

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ МАГИСТРАЛЬНОГО ТРАНСПОРТА ГАЗА ПАО «ГАЗПРОМ» НА ОСНОВЕ РЕАЛИЗАЦИИ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ ВЫХЛОПНЫХ ГАЗОВ ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩИХ АГРЕГАТОВ

УДК 330.524:620.9

О.Е. Аксютин, ПАО «Газпром» (Санкт-Петербург, РФ)

А.Г. Ишков, ПАО «Газпром»

Г.А. Хворов, ООО «Газпром ВНИИГАЗ» (Москва, РФ)

М.В. Юмашев, ООО «Газпром ВНИИГАЗ», M_Yumashev@vniigaz.gazprom.ru

Е.В. Юров, ООО «Газпром ВНИИГАЗ»

В.П. Мохов, ООО «МАН» (Москва, РФ)

О.В. Мохов, ООО «МАН»

Перспективной технологией по утилизации тепла выхлопных (уходящих) газов газотурбинных двигателей (ГТД) ГПА является «пентановая» технология на основе органического цикла Ренкина (ORC-технология).

В статье приведены примеры и оценка эффективности применения технологии утилизации энергии выхлопных газов ГПА на объектах магистрального транспорта газа.

На КС «Северная» (ООО «Газпром трансгаз Санкт-Петербург») предлагается утилизационная установка МТУ-500 ORC электрической мощностью 500 кВт. Процесс проектирования и изготовления был основан на российских технологиях и комплектующих изделиях. Приведены структурная и компоновочные схемы построения утилизационного комплекса.

На КС «Октябрьская» (ООО «Газпром трансгаз Югорск») впервые реализуется пилотный проект: утилизационный комплекс на основе применения ORC-технологии номинальной электрической мощностью 5,0 МВт. Приведена конструктивная схема построения утилизационного комплекса.

Для компрессорных станций в районах с жарким летним климатом предлагается технология повышения энергетической эффективности при транспортировке газа за счет внедрения системы охлаждения воздуха, подаваемого в газотурбинную установку (ГТУ) ГПА, на основе абсорбционной бромисто-литиевой холодильной машины (АБХМ). Охлажденный воздух будет подаваться в ГТУ перед или за комплексным воздухоочистительным устройством (КВОУ).

Техническое предложение сформулировано на уровне конструктивной схемы функционирования системы охлаждения воздуха.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ, ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, УТИЛИЗАЦИЯ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ ВЫХЛОПНЫХ ГАЗОВ ГПА, ГЕНЕРАЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ, ГЕНЕРАЦИЯ ЭНЕРГИИ ХОЛОДА.

Для повышения энергетической эффективности расхода топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) при транспортировке газа в ПАО «Газпром» реализуется высокоэффективная энергосберегающая технология использо-

вания тепла уходящих газов ГПА для выработки электрической энергии и энергии холода [1].

Для транспортировки природного газа по магистральным газопроводам (МГ) России в качестве привода ГПА применяются

ГТУ, которые составляют в парке Общества 87,8 % [2]. ГТУ имеют температуру выхлопных газов в диапазоне 400–500 °С, и их утилизационный потенциал оценивается в 836 млн ГДж/год, из которых для нужд теплоснабжения

используется 54,3 млн ГДж/год (6,5 %).

В ПАО «Газпром» принята Программа по внедрению утилизации тепла отходящих газов компрессорных станций [3]. Суммарный потенциал выработки электроэнергии на основе использования технологии утилизации тепла отходящих газов ГПА на компрессорных станциях (КС) оценивается в 27,3 млрд кВт·ч/год [3].

В современных условиях перспективной технологией по утилизации тепла выхлопных (отходящих) газов ГТД ГПА является «пентановая» технология, или технология пентановых турбин на основе органического цикла Ренкина (ORC-технология). Техническое решение, обеспечивающее реализацию данной технологии, относится к классу утилизационных теплоэнергетических комплексов (УТЭК).

При реализации ORC-технологии на КС ПАО «Газпром» в качестве теплоносителя (рабочего тела) могут быть использованы пентан или пентен (НРТ) – органические вещества, имеющие свойства жидкости при температуре 36 °С и свойства перегретого газа при более высоких температурах. До температуры 36 °С (при атмосферном давлении) пентан находится в жидком состоянии, а после 36 °С переходит в газообразное состояние. Примерами других низкокипящих рабочих тел могут быть углеводороды (бутан, пропан), хладоны (R11, R12, R114, R123, R245+a), аммиак, толуол, дифенил, силиконовое масло, а также CO₂ при высоком давлении или новое синтетическое вещество Noves 649 и др.

