

УДК 533.2:661.91

**ОБЗОР СХЕМ ОЖИЖЕНИЯ МАЛОТОННАЖНОГО ПРОИЗВОДСТВА
СЖИЖЕНИЯ ПРИРОДНОГО ГАЗА****Ишарина Юлия Закеевна**

Аспирант 4 курса Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский политехнический университет». Кафедры «Техника низких температур» имени П.Л.Капицы
e-mail: iisharina@mail.ru

Аннотация

Приведен обзор основных схем ожижения малотоннажного производства сжижения природного газа, показаны их положительные и отрицательные стороны. Определены циклы, на которых основаны технологические схемы ожижения малотоннажного производства сжиженного природного газа. В связи с тем, что сегодня спрос на СПГ постоянно повышается, то задача развития малотоннажных установок становится крайне актуальной и её решение позволит улучшить функционирование многих отраслей промышленности и жизнедеятельности

Ключевые слова: установка ожижения природного газа, схемы ожижения, малотоннажное производство, циклы СПГ.

**OVERVIEW OF LIQUEFACTION SCHEMES FOR LOW-TONNAGE
PRODUCTION OF NATURAL GAS LIQUEFACTION****Yuliya Z. Isharina**

4th year postgraduate student of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Moscow Polytechnic University". Department of "Technology of low temperatures" named after P. L. Kapitsa

ABSTRACT

An overview of the main liquefaction schemes of low-tonnage production of natural gas liquefaction is given, their positive and negative sides are shown. The cycles on which technological schemes of liquefaction of low-tonnage production of liquefied natural gas are based are determined. Due to the fact that today the demand for LNG is constantly increasing, the task of developing low-tonnage installations is becoming extremely urgent and its solution will improve the functioning of many industries and life activities.

Keywords: natural gas liquefaction plant, liquefaction schemes, low-tonnage production, LNG cycles.

Сжиженный природный газ (СПГ)-это жидкая, криогенная многокомпонентная смесь, основным элементом которой является метан. В жидком агрегатном состоянии газ занимает место примерно в 600 раз меньше чем в газообразном состоянии. Малотоннажное производство СПГ занимает всё более значимую часть. Это связано с широкой областью применения СПГ и с точки зрения снижения экономических затрат.

Основные циклы, на которых основаны схемы для ожижения газа представлены на рисунке 1 [2].

Зачастую в схемах сжижения применяются разнообразные комбинации, в которые входят элементы перечисленных выше циклов.

- холодильные циклы с дросселированием различных модификаций
- детандерные холодильные циклы
- каскадные холодильные циклы с чистыми хладагентами (классические каскадные циклы)
- однопоточные каскадные циклы с хладагентом, представляющим собой многокомпонентную смесь углеводородов и азота.

Рисунок 1 - Циклы, на которых основаны технологические схемы сжижения.

Почти все малотоннажные российские заводы построены по различным технологиям, обладающие как преимуществами, так и недостатками, которые мы рассмотрим ниже.

Технологические схемы, работающие по дроссельному циклу.

Природный газ, проходя через теплообменники охлаждается, далее идёт процесс дросселирования и разделения в отделителе СПГ (рис. 2) [1].

Основное достоинство данного типа установок, как и всех других установок, которые работают по циклам с внутренним охлаждением – малое энергопотребление.

Примером такого типа исполнения принципиальной схемы может служить установки Никольская, которая была запущена в 1999 году в Ленинградской области. Природный газ, проходя последовательно через теплообменники 1 и 2 охлаждается, после чего подвергается дросселированию 3 и поступает в сепаратор 4, где происходит отделение СПГ.

