессорами для охладителя 30 и 31 из жидкости , проходящей через трубопровод 38 в воздухоохладитель 40 и теплообменник 41 , отбирается тепло от сжатия .

Охладитель , находящийся под высоким давлением в трубопроводе 32 , охлаждается в воздухоохладителе 42 и частично конденсируется в теплообменнике 43 с получением частично сконденсированного охладителя .

Охладитель высокого давления вводится в сепаратор 45 через впускное устройство 46 . В сепараторе частично сконденсированный охладитель разделяется на жидкую тяжелую фракцию охладителя и газообразную легкую фракцию охладителя . Жидкая тяжелая фракция охладителя удаляется из сепаратора 45 через трубопровод 47 , и газообразная легкая фракция охладителя удаляется через трубопровод 48 .

Тяжелая фракция охладителя переохлаждается во второй трубе 15 основного теплообменника 1 с получением потока переохлажденного тяжелого охладителя . Поток переохлажденного тяжелого охладителя удаляется из основного теплообменника 1 через трубопровод 50 и затем расширяется в расширительном устройстве , выполненном в виде отсечного золотника 51 . Под повышенным давлением он вводится через трубопровод 52 и сопло 53 в корпус 10 основного теплообменника у его средней точки 7 . Поток тяжелого охладителя имеет возможность испаряться в корпусе 10 при пониженном давлении , в результате чего охлаждаются жидкости в трубах 13, 15 и 16 .

Часть газообразной легкой фракции охладителя , удаленной через трубопровод 48 , пропускается через трубопровод 55 в третью трубу 16 основного теплообменника 1 , где она охлаждается , сжижается и переохлаждается с получением потока переохлажденного легкого охладителя . Поток

переохлажденного легкого охладителя удаляется из основного теплообменника 1 через трубопровод 57 и имеет возможность расширяться в расширительном устройстве , выполненном в виде отсечного золотника 58 . При пониженном давлении он вводится через трубопровод 59 и сопло 60 в корпус 10 основного теплообменника у его холодного конца 5 . Поток легкого охладителя имеет возможность расширяться в корпусе 10 при пониженном давлении, в результате чего охлаждаются жидкости в трубах 13, 15 и 16 .

Остаток легкой фракции охладителя, удаленной через трубопровод 48, пропускается через трубопровод 61 в теплообменник 63 , где она охлаждается , сжижается и переохлаждается . Через трубопровод 64 , имеющий отсечной золотник 65, она подается из теплообменника 63 в трубопровод 59 .

Полученный сжиженный поток удаляется из основного теплообменника через трубопровод 23 и пропускается в расширитель 70 . Трубопровод 23 имеет расширительное устройство , выполненное в виде отсечного золотника 71 , для того , чтобы обеспечить снижение давления , так что полученный сжиженный поток вводится через впускное устройство 72 в расширитель 70 под пониженным давлением . Пониженное давление , по существу , равно атмосферному давлению . Отсечной золотник 71 также регулирует общий поток .

Из верхней части расширителя 70 через трубопровод 75 удаляется отходящий газ . Отходящий газ сжимается в компрессоре конечного расширения 77 , приводимом в действие двигателем 78 , с получением газообразного топлива высокого давления , которое удаляется через трубопровод 79 . Отходящий газ охлаждает , сжижает и переохлаждает легкую фракцию охладителя в теплообменнике 63 .

Из донной части расширителя 70 через трубопровод 80 удаляется сжиженный продукт и пропускается в хранилище (не показано).

Первой задачей является максимизация выработки сжиженного продукта , текущего через трубопровод 80 , которым управляет клапан 71 .