При давлении 1,5–1,8 МПа газообразное НРТ подается в турбодетандер, который в паре с генератором вырабатывает электрическую энергию. Пентан не замерзает при температурах до –60 °С, что позволяет устанавливать электростанции на открытом воздухе.

Типовая схема электростанции на основе ORC-технологии пред-

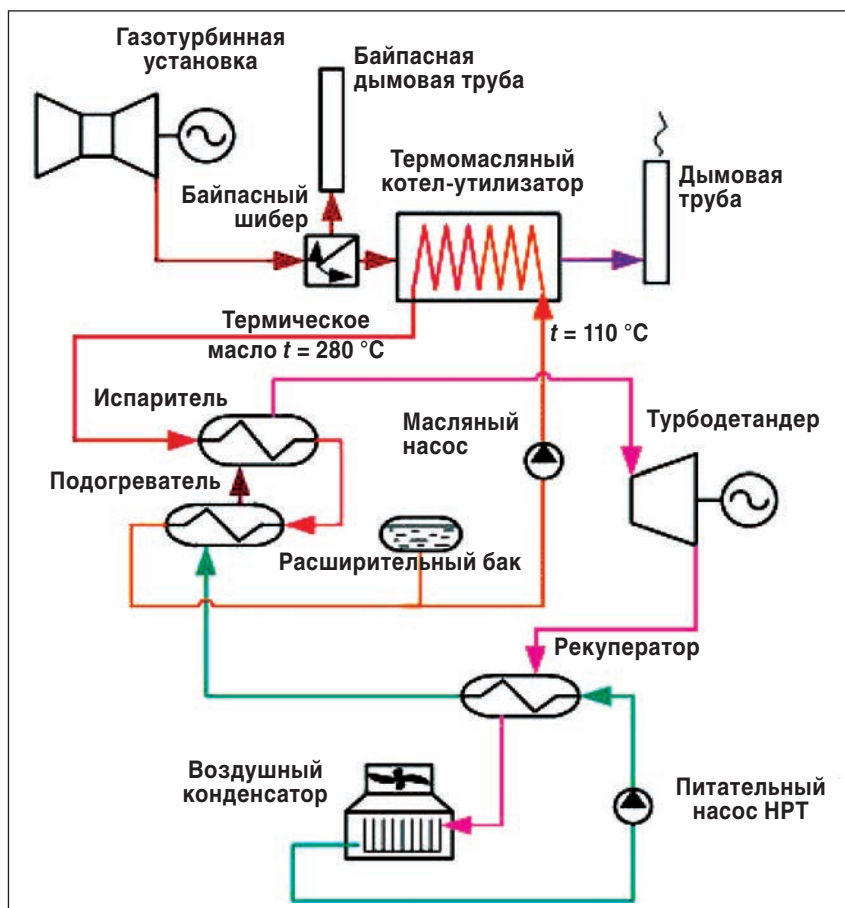


Рис. 1. Схема системы утилизации тепла на основе пентановой технологии

ставлена на рис. 1. Основные ее элементы – термомасляный утилизационный котел, турбодетандер с электрогенератором и различные теплообменные бло-

ки: испаритель, подогреватель, рекуператор и воздушный конденсатор.

