

ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ
СОБСТВЕННОСТИ

(19) ВУ (11) 10577

(13) U

(46) 2015.02.28

(51) МПК

F 24F 1/24 (2011.01)

F 04D 27/00 (2006.01)

(54)

АППАРАТ ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ

(21) Номер заявки: u 20140167

(22) 2014.04.25

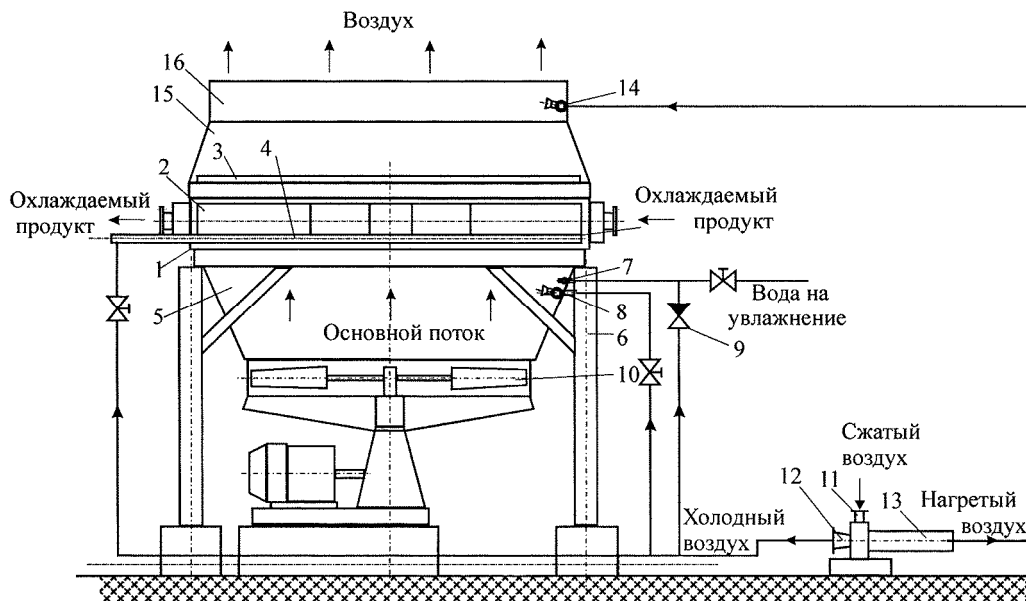
(71) Заявитель: Учреждение образования
"Белорусский государственный техно-
логический университет" (BY)

(72) Авторы: Сухоцкий Альберт Борисович
(BY); Филатов Святослав Олегович
(BY); Кунтыш Владимир Борисович
(BY); Володин Виктор Иванович (BY);
Мулин Виктор Петрович (RU)

(73) Патентообладатель: Учреждение обра-
зования "Белорусский государственный
технологический университет" (BY)

(57)

1. Аппарат воздушного охлаждения, состоящий из блока горизонтально расположенных теплообменных секций с боковыми стенками и многорядных пучков из биметаллических ребристых труб, осевого нагнетательного вентилятора с электрическим приводом, диффузора, присоединенного к блоку теплообменных секций снизу, узла увлажнения охлаждающего воздуха перед поступлением в трубные пучки теплообменных секций, жалюзийного устройства, опорной металлоконструкции, коллектора с механически присоединенными щелевыми насадками, расположенного внутри по периметру в верхней части диффузора, распределительных гребенок с расширяющимися наконечниками, равномерно расположенными посередине между первым и вторым поперечным рядом ребристых труб, вихревой трубы, напорный патрубок которой соединен с магистральным воздухопроводом, а патрубок холодного воздуха соединен с коллектором, распределительными гребенками и



BY 10577 U 2015.02.28

узлом увлажнения охлаждающего воздуха, **отличающийся** тем, что сверху над блоком теплообменных секций располагается конфузор, состыкованный с выходным цилиндром, патрубок горячего воздуха вихревой трубы присоединен к расположенному внутри по периметру цилиндра коллектору с механически присоединенными к нему щелевыми насадками.

(56)

1. Основы расчета и проектирования теплообменников воздушного охлаждения: Справочник / Под общ. ред. В.Б. Кунтыша, А.Н. Бессонного. - СПб.: Недра, 1996. - С. 28-29.

