

Научная статья
УДК 622.279.8
<https://doi.org/10.24143/1812-9498-2023-1-51-58>
EDN RGLUWE

Повышение энергоэффективности аппарата воздушного охлаждения при утилизации попутного нефтяного газа на нефтяных месторождениях

Татьяна Сергеевна Силкина, Наталья Федоровна Лямина✉

*Астраханский государственный технический университет,
Астрахань, Россия, nataliagty@mail.ru*✉

Аннотация. Попутный нефтяной газ (ПНГ) – один из важных сырьевых ресурсов промышленной нефтехимии. Сжигание ПНГ сопровождается выбросом в атмосферу больших объемов вредных веществ, что приводит к ухудшению состояния окружающей среды, уничтожению невозобновляемых природных ресурсов, способствует развитию негативных общепланетарных процессов, которые крайне отрицательно влияют на климат. Одной из первоочередных задач решения проблемы утилизации ПНГ является его охлаждение, приводящее к понижению вязкости газа, уменьшению износа оборудования, понижению гидравлических потерь, повышению скорости и производительности трубопровода. Аппараты воздушного охлаждения (АВО) – это теплообменные аппараты, задачей которых является конденсация жидких, газообразных сред, а также охлаждение газа. Преимуществами использования АВО являются экономия охлаждающей воды и уменьшение количества сточных вод, а также сокращение затрат труда на чистку аппарата. Рассмотрены виды АВО, их особенности. С целью оптимизации и повышения энергоэффективности АВО попутного газа была предложена установка для очистки оребренной поверхности теплообменных труб АВО с применением гидравлических форсунок с полным конусом распыления и методом орошения АВО для повышения КПД. Предложенная разработка позволит безопасно передвигать газ по магистральным трубопроводам, поддерживать правильное давление внутри пласта во время закачки под землю, а также приведет к наименьшему износу оборудования.

Ключевые слова: аппарат воздушного охлаждения, энергоэффективность, газ, очистка, конденсация, форсунки, теплообменная секция, оребренные трубы

Для цитирования: Силкина Т. С., Лямина Н. Ф. Повышение энергоэффективности аппарата воздушного охлаждения при утилизации попутного нефтяного газа на нефтяных месторождениях // Нефтегазовые технологии и экологическая безопасность. 2023. № 1. С. 51–58. <https://doi.org/10.24143/1812-9498-2023-1-51-58>. EDN RGLUWE.

Original article

Increasing energy efficiency of air cooler in associated petroleum gas disposal in oilfields

Tatyana S. Silkina, Natalya F. Lyamina✉

*Astrakhan State Technical University,
Astrakhan, Russia, nataliagty@mail.ru*✉

Abstract. Associated petroleum gas (APG) is one of the most important raw materials for industrial petrochemistry. APG burning is accompanied by the release of large volumes of harmful substances into the atmosphere, which leads to the environmental degradation, destruction of non-renewable natural resources, and contributes to the development of negative planetary processes that have an extremely negative impact on the global climate. One of the priority tasks in solving the problem of APG utilization is its cooling, which leads to decreasing gas viscosity, reducing wear of equipment, less hydraulic losses, and the greater operation speed and productivity of the pipeline. Air coolers of gas (ACG) are heat exchangers, whose purpose is condensation of liquid and gaseous media, as well as gas cooling. The advantages of using ACG are saving the cooling water and reducing the waste water, as well as decreasing the labor costs for cleaning ACG. There have been considered the types of ACG and their features. In order to optimize and improve the energy efficiency of the associated gas air cooler, a unit was proposed for cleaning the finned surface of the air cooler heat exchange tubes by using hydraulic nozzles with a full spray cone and by spraying the ACG to increase

efficiency. The proposed method will make it possible to safely transfer the gas through main pipelines, maintain the correct pressure inside the reservoir during underground injection, and also lead to the least equipment wear.

Keywords: air cooler of gas, energy efficiency, gas, purification, condensation, nozzles, heat exchange section, finned tubes

For citation: Silkina T. S., Lyamina N. F. Increasing energy efficiency of air cooler in associated petroleum gas disposal in oilfields. *Oil and Gas Technologies and Environmental safety*. 2023;1:51-58. (In Russ.). <https://doi.org/10.24143/1812-9498-2023-1-51-58>. EDN RGLUWE.