При применении технологии утилизации тепла выхлопных га-

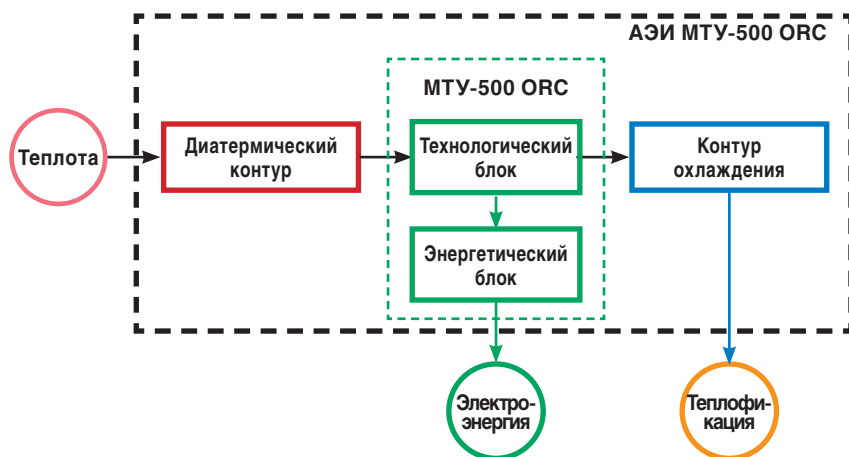


Рис. 2. Структурная схема автономного энергетического источника MTU-500 ORC

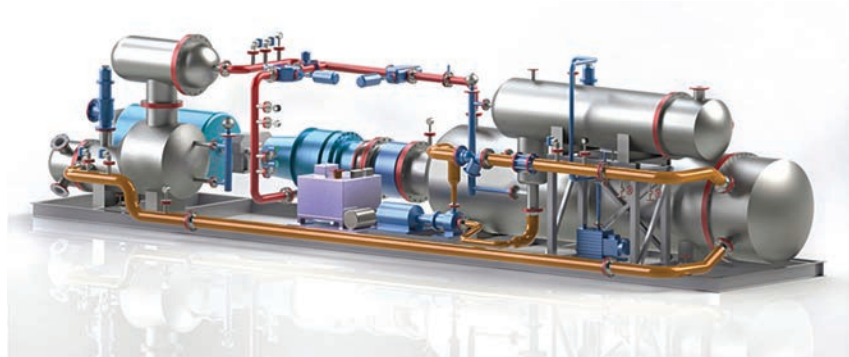


Рис. 3. Компоновочная схема автономного энергетического источника MTU-500 ORC

зов ГТД ГПА на основе ORC-технологии технологический эффект заключается:

- в отсутствии выбросов вредных веществ в окружающую природную среду, что обусловлено замкнутым технологическим циклом;
- минимизации безвозвратного уноса рабочего тела;
- конструктивной доступности применения УТЭК (блочное исполнение);
- функционировании УТЭК в автоматическом режиме, практически без обслуживающего персонала, что соответствует критерию отнесения к безлюдным технологиям.

Энергосберегающий эффект применения ORC-технологии заключается в том, что на КС более полно используется энергия природного газа, сжигаемого в качестве топлива. Электроэнергия, получаемая при преобразовании тепла в УТЭК, тратится на

собственные нужды компрессорного цеха (КЦ), в том числе и на привод электроприводного ГПА (ЭГПА), при условии, что в состав КС входит электроприводной КЦ.

Направление использования вторичных энергетических ресурсов (ВЭР) для выработки электроэнергии на основе ORC-технологии является одним из приоритетных направлений в ПАО «Газпром». Проведенные оценки сценариев применения УТЭК показывают технологическую эффективность проектов оптимизации энергетического комплекса газоперекачивающих КС в системе магистрального транспорта природного газа.

Целесообразно отметить, что в сравнении с газовой или паровой пентановая турбина имеет достаточно простую конструкцию, и производство подобных агрегатов может быть организовано на многих отечественных ма-

шиностроительных предприятиях России. Так, в ПАО «Газпром» в настоящее время лидирует проект, реализуемый ООО «Научно-технический центр «Микротурбинные технологии» совместно с ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет им. Петра Великого». В рамках НИОКР, начатой в 2011 г., была разработана утилизационная установка MTU-500 ORC электрической мощностью 500 кВт. Процесс проектирования и изготовления был основан на российских технологиях и комплектующих изделиях. Изготовление установки производится компанией на собственной технической базе в г. Санкт-Петербурге.

Целью проекта является обеспечение потребности КС в электроэнергии на собственные нужды путем установки автономных энергоисточников. На основании этой разработки были выполнены проектно-исследовательские работы по объекту КС «Северная». Структурная схема автономного энергетического источника MTU-500 ORC представлена на рис. 2. Построение компоновочной схемы автономного энергетического источника MTU-500 ORC приведено на рис. 3. Оценка экономической эффективности проекта подтвердила его эффективность: дисконтируемый срок окупаемости проекта составляет 5,9 лет.