2. RU 2266488 С1, 2005.

3. Сухорукова В.Г., Шмеркович В.М. Аппараты воздушного охлаждения в химической промышленности. Обзоры по отдельным производствам химической промышленности. - М.: НИИТЭХИМ, 1976. - С. 17.

4. Шмеркович В.М. Современные конструкции аппаратов воздушного охлаждения. Обзорная информация. Серия ХМ-1. - М.: ЦИНТИхимнефтемаш, 1979. - С. 46.

5. Васильев Ю.Н., Марголин Г.А. Системы охлаждения компрессорных и нефтеперекачивающих станций. - М.: Недра, 1977. - С. 111.

6. BY 9446 u, 2013 (прототип).

7. Мартынов А.В., Бродянский В.М. Что такое вихревая труба? - М.: Энергия, 1978. - С. 6-8.

8. Кунтыш В.Б., Самылов А.И. Исследование теплоотдачи однорядных пучков из оребренных труб при совместном действии свободной и вынужденной конвекции воздуха // Изв. вузов. Энергетика. - 1999. - № 4. - С. 59-67.

Полезная модель относится к поверхностным рекуперативным теплообменникам типа аппарат воздушного охлаждения (АВО), повсеместно применяемым для охлаждения природного газа на компрессорных станциях (КС) магистральных газопроводов, в ректификационных установках разделения нефти, в крупнотоннажных производствах аммиака для минеральных удобрений, для охлаждения масла крупных силовых трансформаторов, для конденсации водяного пара в паротурбинных установках.

В общем случае конструкция любого АВО представляет собой аппарат, состоящий из двух основных частей: поверхности теплообмена (охлаждения) из биметаллических ребристых труб (БРТ), собранных в многорядный пучок с подсоединенными технологическими продуктовыми крышками и ограждающими боковыми стенками, образующих в целом теплообменную секцию, а также систему подачи охлаждающего атмосферного воздуха. Внутри БРТ однократно или по многократной схеме движется горячий технологический продукт (теплоноситель или энергоноситель). Охлаждающий воздух принудительным однократным поперечным током снаружи омывает БРТ, отводя от них тепловой поток, а затем нагретый воздух выбрасывается в окружающую среду. Наибольшее применение получили АВО горизонтального типа.

Известна конструкция АВО [1], состоящая из блока теплообменных секций, расположенных горизонтально на опорной металлоконструкции, и подсоединенного к нему снизу диффузора с узлом увлажнения воздуха, а также осевого нагнетательного вентилятора с электроприводом. Сверху теплообменных секций установлены жалюзи. Теплообменные секции имеют боковые стенки для организованного движения воздуха через межтрубное пространство пучка из БРТ.

Недостатками АВО являются большие габариты поверхности охлаждения в виде теплообменных секций, значительная металлоемкость их и аппарата в целом, высокая потребляемая мощность привода вентилятора, обусловленная большими потерями давления охлаждающего воздуха при движении его через многорядный пучок оребренных труб и

значительное количество труб в аппарате. Недостатки являются следствием низких значений коэффициента теплопередачи, что характерно для всех газожидкостных поверхностных теплообменников, типичным представителем которых является АВО. У таких теплообменников невысокая интенсивность теплопередачи априори предопределена плохими теплофизическими свойствами воздуха как охлаждающего теплоносителя, вследствие чего даже при принудительном его движении в среднем коэффициент теплоотдачи не превышает 50-60 Вт/(м² К) [1]. Коэффициент теплоотдачи внутри труб по стороне охлаждающего продукта находится в интервале 600-4000 Вт/(м² К). Известно, что коэффициент теплопередачи всегда меньше меньшего коэффициента теплоотдачи. Таким образом, АВО свойственна пониженная энергоэффективность.