Введение

Попутный нефтяной газ (ПНГ) – один из важных сырьевых ресурсов промышленной нефтехимии. Он состоит из смеси различных газов, таких как пропан, бутан, а также из углеводородистых и неуглеводородных элементов. Попутный нефтяной газ выделяется при разложении нефти (происходит процесс вскрытия пластов нефти). При использовании различных специальных современных технологий ПНГ может быть трансформирован в топливный газ, кроме того, ПНГ можно превратить в сжиженный газ.

Одной из наиболее острых проблем в нефтегазовом секторе сегодня является сжигание ПНГ. В настоящее время сжигается около 100–150 млрд м³ попутного газа, что оказывает отрицательное воздействие на окружающую среду, и Россия находится на первом месте в мире по объемам сжигаемого на факелах ПНГ. Эта проблема не только приводит к экономическим, экологическим, социальным потерям и репутационным рискам для государства, но становится еще более актуальной при нарастании мировой тенденции по переводу экономики на низкоуглеродный и энергоэффективный путь развития.

Сжигание ПНГ сопровождается выбросом в атмосферу больших объемов вредных веществ, что приводит к ухудшению состояния окружающей среды, уничтожению невозобновляемых природных ресурсов, развитию негативных общепланетарных процессов, которые крайне отрицательно влияют на климат.

Одной из первоочередных задач решения проблемы утилизации ПНГ является его охлаждение,

поскольку это приведет к понижению вязкости газа, а это, в свою очередь, уменьшит износ оборудования, понизит гидравлические потери, повысит скорость и большую производительность трубопровода [1].

Аппараты воздушного охлаждения как инструмент решения проблемы утилизации ПНГ

Среди основных систем охлаждения ПНГ широкое распространение на компрессорных станциях получили схемы с использованием аппаратов воздушного охлаждения (АВО) [2]. Аппараты общего назначения относят к теплообменному оборудованию, они предназначены для охлаждения газов и жидкостей, конденсирования паровых и парожидкостных средств в технологических процессах химической, нефтеперерабатывающей, нефтяной и газовой промышленности. Аппараты воздушного охлаждения относятся к теплообменным поверхностным аппаратам. Охлаждаемый технологический продукт движется внутри биметаллических оребренных труб, передавая через их стенки теплоту охлаждающему агенту. В качестве охлаждающего агента используется атмосферный воздух.

Все аппараты воздушного охлаждения состоят из таких компонентов, как секционные теплообменники, узел регулировки расходов воздуха, опорные и ограждающие приспособления [3]. Устройства по конструктивным особенностям делятся на 2 типа: с горизонтально и с вертикально расположенными секциями (рис. 1, 2).

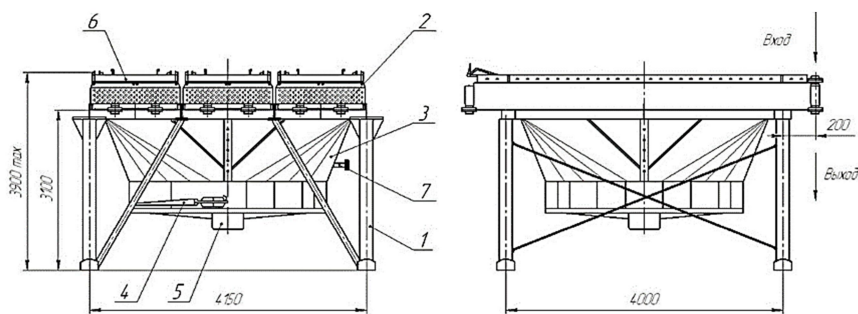


Рис. 1. Аппарат воздушного охлаждения горизонтального типа:

1 – металлоконструкция; 2 – секция; 3 – диффузор;
4 – вентилятор; 5 – электродвигатель; 6 – жалюзи; 7 – увлажнитель воздуха

Fig. 1. ACG of a horizontal type:

1 – metal structure; 2 – section; 3 – diffuser; 4 – fan; 5 – electric motor; 6 – shutters; 7 – air damper

