

УДК 620.92

*Парафейник В.П.¹, Зленко А.В.¹, Татаринов В.М.¹, Петухов И.И.²*¹ ОАО "Сумское НПО им. М.В. Фрунзе". Украина, Сумы.² Национальный аэрокосмический университет "ХАИ". Украина, Харьков

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ИХ РЕАЛИЗАЦИИ В ОБЛАСТИ ЭНЕРГОРЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ

Анотація

Значний об'єм споживання газоподібних вуглеводнів промислово-господарським комплексом України та її газотранспортною системою гостро ставить питання про освоєння енергозберігаючих технологій. В частині 1 статті розглянуті пропозиції по створенню обладнання для утилізації низько- та високопотенційних теплових потоків, енергії тиску вуглеводневих газів, а також результати досліджень спеціалістів ВАТ "Сумське НВО ім. М.В. Фрунзе" та НАКУ "ХАІ" по створенню обладнання для цих цілей.

Abstract

Considerable consumption of gaseous hydrocarbons by industry and economic complex of Ukraine raises the question on mastering new power resources saving technologies as well as equipment manufacturing for their realization. Part 1 of the Article covers proposals of J.S.C. "Sumy Frunze NPO" on equipment manufacturing for utilization of low-grade and high-grade heat flows, pressure energy of hydrocarbon gases, as well as research results of specialists of J.S.C. "Sumy Frunze NPO" and NAKU "KHAI" on equipment manufacturing for this purpose.

Часть 1. Утилизация теплоты и потенциальной энергии давления

Несмотря на развитие атомной и нетрадиционной энергетики, освоение альтернативных топлив, природный газ продолжает оставаться основным источником тепловой энергии для бытовых и промышленных потребителей, широко используется при производстве электроэнергии на ТЭЦ и в автономных энергоустановках. В Украине удельный вес газа для этих целей значительно выше, чем в странах ЕС. Общее потребление газа составляет около 70 млрд. кубометров в год, причем более 70% из них импортируется. Ещё около 5 млрд. нм³ ежегодно сжигается в газотурбинных приводах (ГТП) газоперекачивающих агрегатов на компрессорных станциях газотранспортной системы Украины при транспортировке 125–130 млрд. кубометров газа в Европу. Если заменить устаревшие ГТП в составе агрегатов на привода с коэффициентом полезного действия 32+38% (вместо имеющихся 20+27%), то станет возможным уменьшение расхода топливного газа, примерно на 2 млрд. м³ (экономию составит более 320 млн. дол. США). В тоже время КС, укомплектованные газоперекачивающими агрегатами устаревшей конструкции с ГТП простого

рабочего цикла мощностью 6,3–16 МВт, являются мощным источником теплового загрязнения окружающей среды, выбрасывая в атмосферу в течение года тысячи МВт тепловой энергии. Кроме того, значительные резервы экономии топливных и энергетических ресурсов имеются в коммунальном хозяйстве в связи с прямым сжиганием топливного газа в котельных (без когенерации) для отопления и горячего водоснабжения, а также на газораспределительных станциях системы газоснабжения.

Значительную часть вторичных энергоресурсов можно использовать полезно, сократив потребление газа. Методы и способы решения этих задач хорошо разработаны, а для их технической реализации требуется соответствующий комплекс энерготехнологического и теплообменного оборудования. Значительный опыт создания и освоения подобного оборудования имеет ОАО "Сумское НПО им. М.В. Фрунзе" (далее ОАО).

Создание блочно-комплектного оборудования для энергетики, газовой, нефтяной и химической промышленности, коммунального хозяйства на основе компрессоров различного типа с газотурбинным, электрическим и газопоршневым приводом, является основным направлением работы ОАО. Освоение производства разнообразного оборудования стало возможным благодаря наличию в номенклатуре изделий ОАО центробежных, поршневых, водокольцевых, вихревых, роторных компрессоров, центрифуг, а также насосного, теплообменного, емкостного, сепарационного, колонного, печного оборудования, арматуры и систем автоматизированного управления, выпускаемых на современной элементной базе. Кроме того, в ОАО для собственных нужд был создан энергетический комплекс суммарной мощностью 40 МВт, состоящий из когенерационной установки ЭГТУ-16 для выработки электрической и тепловой энергии, энергетической установки ПГУ-20 на основе бинарного цикла и энергоутилизационной установки УТГ-4П на основе низкотемпературной паровой турбины, работающей на пентане [1]. Успешно работает также экспериментальная установка для сжижения природного газа, созданная на основе электроприводных центробежных компрессоров [2].