Одним из направлений повышения энергоэффективности и экономичности АВО является интенсификация теплоотдачи воздуха и улучшение аэродинамики многорядного пучка из оребренных труб при прохождении охлаждающей среды. Одной из конструкций АВО, в которой реализовано это направление, является аппарат [2] для охлаждения природного газа на КС магистральных газопроводов, содержащий горизонтальные теплообменные секции с многорядными пучками из БРТ и боковыми стенками, опорную металлоконструкцию, нижнее расположение осевых вентиляторов, диффузоры, коллекторы входа воздуха и продольные боковые вытеснители с внутренней стороны стенок в нечетных поперечных рядах пучка. Экономичность аппарата обеспечивается снижением аэродинамического сопротивления вследствие разработанных конструктивных решений, обеспечивающих улучшенную аэродинамику движения воздуха через межтрубное пространство пучка, и оптимизации параметров проходного сечения коллекторов вентилятора и их обтекаемой формы. К сожалению, в работе не приведена количественная оценка и отсутствуют доказательства теплоэнергетической и экономической эффективности предложенных решений.

Представляется, что применение боковых вытеснителей, пусть даже весьма обтекаемых форм (они применяются самых разных поперечных сечений во всех промышленных АВО), а также оптимальных параметров входного коллектора воздуха в сочетании с плавными формами боковой поверхности не вызовут ощутимого снижения сопротивления аппарата по охлаждающей среде, а значит, и энергосбережения. Сопротивление аппарата в решающей мере определяется компоновочными параметрами БРТ в пучке, а также геометрией и формой ребер. Применение многовентиляторной конструкции вместо двухвентиляторной удорожает стоимость аппарата, снижает надежность, увеличивает затраты на ремонт и обслуживание. Увеличение агрегатной мощности привода вызывает снижение капитальных затрат, а здесь предлагается разукрупнение электропривода с применением 2,5-12,0 кВт номинальной мощности двигателей.

Вторым, более эффективным, направлением повышения экономичности эксплуатации АВО является выключение вентиляторов в холодное время года, т.е. применение естественной тяги воздуха через теплообменные секции вместо принудительной. Таким образом, обеспечивается съём тепла, равный 20-30 % [3] от расчетной производительности аппарата в теплое время года, а при температуре воздуха -25 °С и ниже может быть обеспечена полная расчетная теплопроизводительность аппарата без работающих вентиляторов [4]. Оснащая АВО дополнительными устройствами, усиливающими тягу воздуха, теплопроизводительность АВО может быть сохранена при более высоких температурах окружающего воздуха без потребления электроэнергии приводом вентилятора.

Наиболее близким аналогом является аппарат воздушного охлаждения [5]. Аппарат состоит из теплообменных секций прямоугольного фронтального сечения, расположенных горизонтально на опорной металлоконструкции. Трубные пучки секций многорядные и собраны из БРТ с алюминиевыми ребрами. Снизу к секциям присоединен диффузор, в коллекторе которого вращается колесо осевого вентилятора с электроприводом. Над теплообменными секциями имеется жалюзийное устройство. Стандартизированный аппарат

ВУ 10577 U 2015.02.28

дополнительно оборудован вытяжным устройством, которое представляет собой цилиндр диаметром 2,81 м и высотой 4-6 м, состыкованный с конфузуром. Конфузор смонтирован над теплообменными секциями и является также дополнительным элементом конструкции. Внутри труб движется охлаждаемая среда (в этом конкретном АВО - вода с входной температурой в среднем 55 °С). Температура атмосферного воздуха изменялась в интервале от 12,2 до -1,9 °С.

Установлено, что применение вытяжного устройства для интенсификации естественной конвекции воздуха обеспечивает расчетную теплопроизводительность аппарата при температуре атмосферного воздуха от -0,5 до -1,9 °С, а при повышении температуры до + 12,2 °С теплопроизводительность снижается от 300 кВт до 132 кВт, т.е. в 2,3 раза при отключенном вентиляторе. Совершенно очевидно, что применение интенсификации естественно-конвективного теплообмена воздуха значительно увеличивает эксплуатационную экономичность аппарата без дополнительных энергозатрат как в годовом, так и в суточном циклах работы. Рекомендуется принимать рациональную высоту вытяжного устройства равным 6 м.

Основным недостатком аналога является то, что для обеспечения достаточных для эффективной работы аппарата воздушного охлаждения режимов естественной конвекции охлаждающего воздуха высота вытяжного устройства должна быть значительна (около 6 м), что затрудняет его использование при ограниченных планировочных объемах монтажа АВО, возрастает металлоемкость аппарата и возникают дополнительные нагрузки на металлоконструкцию от давления ветрового потока. Полностью исключается возможность очистки наружной поверхности оребренных труб от загрязнений ввиду отсутствия свободного доступа к теплообменным секциям. Возрастает аэродинамическое сопротивление аппарата в случае принудительного движения воздуха.