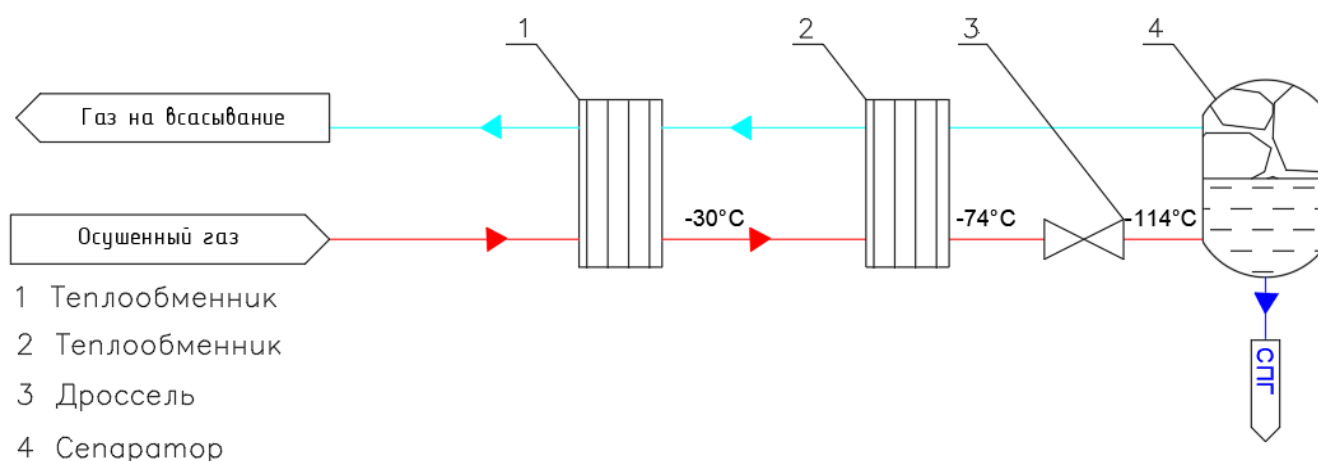


Рисунок 2 – Схема установки, работающей по дроссельному циклу

Однако, данная технология сжижения на ГРС имеет следующие минусы (рис. 3) [2]:

– ограниченную базу для применения, так как для значительной части ГРС РФ характерны либо низкие (3,3– 3,5 МПа) и нестабильные значения входного давления, либо значительные сезонные падения расхода (в 4–5 раз), что приводит к практически полной потере производительности установки подобного типа, простоям и неэффективному использованию эксплуатирующего персонала;

– низкую производительность за счет низкого коэффициента ожижения (около 2%);

– низкое качество продукции ввиду значительного содержания в исходном, а следовательно, и готовом продукте высококипящих углеводородных фракций и углекислоты. Такой газ нельзя использовать в качестве моторного топлива для двигателей, так как не соответствует требованиям к топливу.

Рисунок 3 – Минусы технологии, работающей по дроссельному циклу

Схема установки сжижения на АГНКС (рис. 4) [4].

Данный тип установки поставляется в контейнерах полной заводской готовности [4].

Многокомпонентная смесь углеводородов перекачивается из места добычи на завод для предварительной подготовки природного газа с целью дальнейшего ожижения с

давлением нагнетания 22-25 МПа. Сначала из природного газа отделяют примеси, осушают. Чтобы получить СПГ из природного газа удаляют этан, пропан и более тяжелые углеводороды. Оставшуюся газообразную смесь очищают и осушают. Далее происходит процесс подготовки газа к сжижению, этот процесс происходит в теплообменниках, где он предварительно охлаждается до -80°C . В 1 и 3 теплообменниках охлаждение потока газа происходит за счёт противотока потока паров СПГ из отделителя жидкости номер 9.