Опыт, накопленный в процессе создания и эксплуатации указанного оборудования, позволяет приступить к производству эффективных изделий машиностроения для освоения современных направлений в развитии энергоресурсосберегающих технологий, к которым, в частности, относятся: утилизация низко- и высокотемпературных тепловых потоков в различных отраслях промышленности с использованием разнообразного оборудования; утилизация избыточного

давления природного газа, транспортируемого по магистральным газопроводам и распределительным сетям; производство биогаза; добыча угольного метана.

Крупными источниками низкопотенциальных тепловых потоков ($T = 373\text{--}523\text{ K}$) являются различные производства металлургической, металлообрабатывающей, нефте- и газоперерабатывающей промышленности, а также теплоэнергетика и коммунальное хозяйство. В связи с этим в ОАО впервые в отечественной практике создана экспериментальная энергосберегающая установка УТГ-4П с замкнутым рабочим циклом, работающая на низкокипящих рабочих телах (НРТ). Установка предназначена для исследования рабочего процесса утилизационных энергоустановок нового типа, испытания и доводки оборудования, а также производства электроэнергии при ее эксплуатации в составе энергокомплекса ОАО. Установка выполнена на основе радиальноосевой пентановой турбины ТПР-4/6-1,45-0,1 конструкции ОАО и генератора ТГ-6-2ДУ-В (АО "Привод", г. Лысьва, Россия) (фото 1).

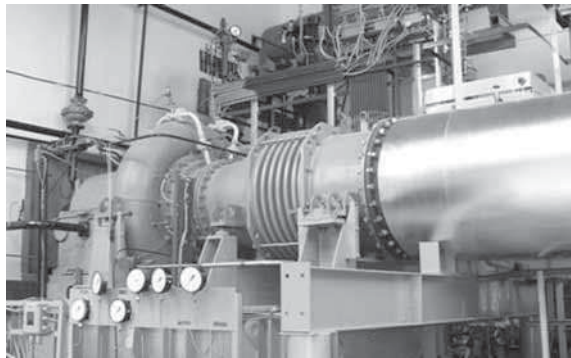


Фото 1. Общий вид радиальноосевой турбины ТПР-4/6-1,45/0,1 мощностью 4 МВт

Проектная мощность установки 4 МВт, рабочая среда n-пентан. В качестве теплоносителя для испарения и перегрева НРТ используется вода от котла-утилизатора установки ЭГТУ-16, работающей в составе энергокомплекса ОАО. Принципиальная технологическая схема установки УТГ-4П представлена на рис. 1.

Как видно из рис. 1, в составе установки имеются следующие функциональные модули: паротурбинный (1), состоящий из турбины (4), электрогенератора (2) и редуктора (3); системы испарения НРТ (5), основными элементами которой являются подогреватель (6), испаритель (7) и пароперегреватель (8); системы конденсации НРТ, состоящей из емкости для сбора конденсата (14); конденсатора (12) и контура охлаждающей воды, оснащенного градирней (11). Кроме того, в