Наиболее близким по технической сущности и достигаемым результатам является аппарат воздушного охлаждения [6], выбранный нами за прототип. Этот АВО оснащен узлом увлажнения воздуха, который включается в жаркие дни для понижения температуры воздуха перед входом в теплообменные секции, когда она превышает расчетную, заложенную в тепловом расчете. В прототипе этот узел увлажнения используется при пониженных температурах охлаждающего воздуха в режиме отключенного вентилятора для дополнительного ввода сжатого воздуха от магистрали через имеющиеся водяные форсунки, массовый расход которого через этот узел составляет 10-15 % от расхода воздуха через коллектор. Также аппарат содержит распределительные гребенки с расширяющимися наконечниками, равномерно расположенными посередине между первым и вторым поперечным рядом ребристых труб, что способствует турбулизации движения воздуха, обеспечивая смешанный режим конвекции вместо свободноконвективного. Коэффициент теплоотдачи воздуха в результате возрастает до 11 раз. Итоговым действием является увеличение отводимого теплового потока аппарата.

Величина потребления электроэнергии на сжатие и ввод воздуха через коллектор, распределительные гребенки и узел увлажнения при переводе аппарата в режим смешанной конвекции, но при полностью отключенном осевом вентиляторе составляет не более 5 % от затрат энергии на привод вентилятора. При этом ощутимо возрастает экономия в потреблении электроэнергии от увеличения продолжительности эксплуатации аппарата с отключенным вентилятором из-за расширения рабочей области отрицательных температур охлаждающего воздуха.

Недостатками прототипа являются неэффективное использование потенциальной энергии избыточного давления сжатого воздуха, подаваемого из магистрального трубопровода, при смешении его через сопла с атмосферным охлаждающим воздухом; также температура сжатого воздуха в магистральном трубопроводе несколько превышает температуру атмосферного воздуха вследствие нагрева его от сжатия компрессором, поэтому при смешении его в соплах с атмосферным повышает среднюю температуру воздуха на

входе в теплообменную секцию и тем самым снижает среднюю разность температур АВО и ухудшает эффект увеличения отводимого теплового потока аппарата от интенсификации теплоотдачи.

Вместе с этим известно устройство под названием вихревая труба [7], имеющая напорный патрубок, в который направляют сжатый воздух, а также патрубки холодного и нагретого воздуха, т.е. вихревая труба разделяет сжатый поток воздуха на более холодный и нагретый, температура которого выше температуры сжатого воздуха, подаваемого в напорный патрубок из магистрального трубопровода. Температура охлаждения потока воздуха может составлять 60-80 °С.

Задача полезной модели - расширение температурного диапазона, обеспечивающего повышение эксплуатационной экономичности аппарата воздушного охлаждения при неизменных габаритах; снижение металлоемкости аппарата.

Поставленная задача достигается в аппарате воздушного охлаждения, состоящем из блока горизонтально расположенных теплообменных секций с боковыми стенками и многорядных пучков из биметаллических ребристых труб, осевого нагнетательного вентилятора с электрическим приводом, диффузора, присоединенного к блоку теплообменных секций снизу, узла увлажнения охлаждающего воздуха перед поступлением в трубные пучки теплообменных секций, жалюзийного устройства, опорной металлоконструкции, коллектора с механически присоединенными щелевыми насадками, расположенного внутри по периметру в верхней части диффузора, распределительных гребенок с расширяющимися наконечниками, равномерно расположенными посередине между первым и вторым поперечным рядом ребристых труб, вихревой трубы, напорный патрубок которой соединен с магистральным воздухопроводом, а патрубок холодного воздуха соединен с коллектором, распределительными гребенками и узлом увлажнения охлаждающего воздуха, отличающемся тем, что сверху над блоком теплообменных секций располагается конфузор, состыкованный с цилиндром, патрубок горячего воздуха вихревой трубы присоединен к расположенному внутри по периметру цилиндра коллектору с механически присоединенными к нему щелевыми насадками.

