

УДК: 621.529

Ю.С. Бухолдин*, А.С. Северин, В.М. Татаринев, С.В. Шахов

ОАО «Сумское НПО им. М.В. Фрунзе», ул. Горького, 58, г. Сумы, Украина, 40004

*e-mail: smpo@frunze.com.ua

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ И НАДЁЖНОСТИ КОМПРЕССОРНЫХ СТАНЦИЙ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ

В последние годы в топливно-энергетическом комплексе Украины сложилась ситуация, выдвинувшая на первый план проблему повышения эффективности и надёжности оборудования газотранспортной системы (ГТС). В связи с этим целесообразно рассмотреть возможность освоения как новых технологий и оборудования, так и повышения эффективности традиционных технологических процессов, применяемых в ГТС. Сообщается о работах НПО им. Фрунзе (г. Сумы, Украина), которые позволяют существенно повысить эффективность и надёжность компрессорных станций магистральных газопроводов. Для этого газоперекачивающие агрегаты могут комплектоваться более совершенным газотурбинным двигателем ГТУ-16Р мощностью 16 МВт с эффективным КПД 40,3 %. Уделяется внимание созданию утилизаторов тепла на компрессорных станциях, а также внедрению экономичных агрегатов воздушного охлаждения, обратных клапанов и пылеуловителей.

Ключевые слова: Энергосбережение. Компрессорная станция. Газотурбинный двигатель. Утилизация тепла. Аппарат воздушного охлаждения. Обратный клапан. Пылеуловитель.

Ju.S. Bukholdin, O.S. Severin, V.M. Tatarinov, S.V. Shakhov

HIGH EFFICIENCY AND SAFETY OF MAIN GAS PIPELINE COMPRESSOR STATIONS

As a result it became necessary to master both new technologies and equipment and also to increase efficiency of traditional technological processes applied in GTS. It has been reported about the work of Frunze NPO (Sumy, Ukraine) which increases greatly efficiency and safety of main gas pipelines compressor stations. For this purpose gas-pumping device may be completed with more accomplished gas-turbine engine GTU-16P, its power is 16 MW and with efficiency coefficient 40,3 %. Much attention has been paid to the creation of heat utilizers at the compressor stations and also energy-conserving air-cooling units, reverse valves and suction scrubbers.

Keywords: Energy-saving. Compressor station. Gas-turbine engine. Heat utilization. Air-cooling unit. Reverse valve. Suction scrubbers.

1. ВВЕДЕНИЕ

Эффективность и надёжность — приоритетное направление в деятельности предприятий, добывающих как снижения издержек при производстве основной продукции, так и уменьшения энергопотребления в тех отраслях промышленности, где используется производимая продукция. Такой подход демонстрирует ОАО «Сумское НПО им. М.В. Фрунзе», которое разрабатывает и изготавливает оборудование для эффективного и надёжного транспортирования природного газа по магистральным газопроводам [1].

В данной статье показано, как предприятие последовательно занимается созданием энергоэффективных оборудования и технологий.

2. ВНЕДРЕНИЕ БОЛЕЕ СОВЕРШЕННЫХ ГАЗОТУРБИНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Эффективность транспортирования компримированного природного газа по магистральным газопроводам зависит, в первую очередь, от совершенства применяемых газотурбинных двигателей (ГТД).

Для транспортирования углеводородных газов в нефтяной и газовой промышленности применяются турбокомпрессорные агрегаты с конвертированным газотурбинным приводом авиационного или судового типа мощностью 4,0-25,0 МВт. Внешний вид станции с такими агрегатами представлен на рис. 1. Компрессорная станция оснащена агрегатами типа ГПА-Ц-16С нашей конструкции, созданных на основе двига-

телей типа ДГ-90Л2 производства ГП НПКГ «Зоря»-«Машпроект» (г. Николаев).



Фото 1. Компрессорная станция «Тарутино», укомплектованная агрегатами ГПА-Ц-16С

Как известно, основной недостаток газотурбинного привода — сравнительно низкий эффективный КПД, достигающий в лучших конструкциях 30-37 % при мощности 6,3-25 МВт, соответственно. Это означает, например, что при годовом транзите газа объёмом 120 млрд. м³ украинской ГТС требуется 6-7 млрд. м³ технологического газа для обеспечения работы ГПА компрессорных станций [1].