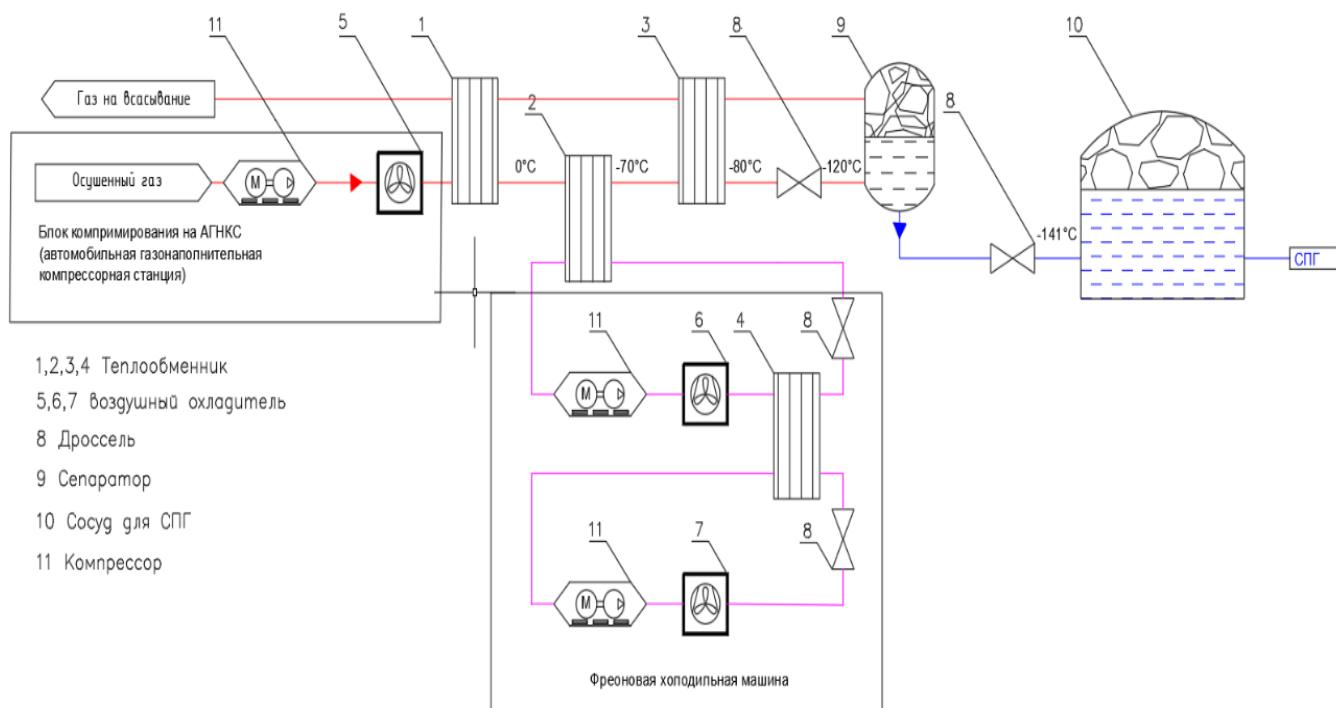


Рисунок 4 – Схема установки сжижения на АГНКС

Второй теплообменник охлаждается от фреоновой холодильной машины, где теплообменник является её потребителем. Далее происходит ожижение газа, где предварительно охлаждённый газ с помощью теплообменника пересекается со смешанным хладагентом и становится жидким природным газом, в результате дросселирования до давления 1,2 МПа. Охлаждённый газ поступает в сепаратор и далее дросселируется до температуры $-141,1^{\circ}\text{C}$ с рабочим давлением 0,5 МПа. Газообразная часть потока в результате отделения в сепараторе направляется на всасывание в автомобильную газонаполнительную компрессорную станцию (АГНКС). [5].

Основным недостатком данного типа решения схем является невозможность коррекции, так как полученный СПГ зависит от поступающего газа на ожижение. Вторым недостатком является сложность использования неочищенной части потока СПГ.

Примером реализованной установки с дроссельным циклом высокого давления с предварительным фреоновым охлаждением на ГРС является установка в Калининградской области. Установка состоит из АГНКС с ГРС (рис. 5) [4].