Принципиальным отличительным конструктивным признаком заявляемого АВО является подача горячего воздуха от вихревой трубы в коллектор с механически присоединенными щелевыми насадками, расположенными внутри по периметру цилиндра над блоком теплообменных секций. Таким образом, достигается усиление естественной конвекции охлаждающего воздуха и увеличение его расхода через теплообменные секции.

Нагретый (горячий) воздух из вихревой трубы посредством коллектора с механически присоединенными щелевыми насадками смешивается с основным потоком атмосферного воздуха, выходящего из теплообменных секций за счет самотяги. При этом температура смеси за счет высокой температуры горячего воздуха повышается, плотность и вес смеси уменьшаются. Благодаря этому увеличивается самотяга атмосферного воздуха, увеличивается расход воздуха через теплообменные секции, а следовательно, интенсифицируется коэффициент теплоотдачи из-за возросшей скорости естественного движения воздуха, что позволяет при более высокой температуре атмосферного воздуха обеспечивать необходимый съем тепла с охлаждаемого технологического продукта; расширяется температурный диапазон атмосферного воздуха, обеспечивающий работу аппарата воздушного охлаждения в условиях естественной конвекции воздуха при неизменных габаритах.

Таким образом, в заявленном аппарате воздушного охлаждения полностью решена сформулированная задача.

Полезная модель поясняется фигурой. На фигуре изображен общий вид аппарата воздушного охлаждения (вид сбоку).

АВО состоит из блока горизонтальных теплообменных секций 1, количество которых в нем равно трем; боковых стенок 2; жалюзийного устройства 3; распределительной гребенки 4; диффузора 5; опорной металлоконструкции 6; узла увлажнения 7 с форсунками;

коллектора 8 с щелевыми насадками; обратного клапана 9; осевого нагнетательного вентилятора 10 с электроприводом; напорного патрубка 11, патрубка холодного воздуха 12 и патрубка горячего воздуха 13 вихревой трубы, коллектора горячего воздуха 14 с щелевыми насадками, конфузора 15, цилиндра 16.

АВО работает следующим образом. Внутри биметаллических ребристых труб многорядных пучков теплообменных секций 1 направляется охлаждаемый продукт (горячий теплоноситель), который конденсируется или охлаждается, передавая тепло через стенки труб и ребер, выполненных из теплопроводного металла. В результате продукт охлаждается и покидает теплообменные секции. Подведенное от охлаждаемого продукта к поверхности ребристых труб тепло отводится вынужденной (принудительной) конвекцией охлаждающего воздуха, подаваемого вращающимся колесом 10 вентилятора с приводом от электродвигателя к теплообменным секциям с помощью диффузора 5. Принудительный поток воздуха омывает снаружи ребристые трубы, нагревается и выбрасывается из теплообменных секций в атмосферу. Каждая теплообменная секция АВО состоит из 4-8 поперечных рядов ребристых труб. Боковые стенки в теплообменной секции служат для обеспечения организованного движения воздуха через межтрубное пространство и предотвращают обходные течения. Чтобы не создавать дополнительного аэродинамического сопротивления принудительному потоку воздуха, жалюзийное устройство 3 открыто. В период вынужденного движения охлаждающего воздуха холодный воздух из патрубка 12 вихревой трубы не подается в узел увлажнения 7 и коллектор 8.

В описанном режиме эксплуатации тепловой поток (теплопроизводительность) АВО соответствует некоторому значению Q , Вт, для расчетной положительной температуры t_p воздуха. С понижением температуры воздуха $t_b < t_p$ тепловой поток АВО увеличивается, что не требуется технологическим регламентом или недопустимо по причине переохлаждения продукта. Такой режим эксплуатации в конечном итоге вызывает увеличение потребляемой электроэнергии на привод вентилятора. Для поддержания $Q = \text{const}$ отключается электропривод вентилятора, жалюзийное устройство открывается полностью и АВО переводится в энергосберегающий режим эксплуатации, при котором тепловой поток Q полностью отводится естественной конвекцией воздуха через аппарат. Движение воздуха обусловлено разностью его плотности на выходе из теплообменных секций и плотностью окружающего воздуха (на входе в теплообменные секции).