Для решения этой задачи применяется описанная выше модель прогнозируемого регулирования . Набор воздействуемых параметров включает массовый расход тяжелой фракции охладителя , текущей через трубопровод 52 (отсечной золотник 51) , массовый расход легкой фракции охладителя , текущей через трубопровод 59 (отсечной золотник 58 и клапан 62) , и массовый расход богатого метаном сырья через трубопровод 20 (который управляется клапаном 71) . Набор регулируемых переменных включает разность температур у теплого конца 3 основного теплообменника 1 (которая представляет собой разность между температурой жидкости в трубопроводе 47 и температурой в трубопроводе 25) , разность температур в средней точке 7 основного теплообменника 1 (которая является разностью между температурой жидкости в трубопроводе 50 и температурой жидкости в корпусе у средней точки 7 основного теплообменника 1). Путем выбора этих переменных обеспечивается регулирование основного теплообменника 1 посредством продвинутого технологического регулирования , основанного на модели прогнозируемого регулирования .

Заявителем установлено , что при применении модели прогнозируемого регулирования и использовании в качестве воздействуемых переменных массового расхода тяжелой фракции охладителя , массового расхода легкой фракции охладителя и массового расхода богатого метаном сырья может быть обеспечено эффективное и быстрое регулирование , позволяющее оптимизировать выработку сжиженного продукта и регулировать температурный профиль в основном теплообменнике .

Преимуществом способа настоящего изобретения является то , что для оптимизации выработки сжиженного продукта не регулируют массовый состав смешанного охладителя .

Для полноты следует заметить , что трубопровод 80 снабжен клапаном регулирования расхода 81 , которым управляет регулятор уровня 82 , для гарантирования того , что в процессе нормальной работы в расширителе 70 поддерживается достаточный уровень жидкости . Однако присутствие этого клапана регулирования расхода 81 не относится к оптимизации согласно настоящему изобретению , поскольку клапан 81 не действует , когда поток поступающей в расширитель 70 жидкости согласован с потоком вытекающей из расширителя 70 жидкости .

В случае , когда выработка сжиженного продукта должна поддерживаться на заданном уровне , модель прогнозированного регулирования позволяет регулировать температурный профиль в основном теплообменнике 1 . Для этой цели набор регулируемых переменных дополнительно включает температуру сжиженного потока , удаляемого из основного теплообменника 1 и текущего через трубопровод 23 .

Еще одной задачей настоящего изобретения является максимизация использования компрессоров . Для этой цели набор воздействуемых переменных дополнительно включает скорость компрессоров для охладителя 30 и 31 .

Газообразное богатое метаном сырье , которое подается в основной теплообменник 1 через трубопровод 20 , получают из сырьевого природного газа путем частичной конденсации сырьевого природного газа с получением частично сконденсированного сырья , газообразная фаза которого подается в основной теплообменник 1 . Сырьевой природный газ пропускается через подающий трубопровод 90 . Частичную конденсацию сырьевого природного газа осуществляют , по крайней мере , в одном теплообменнике 93 .

Частично сконденсированное сырье вводится посредством впускного устройства 94 в газоочистную колонну 95 . В газоочистной колонне 95 частично сконденсированное сырье фракционируется с получением пото-

ка газообразного верхнего погона и жидкого , обедненного метаном остаточного(донного) потока . Поток газообразного верхнего погона пропускается через трубопровод 97 и теплообменник 100 в сепаратор верхнего погона 102 . В теплообменнике 100 газообразный верхний погон частично конденсируется , и поток частично сконденсированного верхнего потока вводится в сепаратор верхнего погона 102 с помощью впускного устройства 103 . В сепараторе верхнего погона 102 поток частично сконденсированного верхнего погона разделяется на газообразный обогащенный метаном поток и жидкий остаточный поток .

Газообразный обогащенный метаном поток , удаляемый через трубопровод 104 , образует газообразное богатое метаном сырье в трубопроводе 20 . По крайней мере , часть жидкого остаточного потока вводится через трубопровод 105 и сопло 106 в газоочистную колонну 95 в качестве флегмы для орошения . Трубопровод 105 снабжен клапаном регулирования расхода 108 , который управляется регулятором уровня 109 для поддержания фиксированного уровня в сепараторе верхнего погона 102 .

Если требуется меньше флегмы для орошения , чем имеющееся в потоке частично сконденсированного верхнего погона количество жидкости, излишек может быть пропущен в основной теплообменник 1 по трубопроводу 111 , имеющему клапан регулирования расхода 112 . В этом случае набор воздействуемых параметров включает массовый расход избыточного жидкого остаточного потока , текущего через трубопровод 111 .