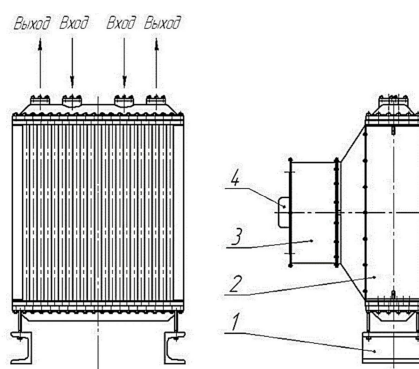


Рис. 2. Аппарат воздушного охлаждения вертикального типа:
 1 – металлоконструкция; 2 – секция; 3 – вентилятор; 4 – электродвигатель

Fig. 2. ACG of a vertical type:

1 – metal structure; 2 – section; 3 – fan; 4 – electric motor

Аппараты воздушного охлаждения изготавливаются с теплообменными секциями рабочим давлением от 0,6 до 10 МПа. Глубина охлаждения технологического газа ограничена температурой наружного воздуха, что сказывается в летний период эксплуатации. Безусловно, температура газа после охлаждения в АВО не может быть ниже температуры наружного воздуха.

В настоящее время на нефтяных производствах применяются АВО нескольких типов, все они отличаются по конструкции. Проведем анализ видов АВО.

Аппарат воздушного охлаждения горизонтальный типа АВГ может предназначаться для охлаждения или для конденсации жидкостей, пара или газа в разных отраслях промышленности. По принципиальному назначению теплообменной секции АВГ делятся на охладители жидкостей, охладители парообразных смесей, конденсаторы и охладители газа. Структурно оборудование представляет из себя теплообменную секцию, в раме, зашитую с двух сторон

трубными решетками, с проставками трубных досок между ними в случае большой длины (более 2 м). Теплообменник выполнен из оребренных медных труб (или труб из нержавеющей стали). Конструкция закрыта металлическим корпусом с опорами монтажа (ножками). Вентиляторы направляют поток воздуха к теплообменной секции, ускоряя процесс теплообмена между рабочими средами за счет эффекта вынужденной конвекции.

Аппарат воздушного охлаждения зигзагообразный типа АВЗ предназначен для конденсации и охлаждения парообразных, газообразных и жидких сред. В зависимости от применяемых материалов типа АВЗ могут быть использованы при температуре среды до +300 °С и давлении до 6,3 МПа. Аппарат воздушного охлаждения зигзагообразный предназначен для работы в макроклиматических районах со средней температурой воздуха самой холодной пятидневки не ниже –40 °С (исполнение У) и со средней температурой воздуха самой холодной пятидневки не ниже –50 °С (рис. 3).

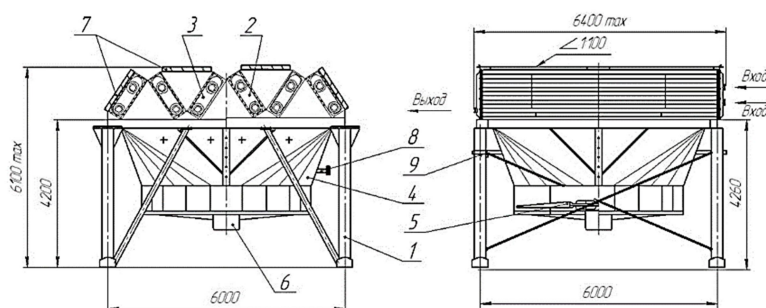


Рис. 3. Аппарат воздушного охлаждения зигзагообразного типа:
 1 – металлоконструкция; 2 – секция левая; 3 – секция правая; 4 – диффузор;
 5 – вентилятор; 6 – электродвигатель; 7 – жалюзи; 8 – увлажнитель воздуха; 9 – подогреватель воздуха

Fig. 3. ACG of a zigzag type:

1 – metal structure; 2 – left section; 3 – right section; 4 – diffuser;
 5 – fan; 6 – electric motor; 7 – shutters; 8 – air damper; 9 – air heater

Силкина Т. С., Лямина Н. Ф. Повышение энергоэффективности аппарата воздушного охлаждения при утилизации попутного нефтяного газа на нефтяных месторождениях

Аппарат воздушного охлаждения малопоточный типа АВМ изготавливается в двух исполнениях – горизонтальном и вертикальном. Аппарат состоит из одной трубной секции, собранной из биметаллических оребренных труб, расположенной горизонтально для аппарата горизонтального типа АВМ-Г и вертикально – для аппарата вертикального типа АВМ-В. Секции обдуваются потоком воздуха, который нагнетается вентилятором.