Тепловой поток аппарата в режиме естественной конвекции воздуха, Вт:

$$Q = \alpha F(t_{ct} - t_0), \quad (1)$$

где $\alpha \approx 0,8-1,8$ Вт/(м² К) - общий коэффициент теплоотдачи конвекцией и излучением; F - площадь поверхности ребрения аппарата, м²; t_{ct} - температура поверхности ребристых труб у основания ребра, °С; t_0 - температура охлаждающего воздуха, подаваемого в теплообменные секции, °С.

Обеспечить необходимую тепловую мощность аппарата в режиме естественной конвекции воздуха можно за счет увеличения коэффициента теплоотдачи α или снижения температуры охлаждающего воздуха t_0 . Значение α зависит от конструкции АВО, его трубного пучка и параметров ребристой трубы. Расчеты показывают, что для стандартизированных АВО значение $t_0 = -30-40$ °С, при котором поддерживается $Q = \text{const}$ в этом режиме эксплуатации. Продолжительность периодов таких низких температур воздуха небольшая даже для районов Крайнего Севера, Приполярья, Европейского Севера, где эксплуатируются тысячи АВО на компрессорных станциях газопроводов.

В режиме естественной конвекции воздуха аппарат эксплуатируется следующим образом. В напорный патрубок 11 вихревой трубы подается воздух, например, из магистрали сжатого воздуха, который охлаждается в вихревой трубе, и из патрубка холодного воздуха 12 поступает к штуцеру коллектора 8, и далее из него к щелевым насадкам и из них в виде плоских струй направляется к центру диффузора в направлении вверх к теплообменным секциям. Одновременно перекрывается подача воды к узлу увлажнения 7, под действием

BY 10577 U 2015.02.28

давления сжатого воздуха открывается обратный клапан 9, воздух направляется к штуцеру и далее в трубу, с которой соединены механические форсунки, а из них в пространство диффузора. Режим естественно-конвективного теплообмена переведен в смешанный режим отвода теплоты, что сопровождается увеличением интенсивности теплоотдачи α в 5,5-11,0 раз [8] для этих значений Re . При отсутствии в аппарате узла увлажнения весь расход воздуха вводится через коллектор. Вводимый холодный воздух смешивается с основным потоком воздуха, вызванного естественной конвекцией, усиливает тягу и интенсифицирует теплообмен смешанной конвекцией. Одновременно подается из патрубка 12 вихревой трубы холодный воздух к распределительным гребенкам 4 и из них направляется в межтрубное пространство теплообменных секций между 1-м и 2-м поперечным рядом ребристых труб. Струи воздуха турбулизируют течение основного потока воздуха, поступающего из диффузора, увеличивая теплоотдачу на 15-20 %.

В предлагаемой полезной модели увеличивают коэффициент теплоотдачи α за счет увеличения расхода воздуха через теплообменные секции. Аппарат эксплуатируется следующим образом. Нагретый в вихревой трубе воздух из патрубка 13 поступает к штуцеру коллектора горячего воздуха 14 и далее из него к щелевым насадкам и из них в виде плоских струй направляется к центру цилиндра 16 и вверх, смешиваясь с нагретым воздухом из теплообменных секций. При подаче в вихревую трубу воздуха с давлением 0,7 МПа и расходом 1,4 м³/мин можно получить около 1,0 м³/мин воздуха с температурой выше температуры окружающей среды на 40 °С. Это приведет к увеличению средней температуры смеси воздуха в цилиндре на 2-3 °С, снижению ее плотности и увеличению расхода охлаждающего воздуха через теплообменные секции за счет самотяги.

Итоговым действием применения в АВО режима смешанной конвекции воздуха для обеспечения $Q = \text{const}$ является возможность его эксплуатации в безветренном режиме с существенно более высоким значением предельной отрицательной температуры воздуха t_0 . По нашим расчетам она составляет величину $t_0 = -(15-8) \text{ }^\circ\text{C}$.

Таким образом, годовое снижение энергопотребления аппаратом составит не менее 1,3-1,5 раза, ощутимо возрастает эксплуатационная экономичность предлагаемого АВО.

Полезная модель может быть использована заводами по изготовлению АВО, а также проектно-конструкторскими институтами нефтехимического и газового машиностроения; нефтеперерабатывающими, химическими предприятиями и компрессорными станциями магистральных газопроводов.