В случае , когда в наличии имеется слишком мало флегмы для орошения , по трубопроводу 113 , имеющему клапан регулирования расхода 114 , от источника (не показан) может быть добавлен бутан . В этом случае набор воздействуемых параметров дополнительно включает массовый расход бутан-содержащего потока , текущего по трубопроводу 113 .

Жидкий обедненный метаном остаточный поток удаляется из газоочистной колонны 95 через трубопровод 115 . Для получения пара для от-

паривания жидкий обедненный метаном остаточный поток частично выпаривают в теплообменнике 118 путем косвенного теплообмена с подходящей горячей средой , такой как , горячая вода или пар , подаваемой через трубопровод 119 . Пар вводится в нижнюю часть газоочистной колонны 95 через трубопровод 120, и жидкость удаляется из теплообменника 118 по трубопроводу 122 , имеющему клапан регулирования расхода 123 , который управляется регулятором уровня 124 для поддержания фиксированного уровня в корпусе теплообменника 118 .

Для объединения в одно целое регулирования газоочистной колонны 95 с регулированием основного теплообменника 1 набор воздействуемых параметров дополнительно включает температуру жидкого обедненного метаном остаточного потока в трубопроводе 122 . Кроме того , набор регулируемых переменных дополнительно включает концентрацию более тяжелых углеводородов в газообразном обогащенном метаном потоке (в трубопроводе 104) , концентрацию метана в жидком обедненном метаном остаточном потоке в трубопроводе 122 , массовый расход жидкого обедненного метаном потока в трубопроводе 122 и массовый расход флегмы , представляющий собой массовый расход флегмы , текущей через трубопровод 105 . Набор оптимизируемых параметров дополнительно включает теплотворную способность сжиженного продукта . Теплотворная способность расчитывается из анализа состава сжиженного продукта , текущего через трубопровод 80 . Анализ может быть проведен с помощью газовой хроматографии .

На температуру жидкого обедненного метаном остаточного потока в трубопроводе 122 воздействуют путем регулирования тепловой нагрузки на теплообменнике 118 .

В нескольких примерах теплобменники используются для отбора тепла от жидкости , например , для частичной конденсации жидкости .В теплообменнике 41 тепло отбирается от частично сжатого охладителя , в теп-

лообменнике 43 охладитель высокого давления частично конденсируется , в теплообменнике 93 сырьевой природный газ частично конденсируется , и в теплообменнике 100 газовый поток верхнего погона частично конденсируется . В этих теплообменниках тепло отбирается путем косвенного теплообмена с испаряющимся при соответствующем давлении пропаном .

На Фиг.2 схематично показан пример пропанового цикла . Испарившийся пропан сжимают в пропановом компрессоре 127 , приводимом в действие подходящим двигателем , например , газовой турбиной 128 . Пропан конденсируется в воздухоохладителе 130 , и сконденсированный пропан под повышенным давлении пропускается через трубопроводы 135 и 136 в теплообменники 93 и 43 , которые расположены параллельно друг другу .Перед введением в теплообменники 93 и 43 сконденсированный пропан имеет возможность расширения до высокого промежуточного давления в отсечных золотниках 137 и 138 . Газообразная фракция пропускается через трубопроводы 140 и 141 на впуск пропанового компрессора 127 . Жидкая фракция пропускается через трубопроводы 145 и 146 в теплообменник 41 . Перед введением в теплообменник 41 пропан имеет возможность расширения до низкого промежуточного давления в отсечном золотнике 148 .Газообразная фракция пропускается через трубопровод 150 на впуск пропанового компрессора 127 . Жидкая фракция пропускается через трубопровод 151 в теплообменник 100 . Перед введением в теплообменник 100 пропан имеет возможность расширения до низкого давления в отсечном золотнике 152 .Пропан под низким давлением пропускается на впуск пропанового компрессора 127 через трубопровод 153 .