Именно выбор хладагента должен обеспечить долгосрочную и надежную перспективу окупаемости вложений в оборудование, с последующим получением прибыли. Для анализа улучшенной конструкции АВО мы выбираем аммиак.

Модернизированная конструкция АВО

Для осуществления модернизации необходимо произвести одну врезку в трубопровод воды от теплообменника в системе выхлопных газов газокomppressorного агрегата к потребителю и построить трубопровод к каждой очистительной секции с соответствующей запорно-регулирующей арматурой, с помощью этого мы сможем осуществлять подачу горячей воды или пара на установку для очистки оребренных труб теплообменных секций АВО при минимальных затратах, без изменения технологического процесса и без установки дополнительного оборудования (рис. 4), схема включения аппарата в работу представлена на рис. 5.

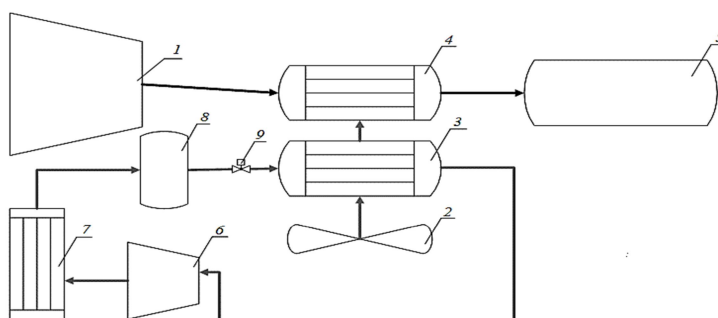


Рис. 4. Модернизированная конструкция АВО:
 1 – компрессор; 2 – вентилятор; 3, 4 – теплообменные секции;
 5 – сепаратор; 6 – компрессор; 7 – конденсатор; 8 – ресивер; 9 – вентиль

Fig. 4. Upgraded ACG design:
 1 – compressor; 2 – fan; 3, 4 – heat exchange sections;
 5 – separator; 6 – compressor; 7 – capacitor; 8 – receiver; 9 – valve

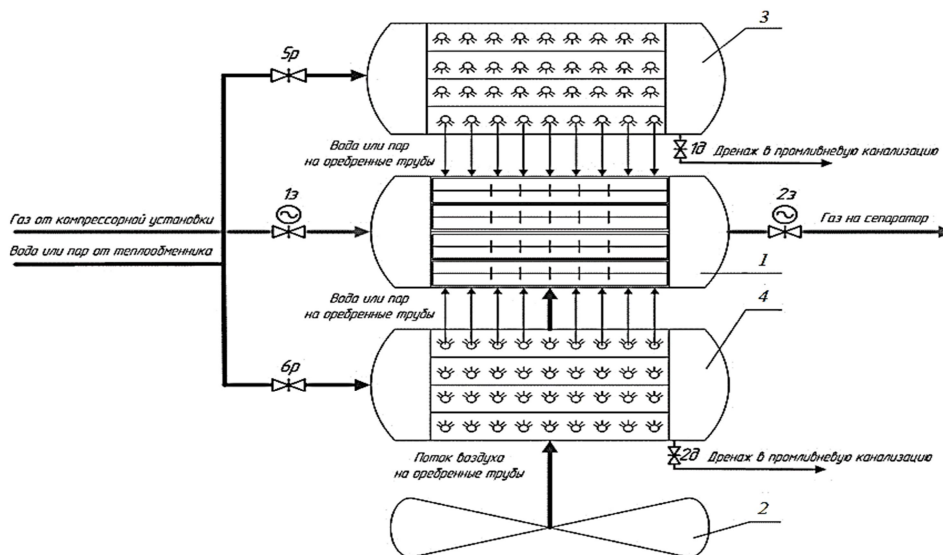


Рис. 5. Схема включения аппарата в работу:
 1 – теплообменная секция; 2 – рабочее колесо; 3 – нижняя очистительная секция; 4 – боковая очистительная секция

Fig. 5. Layout of putting ACG into operation:
 1 – heat exchange section; 2 – impeller; 3 – lower cleaning section; 4 – side cleaning section

Материалы, методы, результаты исследования

Для предотвращения замерзания жидкости в зимний период необходимо предусмотреть дренажную систему, которая может быть выполнена двумя способами.