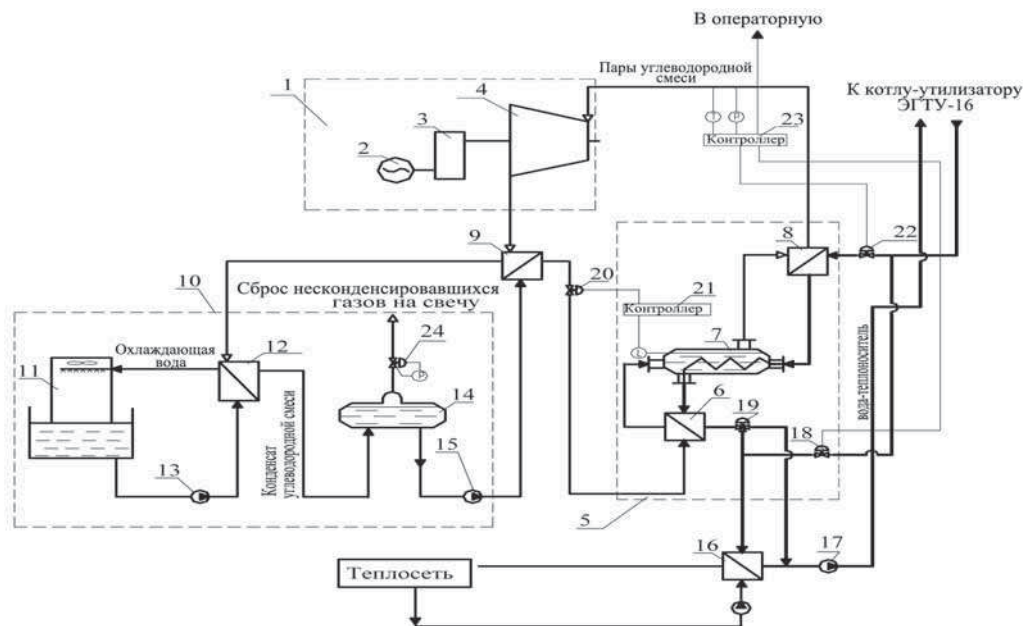


Рис. 1. Технологическая схема энергоутилизационной установки УТГ-4П

составе установки имеются: насосы для циркуляции воды в утилизационном контуре (17), подачи конденсата (15) и охлаждающей воды (13); трубные контуры с арматурой, оснащенной пневмоприводами (18, 19, 20, 22, 24 и др.) для управления газовыми и жидкостными потоками в контурах; система автоматизированного управления (21, 23), обеспечивающая работу паротурбинного модуля и согласование режимов работы теплопроизводящей системы в составе ЭГТУ-16, а также работу различных систем установки УТГ-4П; рекуперативный кожухотрубчатый теплообменник для предварительного подогрева сконденсированного пентана (9). В случае необходимости работы котла-утилизатора установки ЭГТУ-16 в двойном режиме, т.е. при необходимости подачи теплоты в систему испарения пентана и теплофикационную сеть, установка УТГ-4П может быть укомплектована дополнительным теплообменником (16). Основные характеристики турбины УТГ-4П представлены в таблице 1.

На основе радиальных турбин целесообразно создавать энергоутилизационные установки мощностью $0,25 \div 4,0$ МВт.

К основным вопросам, которые требуют экспериментальной проверки в процессе испытаний установки, относятся: проверка материально-теплового баланса; анализ режимов функционирования пентанового цикла

и оборудования при различных режимах работы ЭГТУ-16; тепловые испытания турбины и других ответственных систем. Данные, полученные в результате испытаний и опытно-промышленной эксплуатации установки УТГ-4П с пентановым рабочим циклом, позволили накопить необходимый опыт для создания блочно-комплектных энергоустановок такого типа. Результаты эксплуатации установки УТГ-4П могут быть полезны при создании энергоутилизационных систем, работающих в составе когенерационных установок КС газовой и нефтяной промышленности, геотермальных электростанций, а также энергоутилизационных установок для утилизации различных низкопотенциальных источников теплоты в

Таблица 1
Основные характеристики пентановой турбины ТПР-4/6-1,45-01

Наименование	Значение параметра
Номинальная мощность, МВт	4,0
Рабочая среда	n – пентан 100% (ТУ0272-029-0015-1638-99)
Параметры на входе: - давление, МПа (кгс/см ²); - температура, К (°С)	1,422 (14,5) 423 (150)
Параметры на выходе: - давление, МПа (кгс/см ²); - температура, К (°С)	1,147 (1,5) 374,2 (101)
Массовый расход пара, кг/с	57,24
Частота вращения ротора, об/мин	6900



металлургии, нефте- и газопереработке, теплоэнергетике.

Как известно, эффективным средством теплоснабжения, особенно в коммунально-бытовом секторе, являются тепловые насосы [3]. В настоящее время разработано значительное количество схем теплоснабжения на основе применения тепловых насосов, предназначенных для утилизации теплоты выхлопных газов различных отопительных установок, сжигающих органические и неорганические топлива, солнечного излучения, атмосферного воздуха, сточных вод, грунта, а также воды естественных водоемов. Несмотря на то, что для тепловых насосов уровень капитальных затрат на 1 кВт теплопроизводительности составляет 300÷1000\$ США [4], они получили широкое распространение в связи с тем, что их применение обеспечивает экономию топлива и улучшает экологическую обстановку. В частности, согласно данным работы [5] в 2001 г. суммарное количество тепловых насосов различной теплопроизводительности составляло в мире от 130 до 140 млн. единиц. В Украине тепловые насосы до сих пор не получают распространения, несмотря на то, что еще в 1997 г. их освоение было предусмотрено государственной программой.