В связи с этим нами, совместно с разработчиками газотурбинных двигателей (ЗМКБ «Ивченко-Прогресс», ГП НПКГ «Зоря»-«Машпроект») проводятся работы по созданию нового поколения газоперекачивающих агрегатов (ГПА) мощностью 10 и 16 МВт, обладающих более высокой эффективностью. Так, КПД двигателей составит 36-40 %, КПД газовых компрессоров — 86-87 % при возросшем ресурсе работы. Для реализации указанной задачи, двигателестроители впервые на основе новых принципов конвертирования авиационных и судовых двигателей приступили к созданию ГТД промышленного типа.

На рис. 2 показана конструкция газотурбинной установки ГТУ-16Р мощностью 16 МВт, создаваемой в ГП НПКГ «Зоря»-«Машпроект». В установке реализуется регенеративный рабочий цикл ГТД. В состав установки входит теплообменник-регенератор для предварительного подогрева циклового воздуха выхлопными газами. За счёт этого в расчётном режиме ГТД будет иметь эффективный КПД 40,3 %, что позволит обеспечить годовой эффект от эксплуатации одного ГПА на уровне 7 млн. долл. США только за счёт экономии топливного газа.

Освоение ГТД со сложным рабочим циклом является перспективным направле-

нием в развитии газотурбинных технологий в различных отраслях. Обусловлено это тем, что основная часть парка ГПА в газовой промышленности создана на базе ГТД с простым рабочим циклом. Эти агрегаты представляют собой крупные источники вторичных энергоресурсов, так как при температуре выхлопных газов 280-550 °С их тепловая мощность для одной КС, оснащённой агрегатами мощностью 16 МВт, достигает уровня 75-200 МВт. Эти значительные ресурсы в настоящее время практически не используются и приводят к тепловому загрязнению окружающей среды.

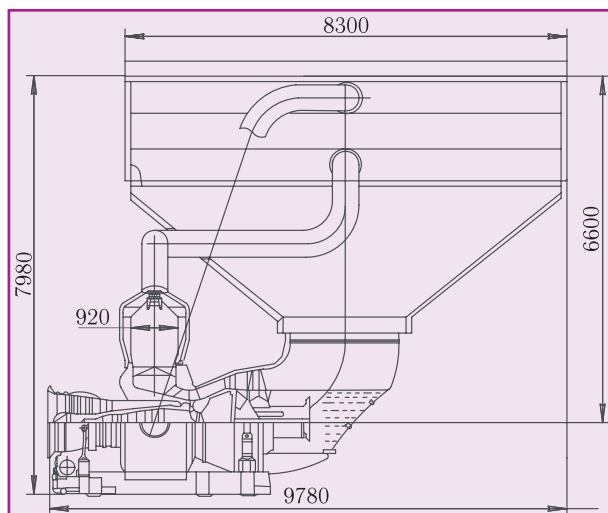


Рис. 2. ГТД со сложным рабочим циклом для компрессорных агрегатов газовой и нефтяной промышленности

3. РАЗРАБОТКА ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛА

Для использования теплоты выхлопных газов ГТД и снижения теплового загрязнения нашим предприятием разработан и освоен выпуск утилизаторов теплоты.

Утилизатор теплоты — стальной аппарат, состоящий из одной или нескольких секций трубных пучков, установленных в выхлопной шахте. В трубном пучке происходит нагрев теплоносителя (вода, пар и др.) за счёт теплоты уходящих выхлопных газов. Применение утилизаторов теплоты позволяет повысить



Фото 3. Энергокомплекс ОАО «Сумское НПО им. М.В. Фрунзе» мощностью 40 МВт

общий КПД газотурбинного двигателя и обеспечить тепловой или электрической энергией технологический объект.

Следует отметить, что на предприятии длительное время занимаются проблемой утилизации теплоты выхлопных газов. Накопленный значительный опыт позволяет нам решать эту задачу достаточно эффективно.

На фото 3 представлен общий вид площадки, на которой размещён комплекс энергетического оборудования предприятия, состоящий из когенерационной, парогазовой и энергоутилизационной установок суммарной мощностью 40 МВт. Остановимся на особенностях указанных установок.

3.1. Когенерационная энергетическая газотурбинная установка ЭГТУ-16

Её назначение — выработка 16 МВт электрической энергии и 21,4 Гкал/ч тепла (фото 4). ЭГТУ-16 выполнена на базе газотурбинного привода авиационного типа НК-16СТ. Его конструкция создана ОАО «СНТК им. Н.Д. Кузнецова» (г. Самара), производится он ОАО «КМПО» (г. Казань). Несмотря на относительно низкий КПД — 29,5 % (по условиям ISO), привод характеризуется достаточно высоким ресурсом, требуемым уровнем надёжности и ремонтпригодности. Указанные достоинства двигателя имеют преимущественное значение для установки, предназначенной для выработки теплоты и электроэнергии.