Для объединения в единое целое регулирования пропанового цикла с регулированием основного теплообменника 1 набор воздействуемых параметров дополнительно включает скорость пропанового компрессора 127 , набор регулируемых переменных дополнительно включает давление всасывания первого пропанового компрессора 127 , которое представляет со-

бой давление пропана в трубопроводе 153 . Таким способом использование пропанового компрессора может быть максимально увеличено .

В случае , когда пропановый компрессор включает два последовательно соединенных компрессора , набор воздействуемых параметров дополнительно включает скорости двух пропановых компрессоров , и набор регулируемых переменных дополнительно включает давление всасывания первого пропанового компрессора .

Для дополнительной оптимизации процесса набор регулируемых переменных может дополнительно включать нагрузку на компрессор конечного расширения 77 .

Объемный состав и объем материально- производственного запаса охладителя регулируются раздельно (не показано) для компенсации потерь вследствие утечки . Это осуществляется за пределами продвинутого технологического регулирования основного теплообменника.

В Таблицах 1 и 2 , приведенных ниже , дана сводка воздействуемых параметров и регулируемых переменных , используемых в формуле изобретения .

Таблица 1

Сводка воздействуемых параметров ,
используемых в формуле изобретения

Пункт	Описание	Номер позиции
1	массовый расход тяжелой фракции охладителя	51
1	массовый расход легкой фракции охладителя	58, 62
1	массовый расход обогащенного метаном сырья	71
3	скорость компрессоров для охладителя	30 , 31
7	температура жидкого обедненного метаном остаточного потока	122
8	массовый расход бутан-содержащего потока	113
8	массовый расход избыточного жидкого остаточного потока	111
10	скорость пропанового компрессора	127

Таблица 2

Сводка регулируемых переменных ,
используемых в формуле изобретения

Пункт	Описание	номер позиции
1	разность температур у теплого конца основного теплообменника	3
1	разность температур у средней точки основного теплообменника	7
2	температура сжиженного потока , удаленного из основного теплообменника	23
7	концентрация более тяжелых углеводородов в газовом богатом метаном потоке	104
7	концентрация метана в жидком обедненном метаном остаточном потоке	122
7	массовый расход флегмы	105
10	давление всасывания первого пропанового компрессора	153
11	нагрузка компрессора конечного расширения	77

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ сжижения газообразного обогащенного метаном сырья с получением сжиженного продукта , включающий следующие операции :

(а) подачу газообразного обогащенного метаном сырья при повышенном давлении в первую трубу основного теплообменника у его теплого конца , охлаждение , сжижение и переохлаждение газообразного обогащенного метаном сырья испаряющимся охладителем с получением сжиженного потока , удаление сжиженного потока из основного теплообменника у его холодного конца и пропускание сжиженного потока в хранилище для хранения в качестве сжиженного продукта ;

(б) удаление испарившегося охладителя из корпуса основного теплообменника у его теплого конца ;

(в) сжатие испарившегося охладителя , по крайней мере, в одном компрессоре для охладителя с получением охладителя высокого давления;

(г) частичную конденсацию охладителя высокого давления и разделение частично сконденсированного охладителя на жидкую тяжелую фракцию охладителя и газообразную легкую фракцию охладителя ;

(д) переохлаждение тяжелой фракции охладителя во второй трубе с получением потока переохлажденного тяжелого охладителя , введение потока тяжелого охладителя под пониженным давлением в корпус основного теплообменника у его средней точки , и обеспечение возможности испарения потока тяжелого охладителя в корпусе ;

(е) охлаждение , сжижение и переохлаждение , по крайней мере , части легкой фракции охладителя в третьей трубе основного теплообменника с получением потока переохлажденного легкого охладителя , введение потока легкого охладителя под пониженным давлением в корпус основного теплообменника у его холодного конца и обеспечение возможности испарения потока легкого охладителя в корпусе ; и

(ж) регулирование процесса сжижения с применением технологического контроллера процесса для одновременного определения регулирующих действий в отношении набора воздействуемых параметров для оптимизации , по крайней мере , одного набора параметров при регулировании, по крайней мере , одного набора регулируемых переменных , отличающийся тем , что технологический контроллер процесса базируется на модели прогнозируемого регулирования , в которой набор воздействуемых параметров включает массовый расход тяжелой фракции охладителя , массовый расход легкой фракции охладителя и массовый расход обогащенного метаном сырья , набор регулируемых переменных включает разность температур у теплого конца основного теплообменника , которая представляет собой разность между температурой жидкости в первой трубе и температурой жидкости в корпусе у теплого конца основного теплообменника , разность температур у средней точки основного теплообменника , которая представляет собой разность между температурой жидкости в первой трубе и температурой жидкости в корпусе у средней точки основного теплообменника , и набор оптимизируемых параметров включает выработку сжиженного продукта .