Первый способ заключается в установке спускника в нижней точке каждой очистительной секции, через который с помощью шланга будет осуществляться дренаж жидкости в промливневую канализацию.

Во втором способе будет создана закрытая дренажная система в специальную емкость, что явля-

ется наилучшим вариантом. Для этого необходимо сделать трубопровод, который будет соединен врезкой с дренажным трубопроводом теплообменника в системе выхлопных газов газокomppressorного агрегата и начинается с нижней точки каждой очистительной секции, где будет установлен обратный клапан и шаровый кран. Этот трубопровод необходимо полностью утеплить и подключить к нему греющий кабель на горизонтальных участках с целью предотвращения замерзания остатков жидкости и конденсата (рис. 6).

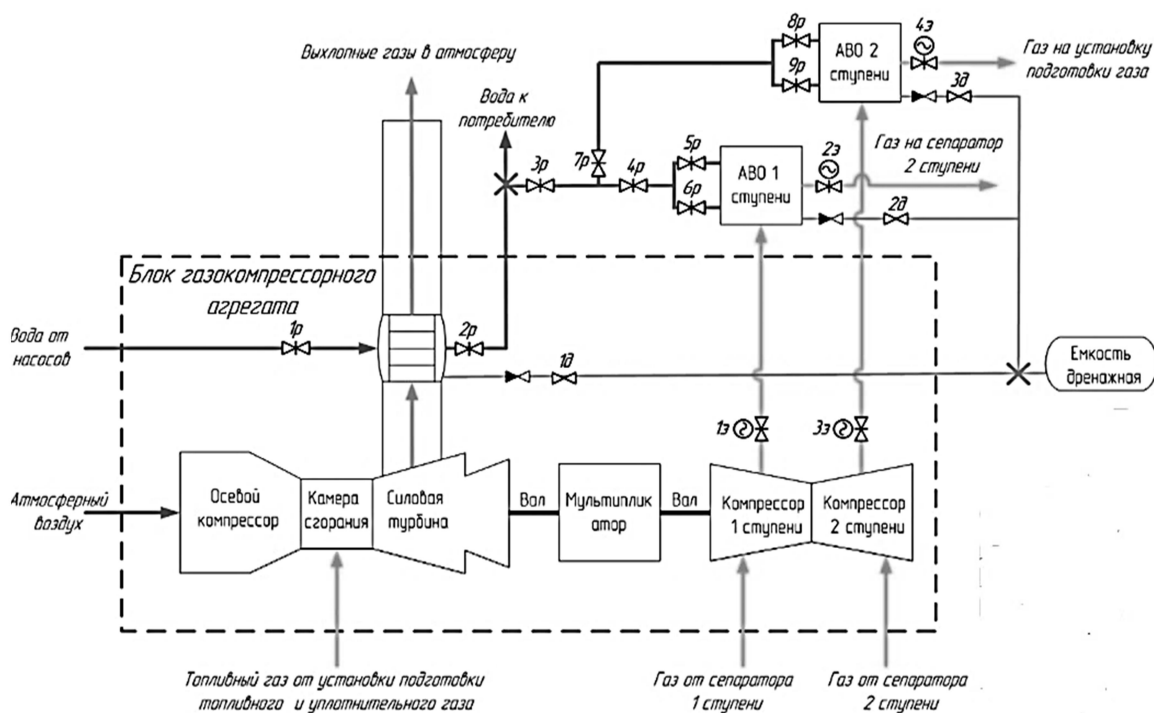


Рис. 6. Закрытая дренажная система

Fig. 6. Closed drainage system

Очистительные и теплообменные секции расположены под углом 6–9° в сторону выхода газа из аппарата, что исключает скопление конденсата в трубах. Также очистительные секции крепятся сбоку и снизу теплообменных секций.