Фото 4. Когенерационная установка ЭГТУ-16

Тепловая энергия в установке производится за счёт утилизации теплоты выхлопных газов газотурбинного привода электрогенератора в водогрейном котле-утилизаторе УТ-25 нашего изготовления. Котёл-утилизатор выполнен из труб, рассчитанных на подогрев сетевой воды, которая используется для отопления близлежащего микрорайона города, а также обеспечения теплом компрессорного производства предприятия. Коэффициент использования топлива при работе установки ЭГТУ-16 в базовом режиме составляет 0,8.

В летний период года тепловая мощность установки ЭГТУ-16 используется далеко не полностью. Для эффективной утилизации средне- и низкочастотных

тепловых потоков на предприятии впервые в отечественной практике и в СНГ создана экспериментальная установка УТГ-4П с замкнутым рабочим циклом, работающая на пентане.

3.2. Установка УТГ-4П

Она разработана и сооружена для обработки рабочего процесса энергоустановок нового типа, реализующих цикл Ренкина, а также испытания основного и вспомогательного оборудования, производства электроэнергии при её эксплуатации в составе общего энергокомплекса (см. фото 3).

3.3. Парогазовая установка ПГУ-20

Установка производит 20 МВт электрической энергии (фото 5). ПГУ-20 состоит из газотурбогенераторной установки на базе газотурбинного двигателя НК-16СТ с турбогенератором Т-20-2УЗ номинальной мощности 16 МВт и паротурбинной установки (ПТУ) на базе паровой турбины с турбогенератором Т-6-2УЗ мощностью 4 МВт.



Фото 5. Общий вид парогазовой установки ПГУ-20

Опыт эксплуатации установок ЭГТУ-16 и ПГУ-20 и данные их технико-экономического анализа показывают, что в условиях существенного повышения цен на природный газ рентабельная эксплуатация энергетических установок с газотурбинным приводом в базовом режиме возможна при эффективном КПД привода не ниже 45-50 %. Отсюда вытекает необходимость создания ПГУ мощностью 65-80 МВт и выше. Применение установок меньшей мощности с газотурбинным приводом целесообразно только в качестве резервных источников электроэнергии в особых условиях работы энергосетей или при необходимости обеспечения электроэнергией, например, нефтяных промыслов в малоосвоенных районах (Западная и Восточная Сибирь, Крайний Север России). В связи с этим предприятием освоено производство энергоблоков мощностью 12-16 МВт на основе ГТД НК-16 СТ. Их применение является весьма рентабельным в свя-

зи с тем, что на их основе решается проблема утилизации попутного нефтяного газа на нефтяных промыслах, а также организуется их энергоснабжение без значительных капитальных затрат при создании соответствующей инфраструктуры.

ОАО «Сумское НПО им. М.В. Фрунзе» предлагает полнокомплектную поставку энергетических установок с выполнением монтажных и пуско-наладочных работ, а так же поставку их на условиях «под ключ». Нами в последнее время были спроектированы и изготовлены утилизаторы теплоты на следующих объектах: ГТЭС на Талаканском месторождении (НК-16СТ); ДКС Газли (ДУ-80); Уренгойское НГКМ (АИ 336-2-8); КС Несвижская (ДГ-90); КС Яро-Яхинская (Д 336).

4. СОЗДАНИЕ ОБЩЕСТАНЦИОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Сегодня на действующих компрессорных станциях применяются аппараты воздушного охлаждения, обратные клапаны, фильтры-сепараторы с гидравлическими потерями в 1,5-2,5 раза выше установленных норм.

С 2001 г. предприятием ведётся проектирование и разработка основного технологического оборудования в соответствии с новыми требованиями ОАО «Газпром» [3,4].

С целью повышения эффективности и снижения энергозатрат на компрессорных станциях магистральных газопроводов предприятием налажен выпуск эффективных аппаратов воздушного охлаждения газа.



Фото 6. Общий вид АВО компрессорной станции

На проектируемых линейных КС используются АВО газа нашей разработки (фото 6), в которых расчётные гидравлические потери не превышают 0,03 МПа, что соответствует требованиям [4]. Применение в новых АВО вентиляторов с рабочими колёсами из композитных материалов и современных электродвигателей (тихоходных и малогабаритных), подвешиваемых под теплообменной секцией, позволяет снизить материалоемкость аппаратов и отказаться от сооружения громоздких фундаментов под установку традиционного привода. Конструкция аппарата технологична, удельная металлоёмкость поверхности теплообмена составляет до 40 % от металлоёмкости аппарата, что отвечает современным тенденциям в инженерных решениях, базирующихся на новейших достижениях технологии машиностроения. АВО поставля-

ются с блочно-комплектной готовностью, не требующей сварочных работ на площадке КС.