2. Способ по п. 1 , в котором набор регулируемых переменных дополнительно включает температуру сжиженного потока , удаленного из основного теплообменника .

3. Способ по любому из пунктов 1 или 2 , в котором набор воздействуемых параметров дополнительно включает скорость компрессора(ов) для охладителя для максимизации использования компрессоров .

4. Способ по любому из пунктов 1 - 3 , в котором частичную конденсацию охладителя высокого давления из стадии (г) проводят , по крайней мере , в одном теплообменнике путем косвенного теплообмена с пропаном , испаряющимся при соответствующем давлении .

5. Способ по любому из пунктов 1 - 4 , в котором газообразное обогащенное метаном сырье получают из сырьевого природного газа путем частичной конденсации сырьевого природного газа с получением частично сконденсированного сырья .

6. Способ по п.5 , в котором частичную конденсацию сырьевого природного газа проводят , по крайней мере , в одном теплообменнике путем косвенного теплообмена с пропаном , испаряющимся в корпусе при соответствующем давлении.

7. Способ по п.5 , дополнительно включающий фракционирование частично сконденсированного сырья в газоочистной колонне с получением газообразного потока верхнего погона и жидкого обедненного метаном остаточного потока ; частичную конденсацию газообразного потока верхнего погона и разделение потока газообразного верхнего погона на газообразный обогащенный метаном поток , который образует газообразное обогащенное метаном сырье , и жидкий остаточный поток , по крайней мере , часть которого пропускают в газоочистительную колонну в качестве флегмы для орошения , и в котором набор регулируемых переменных дополнительно включает концентрацию более тяжелых углеводородов в газообразном обогащенном метаном потоке , концентрацию метана в жидком обедненном метаном остаточном потоке , массовый расход жидкого обедненного метаном остаточного потока и массовый расход флегмы , и набор оптимизируемых параметров дополнительно включает тепловую величину сжиженного продукта .

8. Способ по п.7 , который дополнительно включает добавление бутан-содержащего потока к флегме , и набор воздействуемых параметров дополнительно включает массовый расход избыточного жидкого остаточного потока и/или массовый расход бутан-содержащего потока .

9. Способ по любому из пунктов 7 или 8 , в котором частичную конденсацию газообразного потока верхнего погона проводят , по крайней ме-

ре , в одном теплообменнике путем косвенного теплообмена с пропаном , испаряющимся при соответствующем давлении .

10. Способ по любому из пунктов 4, 6 или 9 , в котором испарившийся пропан сжимают , по крайней мере , на одной ступени пропанового компрессора и конденсируют путем теплообмена с внешним охладителем , причем набор воздействуемых параметров дополнительно включает скорость пропанового компрессора (ов) и набор регулируемых переменных дополнительно включает давление всасывания первого пропанового компрессора .

11. Способ по любому из пунктов 1 - 10 , который дополнительно включает снижение давления сжиженного потока с получением сжиженного продукта , который пропускают в хранилище, и отходящего газа ; сжатие отходящего газа в компрессоре конечного расширения с получением газообразного топлива высокого давления , а набор регулируемых переменных дополнительно включает нагрузку на компрессор конечного расширения .

12. Способ по любому из пунктов 11 - 12 , в котором он дополнительно включает раздельное регулирование объемного состава и объема материально-производственного запаса охладителя .

Fig.1.