В ПАО «Газпром» впервые реализуется пилотный проект, направленный на повышение энергетической эффективности магистрального транспорта газа, финансируемый в рамках энергосервисного контракта между ООО «Газпром трансгаз Югорск» и ООО «ГПБ-Энергоэффект». В настоящее время проводится комплекс работ по выполнению предпроектных исследований по оценке строительства на КС «Октябрьская» ООО «Газпром трансгаз Югорск» УТЭК на основе применения ORC-технологии. Выполненное технико-экономи-

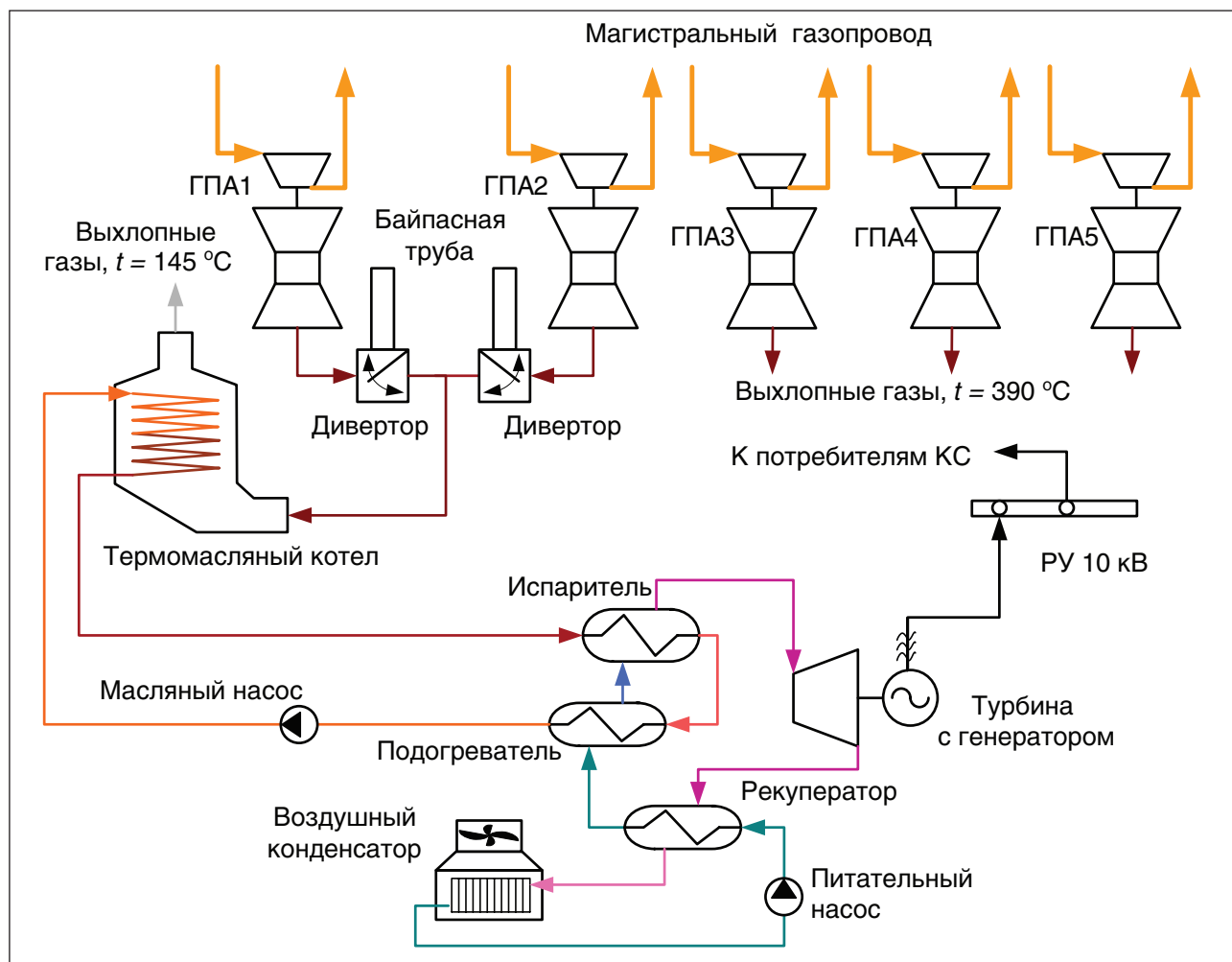


Рис. 4. Конструктивная схема построения УТЭК на КС «Октябрьская»

ческое обоснование подтверждает целесообразность внедрения УТЭК в целях повышения эффективности использования ВЭР с применением ORC-технологии. Конструктивная схема утилизационного комплекса с использованием рабочего тела пентан (НРТ) на КС «Октябрьская» представлена на рис. 4. Техно-экономические показатели компоновочного решения УТЭК:

- номинальная электрическая мощность УТЭК – 5,0 МВт;
- утилизационный теплообменник тепловой мощностью 30 МВт – 1 ед.;
- УТЭК заводской готовности комплектной поставки Turboden 60-HRC – 1 ед.;
- максимальная годовая выработка электроэнергии УТЭК – 43,6 млн кВт·ч;

- срок полезного использования оборудования – 25 лет;
- капитальные вложения – 1 026,6 млн руб.;
- дисконтируемый срок окупаемости проекта – 10 лет.