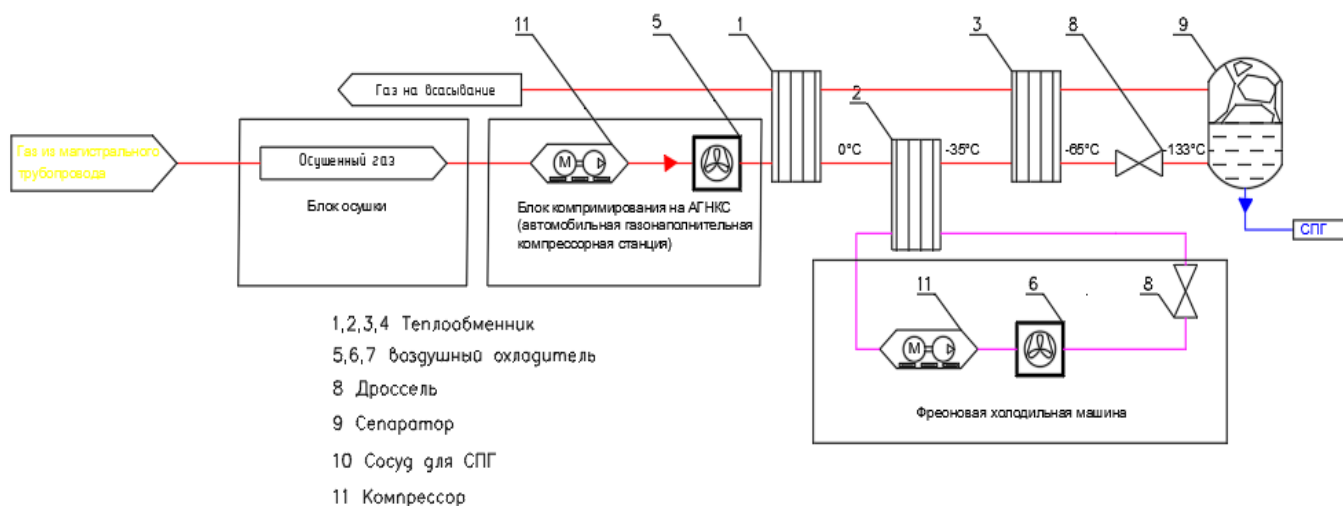


Рисунок 5 – Схема установки с дроссельным циклом высокого давления с предварительным фреоновым охлаждением на ГРС

. Мощность установки по 1500 кг СПГ в час одного блока. (таких блоков было использовано две штуки). Газ из магистрали осушается и поступает в компрессор, где давление нагнетания 20 МПа. Газ, охлаждаясь до $-65\text{ }^{\circ}\text{C}$, проходит через три теплообменника 1, 2, 3. Обратным потоком паров охлаждение СПГ проводится в 1-ом и 3-ем теплообменниках, а во 2-ом – фреоном от холодильной машины. Далее идёт процесс дросселирования и сепарация жидкости от паров газа. К недостаткам применения схем такого решения относится высокое энергопотребление, хотя коэффициент ожижения не столь высок. Так же следует учитывать, что установка зависима от ГРС и сезонного потребления газа.

В установке сжижения на АГНКС был применен контур внешнего охлаждения газа высокого давления холодильной машины с 2х ступенчатыми компрессорами (рис. 6) [4].

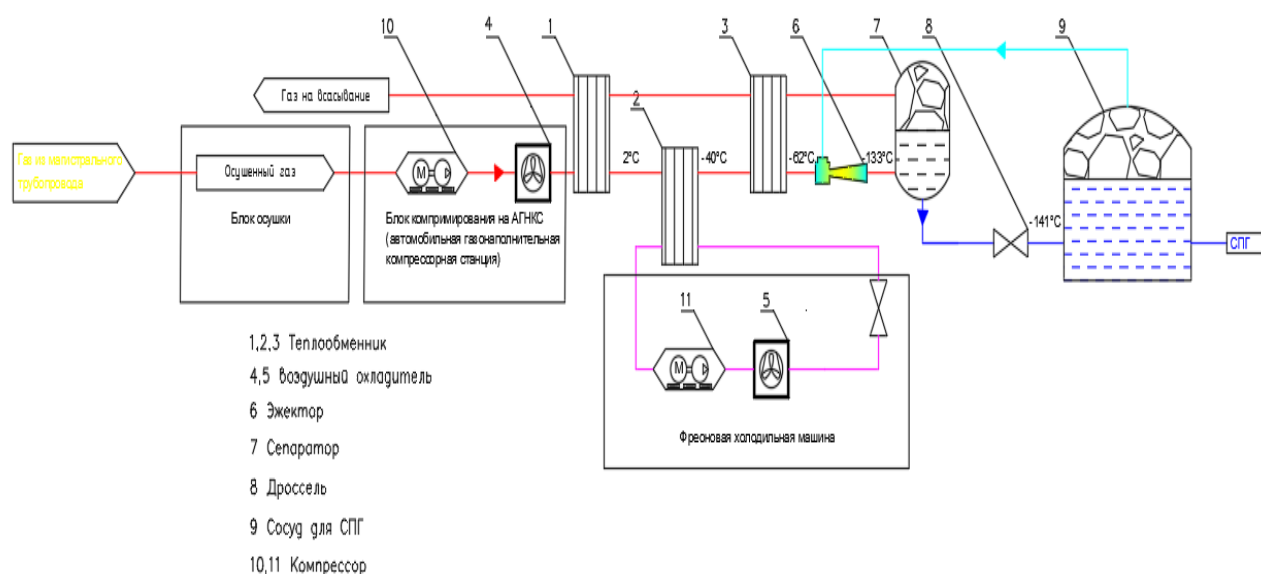


Рисунок 6 – Установки с дроссельно-эжекторным циклом высокого давления и предварительным фреоновым охлаждением