Обратная арматура, устанавливаемая на КС, предназначена для защиты нагнетателей ГПА при нештатных ситуациях, когда поток газа может вызвать обратную раскрутку ротора нагнетателя и свободной турбины и привести к их поломкам.

На линейных КС в обвязке агрегатов типа ГПА-Ц-16 применяются обратные затворы с DN700 (устанавливаются за ГПА на входе в трассу) и DN400 (в пусковом антипомпажном контуре «кольцо»).

Обратные затворы могут быть следующих конструкций: обычной схемы с выпуклым запорным диском; с обратным клапаном осевого типа.

В результате проведённых научно-исследовательских работ [5] был создан обратный затвор нового типа с подъёмным крылом, установленным на запорном диске по аэродинамической схеме «биплан-тандем» (рис. 7).

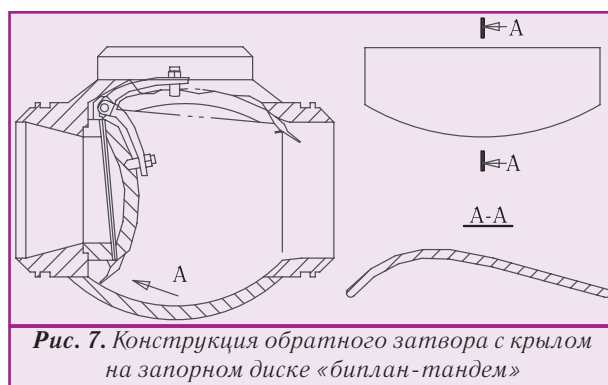


Рис. 7. Конструкция обратного затвора с крылом на запорном диске «биплан-тандем»

Одним из важных показателей работы обратных клапанов и затворов, устанавливаемых на компрессорных станциях на выходе газоперекачивающих агрегатов и на выходе КС, является характеристика (зависимость) потерь полного давления (гидравлических потерь энергии) в клапане от скоростного напора потока газа перед клапаном (затвором) во всем диапазоне рабочих режимов ГПА. На рис. 8 приведены характеристики (потери полного давления от скоростного напора) обратных затворов и клапанов DN700, полученные в ходе испытаний на аэродинамическом стенде.

Из представленного графика видно, что обратные затворы с крылом на запорном диске «биплан-тандем» по аэродинамическим показателям значительно превосходят обратные клапаны осевого типа и обратные затворы обычной схемы с выпуклым запорным диском. Меньшие потери энергии на обратном затворе «биплан-тандем» указывают на меньшее вихреобразование по сравнению с осевым обратным клапаном и, следовательно, на лучшую его динамику.

Меньшие гидравлические потери в обратном затворе «биплан-тандем» позволяют снизить потребление топливного газа компрессорной станцией. К примеру, для ГПА-Ц-16 с газотурбинным двигателем НК-16СТ годовая экономия топливного газа по сравнению с обратным клапаном осевого типа составит около 35,3 тыс. нм³.

С целью повышения эффективности и снижения энергозатрат на компрессорных станциях магистральных газопроводов на предприятии налажен выпуск энергосберегающих пылеуловителей.

На проектируемых нами линейных КС применяются одноступенчатые или двухступенчатые пылеуловители с циклонами в первой ступени и с фильтр-патронами — во второй, в которых расчётные гидравлические потери не превышают 0,04 МПа, что соответствует требованиям [3].

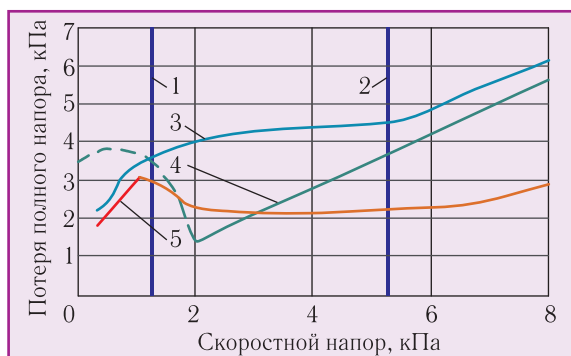


Рис. 8. Выходные аэродинамические характеристики обратных затворов и клапанов DN700: 1, 2 — минимальный и номинальный режимы работы ГПА-Ц-16/76-1,44 (трасса); 3 — затвор обычной схемы; 4 — клапан осевого типа; 5 — затвор с крылом «биплан-тандем»

На рис. 9 изображён типовой мультициклонный пылеуловитель, применяемый на линейных КС. К преимуществам такого пылеуловителя можно отнести высокую эффективность очистки от механических примесей и жидкости; низкое гидравлическое сопротивление; возможность работы при высоких давлениях; простоту конструкции и эксплуатации; возможность доступа в его верхнюю и нижнюю зоны.