Планируется параллельный режим работы УТЭК совместно с ПАО «Тюменьэнерго» на КС «Октябрьская». Строительство УТЭК будет осуществляться без остановки работы КС «Октябрьская».

Новым направлением в повышении энергетической эффективности расхода ТЭР при транспортировке газа в ПАО «Газпром» являются разработка и внедрение системы охлаждения воздуха, подаваемого в ГТУ ГПА, на основе АБХМ.

Целесообразно отметить, что в условиях эксплуатации ГПА для регионов с жарким климатом на

расход топливного газа влияет изменение температуры воздуха окружающей среды, подаваемого в ГТУ. Анализ показал, что число дней, для которых температура воздуха находится в пределах 10–40 °С, для южных регионов составляет примерно 150 дней. ГТУ потребляют значительное количество воздуха. При этом их характеристики зависят от параметров окружающего воздуха. Температура воздуха, давление и содержание воды влияют на степень сжатия воздуха в компрессоре ГТД и тем самым на характеристики ГТУ. При повышении температуры воздуха, поступающего в ГТУ, снижаются КПД двигателя и максимальная мощность.

Для повышения эффективности работы ГПА в условиях эксплуатации с высокими темпе-

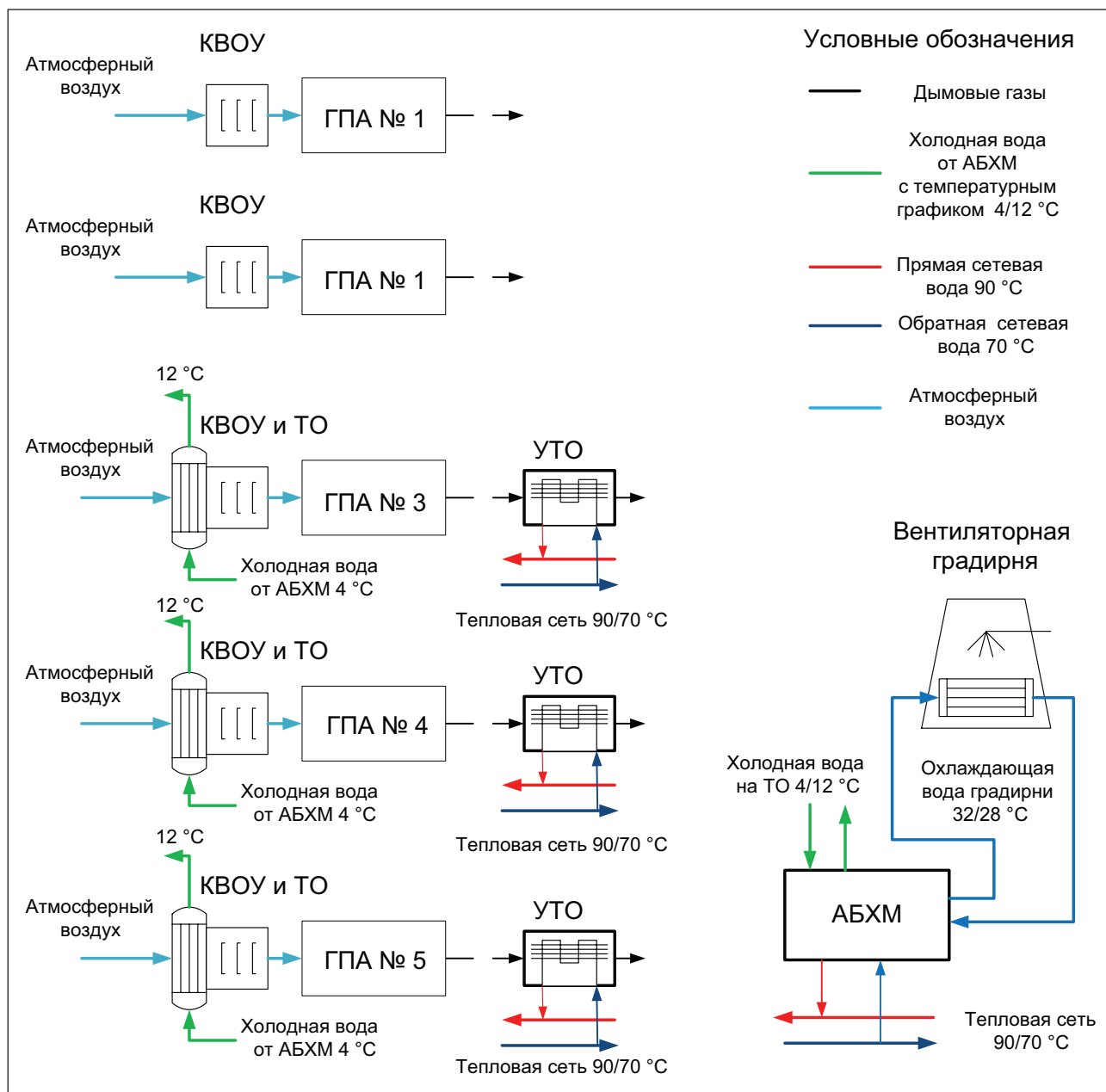


Рис. 5. Технологическая схема системы охлаждения воздуха, подаваемого в ГТД, на основе АБХМ

ратурами воздуха охлаждение воздуха, подаваемого в ГТД на основе АБХМ, целесообразно осуществлять перед или за комплексным воздухоочистительным устройством (КВОУ).

Технологическая схема системы охлаждения воздуха, подаваемого в ГТД, на основе АБХМ приведена на рис. 5.

В состав системы охлаждения воздуха, подаваемого в ГТД, входят:

- АБХМ;

- утилизационный теплообменник (УТО), нагревающий воду теплом выхлопных газов;

- теплообменник (ТО) «холодная вода – воздух», устанавливаемый до или после КВОУ;

- градирня для отведения тепла от АБХМ.