В ряде случаев более приемлемые схемы теплоснабжения могут быть созданы не с тепловыми насосами, а на основе применения тепловых труб (ТТ). К положительным особенностям утилизационных систем на ТТ [6, 7] относятся: способность передавать значительные тепловые потоки; простота конструкции при использовании дистиллированной воды в качестве рабочей жидкости; возможность применения воды и воздуха окружающей среды для отвода теплоты конденсации, что обеспечивает всесезонность применения; возможность реализации разнообразных конструктивных схем утилизационных систем за счет гибкости компоновочных вариантов ТТ. В тоже время следует иметь в виду, что указанным преимуществам ТТ в наибольшей степени проявляются в случае размещения утилизационных систем в зданиях капитального типа. В частности, весьма эффективная система на ТТ была внедрена на одной из шахт Донбасса для утилизации низкопотенциального тепла в воздухоохладителях компрессоров общего назначения типа К-500 [7].

Наиболее крупным источником высокотемпературных тепловых потоков являются газотурбинные двигатели (ГТД) компрессорных и энергетических установок. Например, при температуре выхлопных газов 280÷550°C тепловая мощность одной компрессорной станции (КС), оснащенной компрессорными агрегатами природного газа мощностью 16 МВт, достигает уровня 150÷200 МВт. Эти ресурсы в настоящее время практически не

используются и приводят к значительным потерям тепловой энергии, а также тепловому загрязнению окружающей среды. В связи с этим предпринимались попытки создания в составе КС электроэнергетических установок для утилизации имеющихся тепловых ресурсов. Идея весьма привлекательна, но широкой поддержки ни в газовой промышленности, ни среди энергетиков она не получила. В мире имеется весьма ограниченное количество установок (3÷4 единицы), работающих в комплексе с газоперекачивающими агрегатами. В Украине попытка создания такой энергоустановки была предпринята Институтом технической теплофизики (г. Киев) под руководством члена-корреспондента НАНУ, д.т.н. Клименко В.Н. применительно к КС "Богородчаны" (ДП "Прикарпаттрансгаз"). Следует отметить также, что в ОАО еще в 80-е гг. прошлого века было освоено серийное производство теплофикационных утилизаторов теплоты выхлопных газов газотурбинных ГПА теплопроизводительностью 2,25÷9,2 МВт для КС газовой промышленности, создаваемой на основе агрегатов типа ГПА-Ц-6,3 и ГПА-Ц-16 мощностью 6,3 и 16 МВт, соответственно. Такие утилизаторы выпускаются и в настоящее время, но повсеместного применения в газовой промышленности они не получили. Таким образом, вопрос утилизации теплоты выхлопных газов на КС газовой и нефтяной промышленности достаточно непростой по различным причинам. Для его решения необходима соответствующая законодательная база, обеспечивающая решение всех задач в условиях рыночной экономики и системный подход при реконструкции или проектировании новых КС с учетом потребностей региона ее размещения. С учетом этого, при разработке проектов КС на основе компрессорных установок различного типа следует анализировать целесообразность создания в ее составе многофункциональных энерготехнологических систем, обеспечивающих не только транспорт газа, но и выработку электроэнергии, теплоты, холода.

Как известно, наибольшее распространение в газовой и нефтяной промышленности получили ГТД мощностью 6,3÷25 МВт. При такой мощности привода целесообразным направлением утилизации теплоты выхлопных газов с учетом специфических особенностей эксплуатации компрессорных агрегатов на КС является повышение эффективности ГТД за счет применения сложного рабочего цикла двигателя. Как показывают результаты исследований, применительно к компрессорным агрегатам наиболее эффективными могут быть схемы ГТД с регенеративным рабочим циклом, как это предусмотрено в установке UNE-16Н конструкции ГП НПКГ "Зоря" —