Это решение повысит холодопроизводительность дроссель-сепарационного цикла. Следует отметить, что основные элементы для некоторых схем такого типа были изготовлены на отечественном заводе. Сжатый до 20 МПа исходный газ осушают, ожижают. Давление газа снижается до 1,2 Мпа в результате охлаждения газа с высоким давлением в теплообменниках 1,3 и потребителя 2 ХМ. Принцип работы эжектора основан на том, что газ с низким давлением стремится в камеру смешения, так как в камере создана разряжённая область. Давление низконапорного газа ниже, чем давление на выходе из эжектора. Газ из эжектора поступает в сепаратор. Далее идёт процесс сжижения, пар из сепаратора поступает в теплообменники (более подробный процесс был описан выше). Основное достоинство схем с эжектором - простота, надёжность и наработанный опыт использования таких установок.

Для улучшения технических параметров был создан новый тип дроссельных циклов с применением вихревой трубы (рис. 7), впервые такое технологическое решение было применено в 2005 году [4].

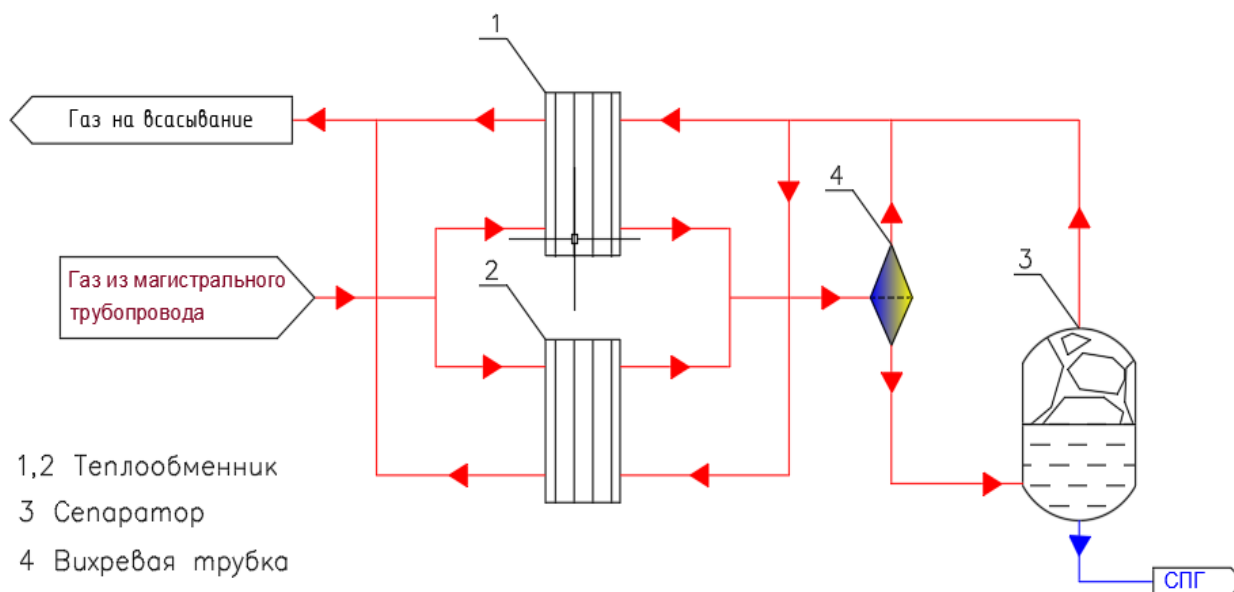


Рисунок 7 – Схема установки с дроссельным циклом с вихревой трубкой

Основной особенностью данного типа машин является работа за счёт разницы давлений, в качестве лучшего охлаждения газа используют вихревую трубу. За счёт снижения температуры ближе к середине течения газа и увеличения ближе к краям потока происходит охлаждения, его называют вихревым эффектом.