Работа АБХМ обеспечивается за счет горячей воды с определенным температурным графиком, которая будет нагреваться за счет энергии тепла уходящих газов ГПА в УТО. АБХМ будет обе-

спечивать теплообменное оборудование, установленное перед КВОУ, холодной водой. Охлаждение воздуха в теплообменнике будет осуществляться за счет холодной воды с температурным графиком 12/7 °C. Через межтрубное пространство теплообменника в КВОУ ГПА будет подаваться атмосферный воздух (на входе в теплообменник 30–20 °C, на выходе из теплообменника 10 °C).

Экономия топливного газа ГПА за счет охлаждения воздуха пе-

ред КВОУ будет достигаться за счет двух факторов: увеличения КПД ГПА за счет снижения температуры воздуха перед КВОУ, обеспечения работы ГПА на номинальной нагрузке (при температуре воздуха перед КВОУ 10 °С).

Возможны варианты использования АБХМ, работающих непосредственно на выхлопных газах ГПА или на паровом энергоносителе.

При внедрении системы охлаждения воздуха на входе ГТУ на основе АБХМ при эксплуатации в жаркое время года температура воздуха на входе будет поддерживаться на уровне 10 °С при сохранении мощности ГПА для обеспечения требуемой величины транспортируемого газа.

На рис. 6 представлен график снижения мощности в зависимости от наружной температуры воздуха. Наклонные прямые показывают снижение мощности от наружной температуры, а закрашенная область – случаи, когда, охладив воздух перед ГТУ, можно избежать включения дополнительного агрегата и сэкономить топливный газ.

На рис. 7 представлен график зависимости КПД ГТД ДГ 90 от температуры воздуха на входе в ГТУ.

При расчетах были рассмотрены варианты построения системы охлаждения воздуха для КЦ, состоящего из пяти ГПА. Общая величина экономии топливного газа будет зависеть от конкретных суточных температур в течение теплых месяцев года применительно к рассматриваемой КС.