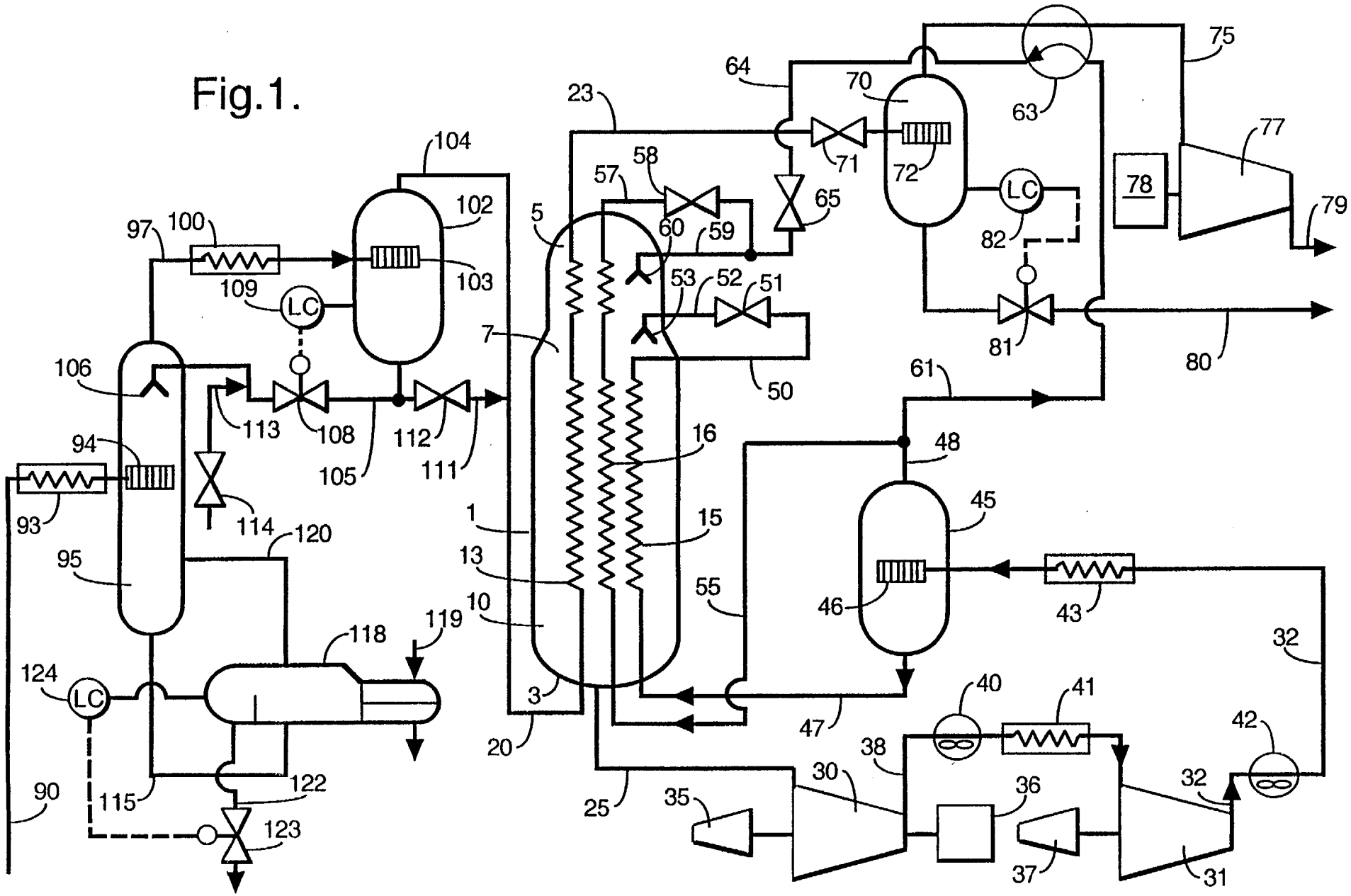
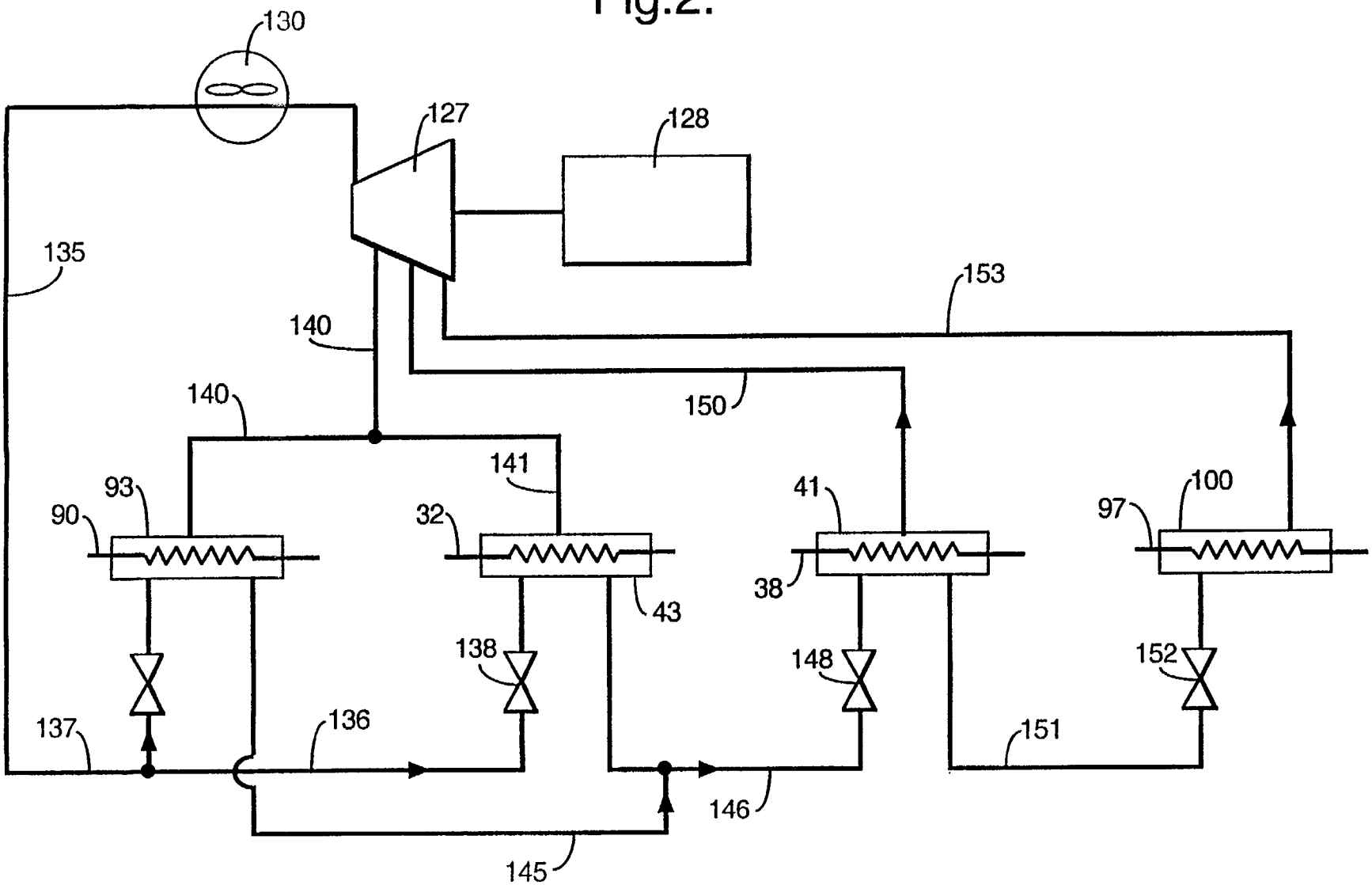

LC
LC
LC
78
1
3
5
7
10
13
15
16
20
23
25
30
31
32
35
36
37
38
40
41
42
43
45
46
47
48
50
51
52
53
55
57
58
59
60
61
63
64
65
70
71
72
75
77
79
80
81
82
90
93
94
95
97
100
102
103
104
105
106
108
109
111
112
113
114
115
118
119
120
122
123
124

Fig.2.


130
127
128
135
153
140
150
140
141
93
90
32
41
100
97
38
43
138
148
152
137
136
151
146
145