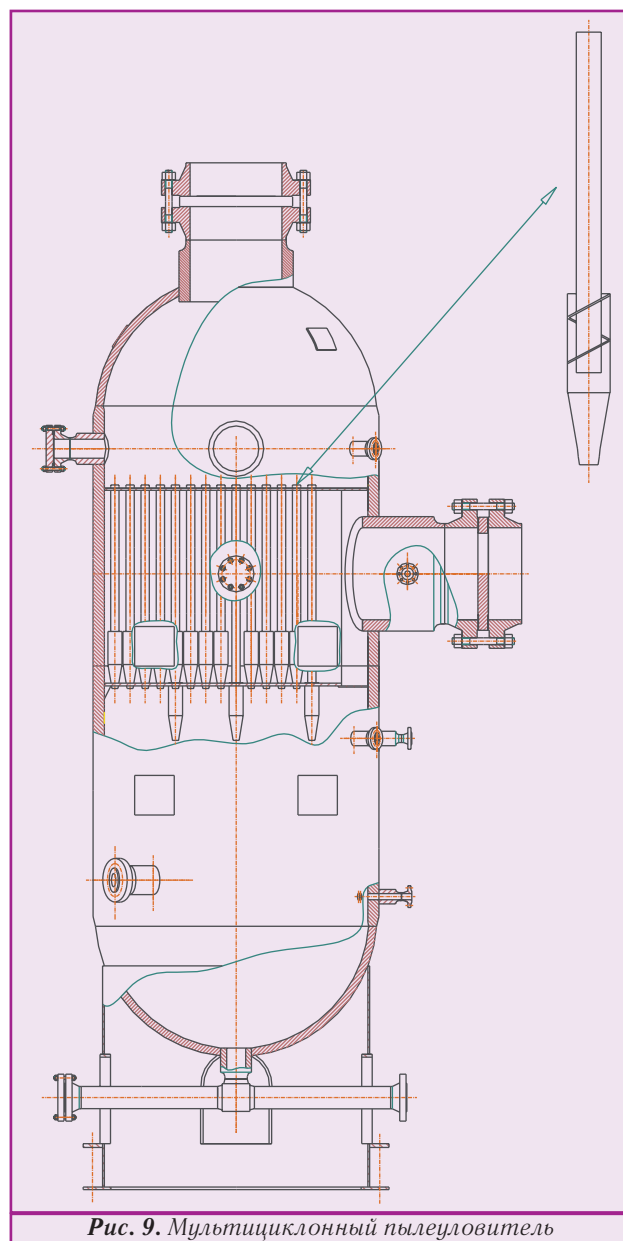


Рис. 9. Мультициклонный пылеуловитель

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Наше предприятие располагает значительным научно-техническим и производственным потенциалом, который позволит обеспечить реализацию современных конструкторских и технологических решений по снижению энергозатрат при сжатии природного газа, дополнительному производству электроэнергии и теплоты.

Для реализации имеющихся возможностей требуется выработка решений и программ с целью координации усилий потребителей и производителей при внедрении новых технологий, а также принятие необходимых законодательных актов, обеспечивающих создание современной нормативной базы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Новые технологии и оборудование для их реализа-

ции в области энергоресурсосбережения. Часть 1/ В.П. Парафейник, А.В. Зленко, В.М. Татаринев, И.И. Петухов// Технологические системы. — 2009. — № 3. — С. 19-26.

2. Новые технологии и оборудование для их реализации в области энергоресурсосбережения. Часть 2/ В.П. Парафейник, Ю.С. Бухолдин, А.В. Зленко и др.// Технологические системы. — 2009. — № 4. — С. 7-13.

3. ВРД 39-1.8-055.2002. Типовые технические требования на проектирование КС, ДКС и КС ПХГ. — М.: ОАО «Газпром», 2002.

4. НТП 2.03.2004. Нормы технологического проектирования магистральных газопроводов.

5. Отчёт о НИР «Исследование и экспериментальные работы по оптимизации геометрии элементов проточной части затворов обратных с подъемным крылом на запорном диске». Рук. темы С.К. Королев. — Сумы: ВНИИкомпресформаш, 1987 г.