"Машпроект" [8] или схемы, использующие впрыск экологического и энергетического пара, вырабатываемого в паровом котле-утилизаторе, установленном в выхлопной шахте агрегата [9, 10]. Существуют также различные способы утилизации высокотемпературных тепловых потоков ГТД с целью повышения эффективности КС. Однако когенерационные установки, обеспечивающие транспорт газа и выработку теплоты для теплофикации КС и ближайших поселков, не получили широкого распространения в связи с ограниченностью теплотребления и усложнением организации работы КС по решению основной задачи — транспорт газа. Применение парогазового рабочего цикла с целью выработки механической энергии для установки дополнительных компрессоров природного газа также не получило распространения ни в отечественной, ни в зарубежной практике в связи с усложнением рабочего процесса КС, а также в связи со снижением надежности их эксплуатации в случае применения паротурбинного оборудования, что не свойственно КС газовой промышленности [11].

В связи с тем, что ГТД простого рабочего цикла по-прежнему остаются наиболее распространенным типом привода компрессорных агрегатов в составе КС газовой промышленности целесообразно рассмотреть возможность оснащения их достаточно простыми по конструкции энергоутилизационными установками мощностью 1,5÷2,5 МВт с целью выработки электроэнергии для обеспечения собственных нужд КС.

Создание высокоэффективного газоперекачивающего агрегата с энергоутилизационной установкой мощностью 2,0 МВт целесообразно, например, на основе новой конструкции двигателя АИ-ГТД-12 мощностью 12 МВт, разрабатываемого ЗМКБ "Ивченко-Прогресс". Двигатель АИ-ГТД-12, создаваемый по схеме простого рабочего цикла, имеет температуру выхлопных газов 763 К при $T_a = 288$ К. В связи с этим для установки мощностью 2 МВт имеется возможность обеспечить эффективную работу электрогенератора как в зимний, так и летний период эксплуатации. Выбор мощности установки обусловлен тем, что КС должна иметь в своем составе 5 блочно-комплектных компрессорных установок природного газа, создаваемых на основе агрегатов типа ГПА-Ц-10А. Одним из важнейших вопросов при разработке такой энергоутилизационной установки является выбор рабочей среды контура

паровой турбины. Применение воды неприемлемо из-за существенного снижения надежности эксплуатации КС в осенне-зимний период. В связи с этим проанализирована целесообразность создания замкнутого контура на водопропаноловой смеси различного состава, фреоне R142 и водоаммиачной смеси для работы контура паровой турбины привода электрогенератора. Указанные смеси позволяют подобрать рабочую среду, обеспечивающую надежную эксплуатацию установки до $T_a = 218\div 240$ К. Принципиальная схема и состав основного энерготехнологического оборудования установки, работающей на водоаммиачной смеси, представлены на рис. 2. Основные параметры схемы для этого случая представлены в таблице 2.

Параметры рабочего процесса и состав оборудования установки в значительной степени определяются составом оборудования КС, а также стадией строительства — реконструкция действующей станции или вновь сооружаемая КС. Применение энергоутилизационной установки в составе КС позволяет повысить уровень ее автономности, что повышает надежность эксплуатации, а также обеспечивает существенную экономию электроэнергии. По сравнению с пентановой энергоутилизационной установкой она более проста по конструкции, будет иметь меньшую металлоемкость, более высокую надежность и не потребует обеспечения особых мер безопасности при ее эксплуатации.

Газ, транспортируемый по магистральным газопроводам и газораспределительным сетям,

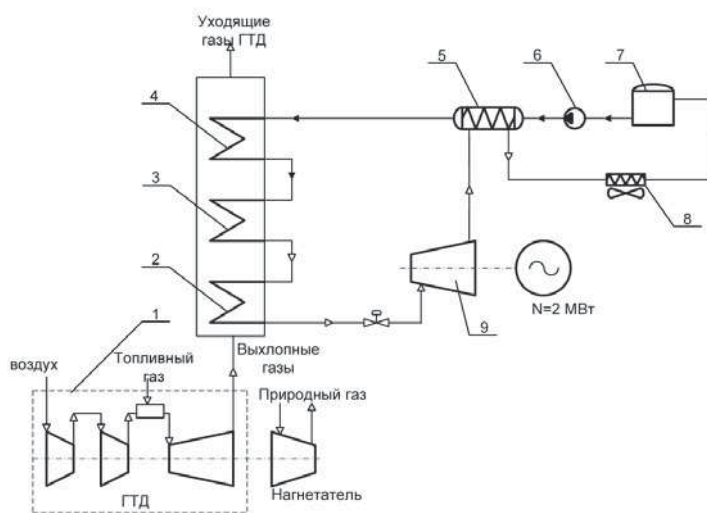


Рис. 2. Принципиальная схема энергоутилизационной установки мощностью 2 МВт для агрегата типа ГПА-Ц-10А:

- 1 — газоперекачивающий агрегат; 2 — пароперегреватель; 3 — испаритель; 4 — экономайзер; 5 — рекуператор; 6 — циркуляционный насос; 7 — емкость рабочей среды; 8 — конденсатор; 9 — электрогенератор с паротурбинным приводом

Таблица 2

Основные энерготехнологические характеристики одноконтурной паротурбинной установки мощностью 2МВт

Наименование	Значение параметра
Номинальная мощность, МВт	2,057
Рабочая среда	Аммиак – 20%, Вода – 80%
Температура замерзания смеси	240 К
Параметры пара на входе в турбину: - давление, МПа; - температура, К (°С)	1,5 572 (299)
Параметры пара на выходе из турбины: - давление, МПа; - температура, К (°С)	0,2 406,5 (133,5)
Массовый расход пара, кг/с	6,5
Теплопроизводительность, МВт - пароперегревателя; - испарителя; - экономайзера	1,546 13,2 1,853
Мощность циркуляционного насоса, кВт	16,3

обладает значительной потенциальной энергией, которая безвозвратно теряется в пунктах редуцирования газа. В целях утилизации избыточного давления природного газа могут применяться следующие схемы для выработки механической энергии за счет срабатывания перепада давления: на турбодетандере без подогрева; с предварительным подогревом в специальном подогрева-

тора может достигать 6 МВт.

Другим направлением утилизации давления метана в газопроводах может быть получение сжиженного природного газа (СПГ) для обеспечения топливом транспортных средств и коммунально-бытовых предприятий без создания газораспределительной сети. В используемой в настоящее время схеме ГРС при дросселировании

газа от давления в магистрали 5,5 МПа до 0,65 МПа температура газа может снижаться на 26 К (от 293 К до 267 К в принятых для расчета данных). Поскольку подача газа при температуре ниже 278 К в городскую газовую сеть не допускается, осуществляется его подогрев. Горячим теплоносителем служат продукты сгорания части др. оселированного газа. Даже в идеализированном процессе массовая доля сжигаемого газа составляет примерно 0,025% на 5 градусов подогрева. При дросселировании газа это составляет около 0,1% его массового расхода. Предложение утилизировать избыточное давление на ГРС с помощью детандеров также не является в этом смысле выигрышным. Удельная работа газа может составить

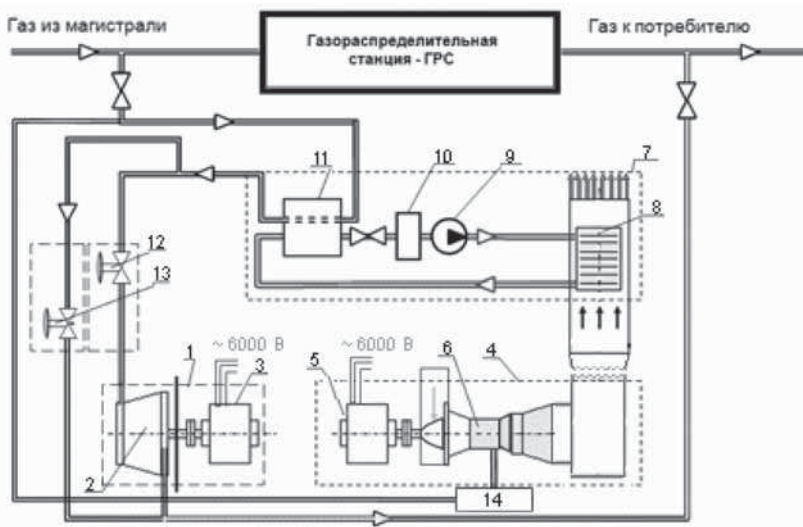


Рис. 3. Схема энергоутилизационного комплекса на ГРС для выработки электроэнергии:

- 1 – электрогенератор с турбодетандерным приводом; 2 – турбодетандер;
- 3 – электрогенератор; 4 – электрогенератор с газотурбинным приводом; 5 – генератор;
- 6 – газотурбинный двигатель; 7 – система подогрева газа; 8 – водогрейный котел-утилизатор; 9 – циркуляционный насос; 10 – дренажная емкость; 11 – подогреватель "газ-жидкость"; 12 – стопорно-дозировочный клапан; 13 – байпасно-регулирующий клапан;
- 14 – блок подготовки топливного газа

до 0,16 МДж/кг. Однако при указанных выше начальных условиях охлаждение газа в детандере будет 107 К и для его нагрева до 278 К потребуется сжигать как минимум 0,5% массового расхода. Наиболее полно задача утилизации избыточного давления на ГРС может быть решена в установке, схема которой изображена на рис. 4. Здесь полезный эффект достигается не только за счет работы детандера, но и в результате сжижения части газа. При этом за счет регенерации теплоты в теплообменниках газ направляется в городскую газовую сеть при температуре выше 278 К и сжигание части газа для подогрева не требуется.

газификация и подача в действующую газотранспортную систему может рассматриваться как альтернативный источник обеспечения газообразным топливом. Для реализации такой схемы газоснабжения в Украине имеется достаточная научно-техническая и производственная база. Есть в Украине такая база и по всем другим направлениям энергосбережения, рассмотренным в данной статье. Техническая сторона проблем не вызывает. Дело за принятием соответствующих государственных решений и программ, обеспечивающих их реализацию.

Выводы по материалам настоящей публикации будут сформулированы с учетом содержания

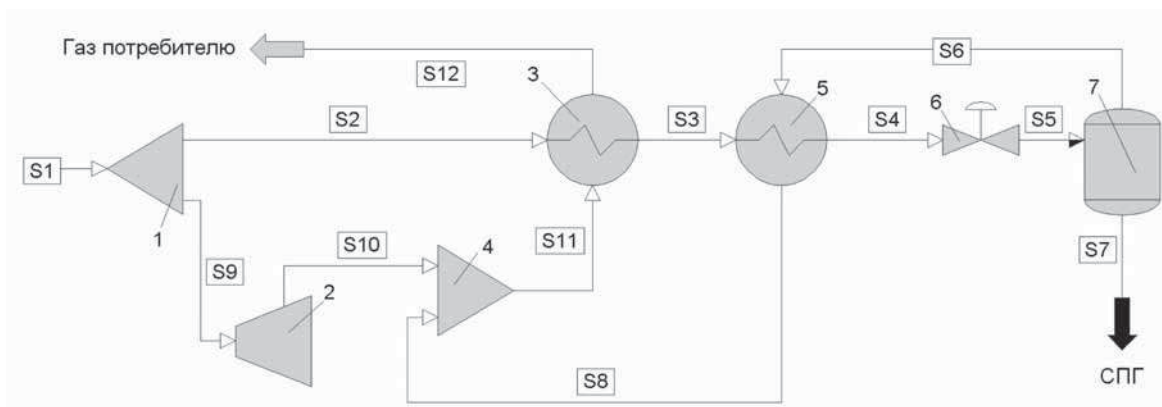


Рис. 4. Принципиальная схема установки для утилизации избыточного давления магистрального газа на ГРС: 1 - разделитель потока; 2 - детандер с электрогенератором; 3, 5 - теплообменник; 4 - смеситель; 6 - дроссель; 7 - сепаратор

Схема предусматривает разделение газа, поступающего из магистрали, на два потока, один из которых направляется в детандер, а второй для дальнейшего сжижения. Охлажденный газ после детандера используется для предварительного охлаждения газа высокого давления, что позволяет увеличить долю сжиженного природного газа (СПГ) после дросселирования. Неожигенная часть газа после дросселя также используется для охлаждения потока высокого давления. На рис. 5 представлена зависимость коэффициента сжижения от доли потока, направляемого через детандер. Следует заметить, что случай с $D = 0$ соответствует схеме дроссельной установки сжижения (т.е. без использования детандера), когда дросселируется весь поток газа. Расчет производился при входном давлении 5,5 МПа, входной температуре 293 К, давлении за детандером и дросселем 0,65 МПа.