Недостатком схем с вихревой трубкой является определение значений её работы экспериментальным методом. Чтобы поддерживать вихревую трубку необходимо поддерживать давление и настраивать измерительные аппаратуры. А использование оттайки приводит к нестабильной работе всей машины. В связи с этим такие установки целесообразно использовать на заводах с высоким давлением и с постоянным, большим расходом газа [1].

Газ из магистрального трубопровода проходит этапы очистки, осушки. Теплообменник 1 и 2 работают попеременно. После охлаждения газа в вихревой трубке 4 следует процесс отделения в устройстве 3. Поток перед вымораживателем объединяется с газовой частью, поступившей от сепаратора. Затраты энергии на схемах такого типа расходуются экономично, так как энергия необходима лишь для контроля программного обеспечения и системы автоматизации.

Данные малотоннажных установок СПГ, описанных в работе [2], объединены для наглядности показателей различных технологических схем (рис. 8). Из которого видно, что выбор схемы для ожижения это всегда компромисс.

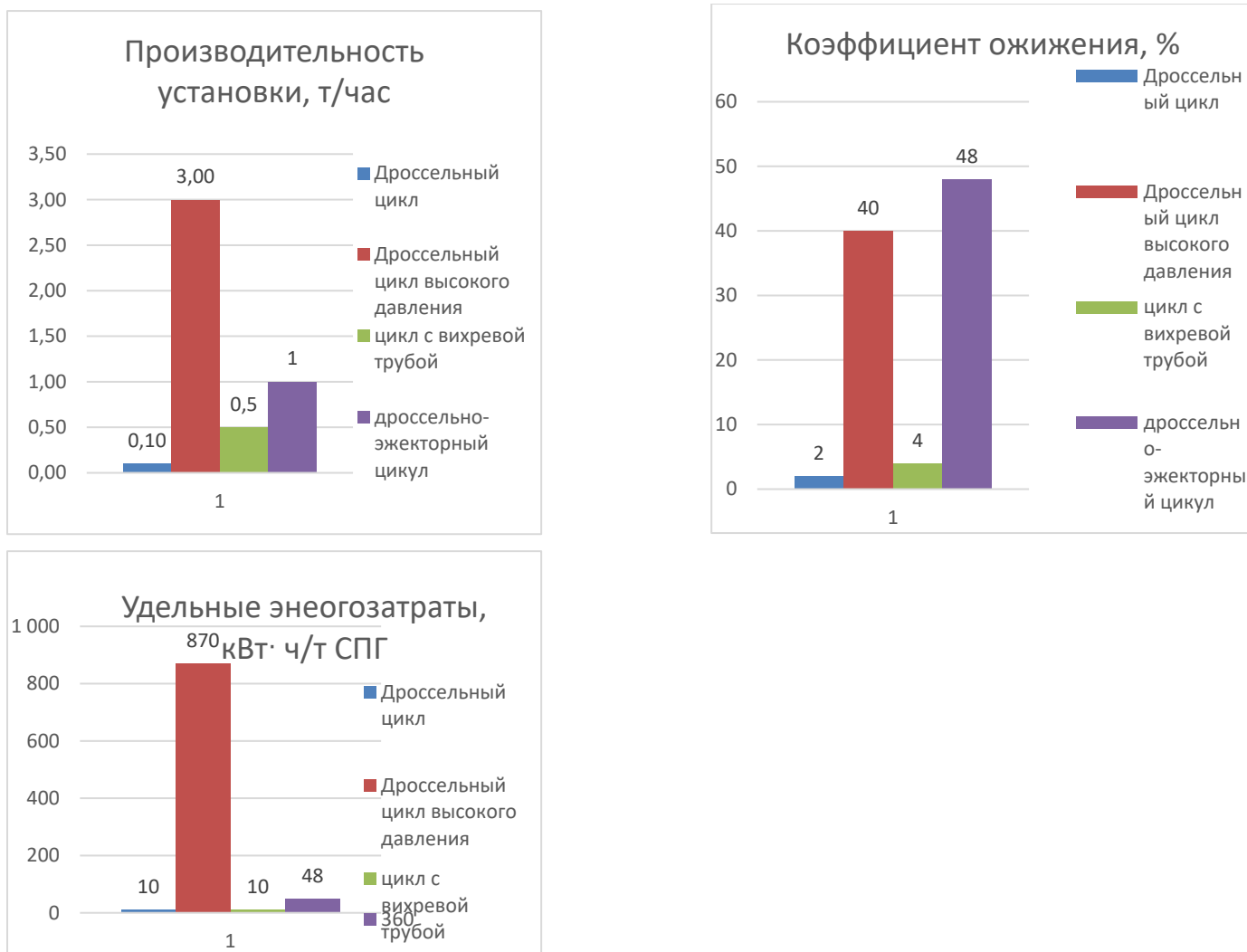


Рисунок 8. Основные характеристики циклов СПГ

В заключении подчеркнем то, что потребность в СПГ растет. Формирование малотоннажного производства СПГ в Российской Федерации обладает высокой значимостью в социально-экономическом развитии. Малотоннажные установки позволят обеспечить энергоресурсами малые города, посёлки, сёла.

Актуально применение СПГ и в качестве топлива. В России нет развитой инфраструктуры крио АЗС, но их можно развить с помощью малотоннажных заводов СПГ [2]. К тому же имеется разветвленная сеть магистральных трубопроводов, подающих газ в большинство крупных городов. Использование СПГ как топлива приведёт к снижению выброса вредных веществ, в выхлопных газах не будет содержаться сажи и серосоединений, а страна будет обладать огромными ресурсами криотоплива. СПГ не образует воспламеняющейся смеси, если СПГ хранить в парообразном состоянии. Таким образом, задача развития малотоннажных установок крайне актуальна, решение которой улучшит многие отрасли промышленности и жизнедеятельности.

Список литературы:

1. Голубева И.А., Мещерин И.В., Дубровина Е.П. Производство сжиженного природного газа: вчера, сегодня, завтра // Мир нефтепродуктов. 2016. № 6. С. 4–13.