Выполненный технико-экономический анализ показал, что наиболее целесообразно применение

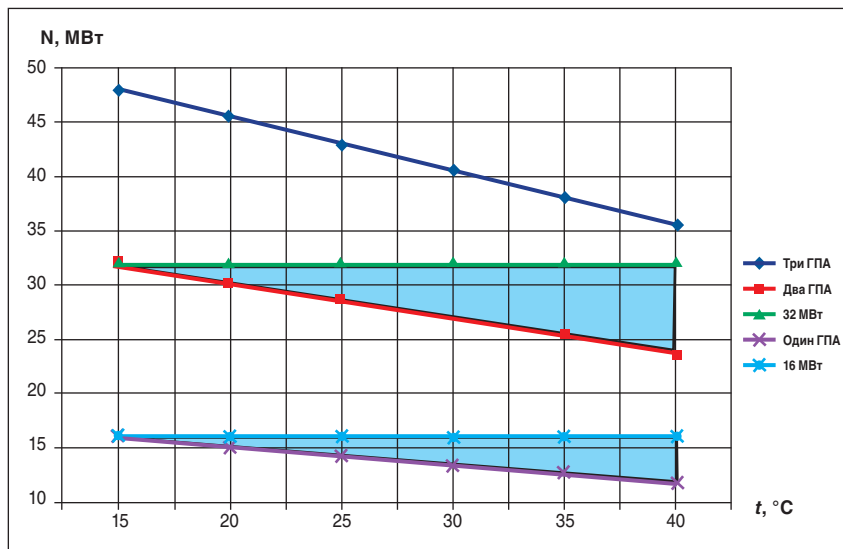


Рис. 6. Графики снижения мощности ГТУ в зависимости от наружной температуры воздуха

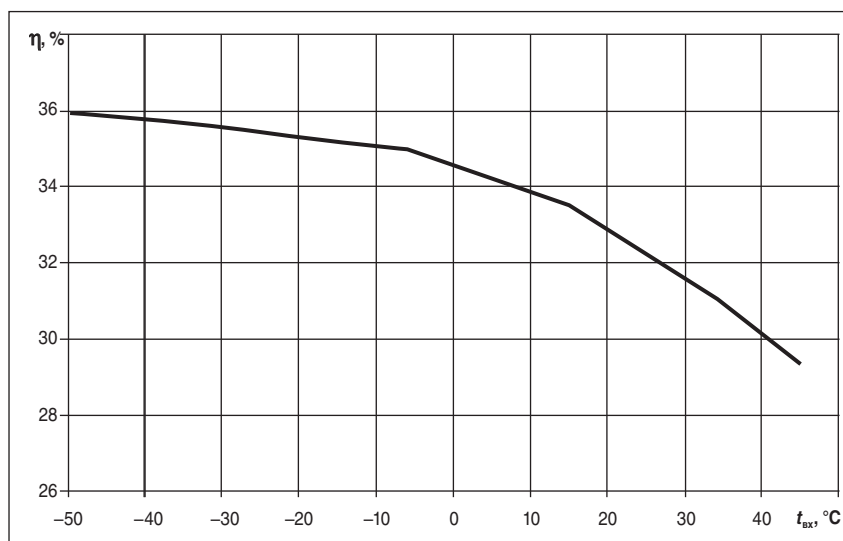


Рис. 7. Зависимость КПД ГТД ДГ 90 от температуры воздуха на входе в ГТУ

технологии охлаждения циклового воздуха ГПА на основе АБХМ в ООО «Газпром трансгаз Волгоград», ООО «Газпром трансгаз Ставрополь», ООО «Газпром трансгаз Краснодар» и ООО «Газпром трансгаз Саратов».

Таким образом, в ПАО «Газпром» успешно реализуются высоко-

эффективные технологии повышения энергетической эффективности технологических объектов магистрального транспорта газа на основе утилизации тепловой энергии выхлопных газов ГТУ ГПА с выработкой электрической энергии и энергии холода. ■

ЛИТЕРАТУРА

1. Каталог эффективных энергосберегающих технологий в добыче, транспортировке и подземном хранении газа (утв. ОАО «Газпром» 7 сентября 2011 г.). М.: ООО «Газпром ВНИИГАЗ», 2011.
2. Галиуллин З.Т., Сальников С.Ю., Щуровский В.А. Современные газотранспортные системы и технологии. М.: Газпром ВНИИГАЗ, 2014. 346 с.
3. Программа по внедрению утилизации тепла отходящих газов компрессорных станций (утв. Заместителем Председателя Правления ПАО «Газпром» В.А. Маркеловым 22 марта 2016 г. № 03-41).