Полученный СПГ может использоваться как в жидком состоянии, так и для последующей газификации. Системы газификации в настоящее время достаточно хорошо разработаны, имеется соответствующее оборудование. Следует подчеркнуть, что доставка крупных партий СПГ, его

части 2, которая будет посвящена рассмотрению новых технологий производства и добычи газообразных топлив.

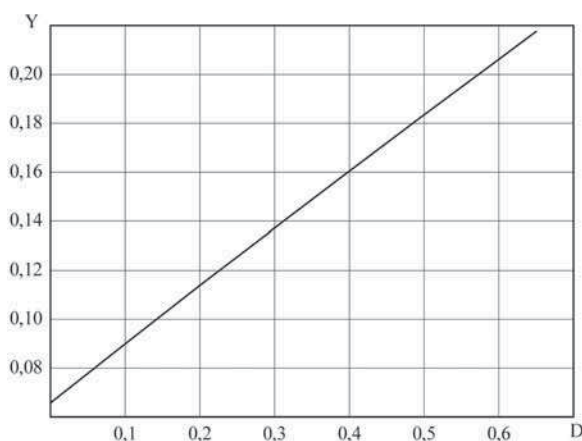


Рис. 5. Доля сжиженного потока в зависимости от количества детандируемого газа

Литература

1. *Бухолдин Ю.С., Олефиренко В.М.* Отработка технологических решений на собственных электростанциях — залог надежной работы оборудования у заказчика // Газотурбинные технологии, 2004. — № 5(32). — С. 2–5.
2. *Бухолдин Ю.С., Сухоставец С.В., Петухов И.И.* Криогенная установка для сжижения природного газа // Технологические газы, 2006. — № 5. — С. 39–46.
3. *Долинский А.А., Драганов Б.Х.* Тепловые насосы в системе теплоснабжения зданий // Промышленная теплотехника, 2008. — № 6. — С. 71–83.
4. *Арсеньев А.А., Мелейчук С.С.* Эксергетическая эффективность системы теплоснабжения // Компрессорное и энергетическое машиностроение, 2008. — № 3. — С. 36–39.
5. *Жовмір М.М.* Утилізація низькотемпературної теплоти продуктів згорання палив за допомогою теплових насосів // Промышленная теплотехника, 2008. — № 2. — С. 90–97.
6. *Ивановский М.Н., Сорокин В.П., Ягодин И.В.* Физические основы тепловых труб. — М.: Атомиздат, 1978. — 303 с.
7. *Дегтярев В.И., Федоров Ю.И., Парафейник В.П.* Утилизаторы тепла сжатого воздуха на тепловых трубах // Компрессорная техника и пневматика, 1997. — Вып. 1–2(14–15). — С. 150–154.
8. *Б. Патон, А. Халатов, Д. Костенко, Б. Білека, О. Письменний, А. Боццла, В. Парафійник, В. Коняхін.* Концепція (проект) державної науково-технічної програми "Створення промислових газотурбінних двигунів нового покоління для газової промисловості та енергетики" // Вісник національної академії наук України. — № 4. — 2008. — С. 3–9.
9. *Парафійник В.П.* Наукові основи удосконалення турбокомпресорних установок з газотурбінним приводом: Автореф. дис. д-ра. техн. наук: 05.05.16 / ППМаш ім. А.М. Підгорного НАНУ. — Х., 2009. — 36 с.
10. *Романов В.И. Кривуца В.А.* Комбинированная газотурбинная установка мощностью 16?25 МВт с утилизацией теплоты уходящих газов и регенерацией воды из парогазового потока // Промышленная теплотехника, 1995. — т. 17. — № 6. — С. 89–96.
11. *Гольдштейн А.Д., Кузнецов В.Ф., Пичкалов В.А.* Парогазовая установка компрессорной станции "Грязовец" / АООТ "НПО ЦКТИ" — научно-техническая база энергомашиностроения. — С.-Петербург: ЦКТИ, 1997. — т. 2, Вып. 28. — С. 23–28.
12. *Корольов С.К., Овчаренко А.Ю., Костенко Д.А., Шокін А.Р.* Досвід розробки та дослідження скидної енергії при зниженні тиску на газорозподільних станціях газотранспортної мережі України // Відновлювальна енергетика, 2008. — № 3 — С. 16–25.