Безусловно, процесс очистки установки зависит от правильного подбора форсунок. Тип распыления будет гидравлический, он экономичнее по потреблению энергии и проще. Факел распыла выберем полный конус, потому что он имеет наибольшую площадь распыления и орошение происходит равномерно, что создает одинаковую нагрузку на все участки оребренных труб, также он имеет наименьшие капли при распылении пучковой форсункой.

Если говорить про угол распыления и диаметр отверстия сопла, то это осуществляется индивидуально под каждый аппарат воздушного охлаждения.

Мы определяем нужный факел распыления, чтобы увеличить энергоэффективность данного аппарата воздушного охлаждения. Такой вывод можно сделать из того, что объем крупной капли соответствует объему восьми мелких капель с диаметром вдвое меньше, а площадь поверхности большой капли в четыре раза больше площади поверхности маленькой. И, следовательно, общая площадь восьми маленьких капель в два раза больше площади одной крупной (табл. 1).

Таблица 1

Table 1

Расход форсунок
 Nozzle consumption

Форма факела распыления	Давление жидкости, кгс/см ²					
	Польный конус		Полный конус		Плоская струя	
	Объемный расход, л/мин	Размер капель, мм	Объемный расход, л/мин	Размер капель, мм	Объемный расход, л/мин	Размер капель, мм
Польный конус	–	–	1	320	1,44	240
	18	700	25	640	36	490
Полный конус	0,8	540	1	400	1,4	300
	19	1 300	25	1 100	36	750
Плоская струя	0,7	400	1	360	1,6	300
	18	1 200	25	1 000	40	690
Пучковая струя	0,9	200	1,25	175	2	150
	20	400	28	265	44	190

В целях оценки энергоэффективности АВО выполнено исследование энергозатрат типового аппарата в течение одного года с момента начала эксплуатации без очистки и с проведением очистки с периодичностью в один месяц. Первым месяцем работы был выбран май.

По результатам исследования установлено, что с увеличением коэффициента теплопередачи из-за снижения температуры окружающей среды происходит увеличение энергоэффективности очистки с периодичностью в один месяц (табл. 2).

Таблица 2

Table 2

Повышение энергоэффективности аппарата воздушного охлаждения
 Improving energy efficiency of the air cooling device

Месяц	Энергозатраты без очистки АВО, кВт·ч	Энергозатраты с очисткой периодичностью 1 мес, кВт·ч	Экономия, кВт·ч
Май	2 563,728	2 563,728	0
Июнь	2 581,703	2 560,327	21,376
Июль	2 599,154	2 559,58	39,574
Август	2 631,464	2 561,449	70,015
Сентябрь	2 681,09	2 564,503	116,587
Октябрь	2 752,29	2 568,531	183,759
Ноябрь	2 876,086	2 575,613	300,473
Декабрь	3 000,839	2 580,998	419,841
Январь	3 041,637	2 579,986	461,651
Февраль	3 052,284	2 577,52	474,764
Март	2 975,9	2 571,088	404,812
Апрель	2 923,995	2 556,887	367,108
За год	33 680,169	30 830,21	2 849,959

Таким образом, проведение очистки в зимний период является наиболее экономически выгодным, но многие предприятия проводят ежегодную очистку в мае в связи с тем, что при повышении

температуры окружающей среды аппараты перестают справляться со своими задачами.

Также был проведен анализ других исследований энергоэффективности для аппаратов с другим

расходом газа, воздуха и другой площадью поверхности теплообмена.

Из проведенных исследований можно сделать вывод, что повышение энергоэффективности очистки происходит при увеличении расхода воздуха, площади теплообмена и прямо пропорционально увеличению расхода газа и воздуха одновременно. Таким образом, с увеличением производительности цеха, где находятся и введены в эксплуатацию АВО, будет увеличиваться энергоэффективность очистки с периодичностью в 1 месяц. Аппараты с другими параметрами также нецелесообразно применять в связи с тем, что стоимость аппарата вырастет.

Таким образом, наилучшим решением при увеличении расхода газа является повышение расхода воздуха, при этом будет происходить значительное увеличение энергоэффективности от проведения очистки с периодичностью в 1 месяц.