2. Федорова Е.Б., Мельников В.Б. Перспективы развития малотоннажного производства сжиженного природного газа в России // НефтеГазоХимия. 2015. № 3. С. 44–51.
3. Федорова Е. Б., Мельников В. Б. Роль и значение малотоннажного производства сжиженного природного газа для Российской Федерации // Газовая промышленность. – 2015. – №. 8. – С. 90-94.
4. Кондратенко А.Д., Карпов А.Б., Козлов А.М., Мещерин И.В. Российские малотоннажные производства по сжижению природного газа // НефтеГазоХимия №4, 2016. - С. 31-36.
5. Мехрпуйя, Мехди Внедрение новых технологических решений в циклы внешнего охлаждения процессов извлечения гелия и ожижения природного газа / Мехрпуйя Мехди, А. В. Зайцев, А. О. Лисовцов // Омский научный вестник. Серия «Авиационно-ракетное и энергетическое машиностроение». – 2020. – Т. 4, № 2. – С. 37-47
6. Попов Н.А., Белов М.Б. Создание установок сжижения природного газа и внедрение эффективных СПГ-технологий // Автогазозаправочный комплекс+ альтернативное топливо. 2011. № 2. С. 17–20

References:

1. Golubeva I.A., Meshcherin I.V., Dubrovina E.P. Production of liquefied natural gas: yesterday, today, tomorrow // World of petroleum products. 2016. No. 6. pp. 4-13.
2. Fedorova E.B., Melnikov V.B. Prospects for the development of low-tonnage production of liquefied natural gas in Russia // Neftegazochemistry. 2015. No. 3. pp. 44-51.
3. Fedorova E. B., Melnikov V. B. The role and importance of low-tonnage production of liquefied natural gas for the Russian Federation // Gas industry. - 2015. – No. 8. – pp. 90-94.
4. Kondratenko A.D., Karpov A.B., Kozlov A.M., Meshcherin I.V. Russian low-tonnage natural gas liquefaction plants // Neftegazochemistry No. 4, 2016. - pp. 31-36.
5. Mehrpuya, Mehdi Introduction of new technological solutions in the cycles of external cooling of helium extraction processes and liquefaction of natural gas / Mehrpuya Mehdi, A.V. Zaitsev, A. O. Lisovtsov // Omsk Scientific Bulletin. The series "Aviation-rocket and power engineering". – 2020. – Vol. 4, No. 2. – pp. 37-47
6. Popov N.A., Belov M.B. Creation of natural gas liquefaction plants and introduction of efficient LNG technologies // Autogasueling complex + alternative fuel. 2011. No. 2. pp. 17-20