Повышение КПД АВО по очистным трубкам, которые мы предлагаем, будет происходить за счет подачи холодной воды на теплообменные трубы в летний период методом орошения. Мы сможем после вентилятора (который находится внутри АВО) подавать холодную воду, тем самым будет создаваться туманная подушка, которая будет орошать поток воздуха. Также можно сделать на концах этих трубок сменные форсунки, и когда необходимо почистить форсунки, мы их меняем на соответствующие распылители, которые будут подходить под данную систему АВО в случае необходимости, например, рабочую систему остановили, поменяли форсунки и запустили процесс – многоцелевое предложение. В итоге метод ороше-

ния с обдувом значительно повысит КПД АВО. Что касается материала, то теплообменник должен быть выполнен из нержавеющей стали, а сами трубы медные. Трубопровод также должен быть из нержавеющей стали, иначе начнется коррозия. Данная установка подходит под определенные климатические условия, будет эффективна в нежарких регионах (наиболее подходит Западная Сибирь). Данная система необходима там, где мало газа, но эта закачка нужна. Система не выдержит большого потока газа.

Заключение

По итогам исследования было выявлено, что очистка является основным способом повышения энергоэффективности аппаратов воздушного охлаждения попутного газа. С целью оптимизации и повышения энергоэффективности данного аппарата была предложена установка для очистки оребренной поверхности теплообменных труб АВО с применением гидравлических форсунок с полным конусом распыления и методом орошения АВО для повышения КПД. В результате анализа зависимости энергозатрат и энергоэффективности без очистки и с очисткой периодичностью в 1 месяц выявлено, что энергоэффективность составила 8,462 %. Таким образом, предложенная разработка будет являться рациональным решением при существующей проблеме утилизации попутного газа и позволит безопасно передвигать газ по магистральным трубопроводам, поддерживать правильное давление внутри пласта во время закачки под землю, а также приведет к наименьшему износу оборудования.

Список источников

1. Аршакян И. И., Тримбач А. А. Повышение эффективности работы установок охлаждения газа // Газовая промышленность. 2006. № 12. С. 52–55.
2. Алимов С. В., Лифанов В. А., Миатов О. Л. Аппараты воздушного охлаждения газа: опыт эксплуатации и пути совершенствования // Газовая промышленность. 2006. № 6. С. 54–57.

3. Локтев А. В., Малахов А. В., Мишин И. С. Повышение эффективности охлаждения газа на компрессорных станциях магистральных газопроводов // Тр. Нижегород. гос. техн. ун-та им. Р. Е. Алексеева. 2016. № 1. С. 207–210.

References

1. Arshakian I. I., Trimbach A. A. Povyshenie effektivnosti raboty ustanovok okhlazhdeniia gaza [Improving efficiency of gas cooling units]. *Gazovaia promyshlennost'*, 2006, no. 12, pp. 52-55.
2. Alimov S. V., Lifanov V. A., Miatov O. L. Apparaty vozdušnogo okhlazhdeniia gaza: opyt ekspluatatsii i puti sovershenstvovaniia [Apparatus for air cooling of gas: operating experience and ways of improvement]. *Gazovaia promyshlennost'*, 2006, no. 6, pp. 54-57.

3. Loktev A. V., Malakhov A. V., Mishin I. S. Povyshenie effektivnosti okhlazhdeniia gaza na kompressornykh stantsiiakh magistral'nykh gazoprovodov [Increasing efficiency of gas cooling at compressor stations of main gas pipelines]. *Trudy Nizhegorodskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. R. E. Alekseeva*, 2016, no. 1, pp. 207-210.

Статья поступила в редакцию 28.12.2022; одобрена после рецензирования 10.01.2023; принята к публикации 30.01.2023
The article is submitted 28.12.2022; approved after reviewing 10.01.2023; accepted for publication 30.01.2023

Информация об авторах / Information about the authors

Татьяна Сергеевна Силкина – студент кафедры разработки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений; Астраханский государственный технический университет; silkina_2002@mail.ru

Tatyana S. Silkina – Student of the Department of Development and Operation of Oil and Gas Fields; Astrakhan State Technical University; silkina_2002@mail.ru

Наталья Федоровна Лямина – доцент кафедры разработки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений; Астраханский государственный технический университет; nataliagty@mail.ru

Natalya F. Lyamina – Assistant Professor of the Department of Development and Operation of Oil and Gas Fields; Astrakhan State Technical University; nataliagty@mail.ru

